



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**

**Faculdade de Ciências e Letras
Departamento de Economia**

Lourenço Galvão Diniz Faria

**A CO-EVOLUÇÃO DOS ELEMENTOS DO SISTEMA
SETORIAL DE INOVAÇÃO DO SETOR
AUTOMOTIVO**

Araraquara – S.P.

2011

LOURENÇO GALVÃO DINIZ FARIA

**A CO-EVOLUÇÃO DOS ELEMENTOS DO SISTEMA
SETORIAL DE INOVAÇÃO DO SETOR
AUTOMOTIVO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Economia da Faculdade de Ciências e Letras – UNESP/Araraquara como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Enéas Gonçalves de Carvalho.

Bolsa: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

Araraquara – SP

2011

LOURENÇO GALVÃO DINIZ FARIA

A CO-EVOLUÇÃO DOS ELEMENTOS DO SISTEMA SETORIAL DE INOVAÇÃO DO SETOR AUTOMOTIVO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Economia da Faculdade de Ciências e Letras – UNESP/Araraquara como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Enéas Gonçalves de Carvalho.

Bolsa: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

Data da defesa: 15/08/2011

Membros componentes da Banca Examinadora:

Presidente e Orientador: Prof. Dr. Enéas Gonçalves de Carvalho

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus Araraquara

Membro Titular: Prof. Dr. Marcelo Silva Pinho

Universidade Federal de São Carlos – Departamento de Engenharia de Produção

Membro Titular: Prof^ª. Dr^ª. Ana Paula Macedo de Avellar

Universidade Federal de Uberlândia – Instituto de Economia

Local: Universidade Estadual Paulista

Faculdade de Ciências e Letras

UNESP – Campus de Araraquara

*Aos meus pais,
José Lourenço e Alda*

Agradecimentos

Esta dissertação é fruto de dois anos de estudos, reflexões, discussões e aprendizado intenso. É um trabalho de um pesquisador que, acima de tudo, é apaixonado pelo setor automotivo desde criança e quis conciliar tal sentimento em sua profissão de economista. Sou grato a todos que – direta ou indiretamente - me auxiliaram durante este processo.

Tive a sorte de encontrar em meu caminho o Prof. Enéas, um pesquisador especializado no setor automotivo que logo se tornou um grande amigo. Agradeço toda a atenção e a paciência que o senhor teve ao longo desses dois anos. Espero ter correspondido às suas expectativas enquanto orientando.

Agradeço também a meus pais, que sempre me deram condições para pesquisar e estudar e me deram uma formação de ótima qualidade que tem sido fundamental na minha vida, e ao meu irmão, que sempre me incentivou na carreira acadêmica.

Agradeço aos professores e amigos que sempre me ajudaram, em especial ao Prof. Rogério Gomes, Prof. Eduardo Strachman, Prof. José Ricardo, Prof. Germano de Paula, Prof^a Ana Paula de Avellar, Prof^a Thaís Alves, Prof. Marcelo Pinho, Prof. Pedro Frosi entre tantos outros.

Agradeço aos comentários e esclarecimentos gentilmente fornecidos por Franco Malerba, que foram bastante esclarecedores para a construção da metodologia do trabalho.

Agradeço ao apoio e à amizade dos amigos Paulo, Glauber, Douglas, Henrique, Stênio, Vinícius, Christoffer, Cláudio, Cecília, Gabriella, Marcelo, Renato, Renan e todos aqueles com que tive a sorte de conviver.

Agradeço a minha querida Mariú, pelo apoio, dedicação e carinho incondicionais.

Agradeço a CAPES por ter me oferecido as condições financeiras para realizar esse mestrado e ao GEEIN por ter me proporcionado um ambiente excepcional de trabalho.

Agradeço a Deus, por ter me oferecido sempre grandes oportunidades de crescimento pessoal e profissional.

RESUMO

O objetivo do presente trabalho é identificar e analisar as principais evoluções simultâneas nos elementos – demanda, regime tecnológico, atores e instituições - que compõem o Sistema Setorial de Inovação do Setor Automotivo, através de uma metodologia baseada no trabalho de Malerba (2002). Desta forma, utiliza-se uma abordagem que trata a inovação como um processo sistêmico, contínuo e evolucionário. O trabalho conclui que, nos últimos dez anos, o Sistema Setorial de Inovação do setor automotivo passou – e ainda passa - por profundas transformações - fruto da co-evolução dos seus elementos - que alteram continuamente sua estrutura e o tornam mais dinâmico e complexo.

Palavras-chave: Sistemas Setoriais de Inovação, Teoria Neo-schumpeteriana, Setor Automotivo, Economia da Tecnologia.

ABSTRACT

This research work aims to identify and analyze the main simultaneous evolutions in the elements – demand, technological regime, actors and institutions – that compose the Sectoral Innovation System of Automotive Sector, through a methodology based on Malerba's (2002) work. Thereby, we use an approach that treats innovation as a systemic, continuous and evolutionary process. The work concludes that, in the past ten years, the Sectoral Innovation System of automotive sector has undergone deep transformations - result of co-evolution of its elements - that continually change its structure and make it more dynamic and complex.

Keywords: Sectoral Innovation Systems, Neo-schumpeterian theory, Automotive Sector, Economics of Technology.

Sumário

INTRODUÇÃO	4
CAPÍTULO 1 – A dinâmica dos processos inovativos: referencial teórico	8
1.1 - Uma breve revisão do papel da mudança tecnológica nos textos clássicos	8
1.2 – Definições gerais de tecnologia e mudança tecnológica.....	11
1.3 – A dinâmica dos processos de mudança tecnológica segundo alguns dos principais modelos.....	16
CAPÍTULO 2 – O Sistema Setorial de Inovação: uma metodologia de análise da dinâmica inovativa.....	31
2.1 – Uma Definição Geral de Sistemas de Inovação.....	31
2.2 – O Sistema Setorial de Inovação	34
2.3 – Uma metodologia de análise dos Sistemas de Inovação.....	35
2.3.1 – O Regime Tecnológico e as características do conhecimento	36
2.3.2 – Os “Atores” e suas relações	40
2.3.3 – As Instituições	41
2.3.4 – A demanda do mercado.....	42
2.3.5 – A análise multidimensional:.....	45
CAPÍTULO 3 – A Aplicação da metodologia de Sistemas Setoriais de Inovação ao setor automotivo.....	47
3.1 - Um panorama sobre a indústria automotiva no mundo e no Brasil.....	47
3.2 – Uma breve discussão acerca das mudanças recentes na indústria automotiva.....	51
3.3 – A co-evolução dos componentes do Sistema Setorial de Inovação do Setor Automotivo	54
3.3.1 – Atores e suas relações	54
3.3.2 – A Demanda do Mercado	69
3.3.3 – O Regime Tecnológico e a Base de Conhecimentos	83
3.3.4 - Instituições:.....	107
3.4 - A Análise Multidimensional.....	122
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	126
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	128

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1: Investimentos em P&D ¹ no Brasil	50
TABELA 2: Empresas que desenvolveram atividades internas de P&D em 2008	50
TABELA 3: Brasil ¹ e Países Seleccionados ² - Esforço Inovativo ³ na Indústria e no Setor Automotivo Brasileiro	51
TABELA 4 – Aumento de participação dos sistemas na geração de patentes	63
TABELA 5 – Dados de desempenho médio para automóveis leves de oito cilindros produzidos nos EUA (1975-1990).....	72
TABELA 6 – Variação no desempenho e economia de combustível para carros de passeio e SUVs produzidos nos EUA	76
TABELA 7– Comparação entre diferentes tecnologias automotivas – redução no consumo de combustível e custo incremental de implementação	89
TABELA 8 – Redução no consumo de combustível de veículos a diesel – comparação com versões à gasolina (2009).....	90
TABELA 9 – Evolução do investimento em P&D de algumas das principais OEMs (1998-2009, em milhões de Euros).....	99
TABELA 10 – Patentes em indústrias selecionadas - 2010	101
TABELA 11 – Análise da composição das patentes do setor automotivo	102
TABELA 12 – Síntese das mudanças no regime tecnológico automotivo	106
TABELA 13– Principais Programas Nacionais e Regionais de Ciência, Tecnologia e Política Inovativa de Países e Regiões Seleccionadas.....	109
TABELA 14 – Meta de Investimento Bruto em Pesquisa e Desenvolvimento (<i>GERD</i>) para países selecionados	110
TABELA 15– Principais instituições (leis, normas, diretivas) de controle da emissão de poluentes e economia de combustível – Países e regiões selecionadas.....	116
TABELA 16 – Normas de emissão de poluentes em veículos de passeio movidos à gasolina – União Européia	117
TABELA 17 - Normas de emissão de poluentes em veículos de passeio e caminhões leves (Picapes, SUVs, Vans e Minivans) movidos à gasolina – EUA (EPA e CARB)	118
TABELA 18 – Metas de economia de combustível estabelecidas pela CAFE	119
TABELA 19 – Estimativa de gastos incrementais das OEMs e fornecedores em tecnologia para adaptação às metas da CAFE (US\$ Bilhões)	120

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - Uma visão clássica do Modelo Linear	20
FIGURA 2 – O modelo interativo (<i>chain-linked model</i>)	22
FIGURA 3 – O modelo de inovação aberta	23
FIGURA 4 – A cadeia de valor do setor automotivo	56
FIGURA 5 – Evolução dos investimentos em P&D das principais OEMs e fornecedoras (2001=100).....	59
FIGURA 6 – Intensidade tecnológica das 15 maiores fornecedoras (por investimento em P&D)	60
FIGURA 7 – Evolução da intensidade tecnológica (P&D/Vendas) das 15 maiores fornecedoras e OEMs por investimento em P&D.	61
FIGURA 8 – Intensidade Tecnológica (P&D/Vendas) de fornecedores selecionados	65
FIGURA 9 – Mercado estimado para componentes do <i>powertrain</i> elétrico (para automóveis híbridos e elétricos, em Bilhões de Euros).....	66
FIGURA 10 – Preço* médio da gasolina** nos EUA (1949-2009)	71
FIGURA 11 – Produção de carros de passeio por motorização nos EUA	73
FIGURA 12 – Participação dos SUVs nas vendas de veículos leves nos EUA	74
FIGURA 13 – Preço do barril de petróleo (<i>brent</i>) no mercado internacional (variação semanal).....	75
FIGURA 14 – Vendas de etanol* e gasolina automotiva** no Brasil – 2000-2009 (em milhares de m ³).....	78
FIGURA 15 – Interesse do consumidor em veículos com propulsão alternativa	81
FIGURA 16 – Arquitetura do sistema de propulsão elétrico	92
FIGURA 17 – Arquitetura do sistema de propulsão híbrido em paralelo	94
FIGURA 18 – Arquitetura do sistema de propulsão híbrido em série	95
FIGURA 19 – Arquitetura do sistema de propulsão híbrido tipo <i>power-split</i>	96
FIGURA 20 – Evolução dos gastos em P&D* de indústrias selecionadas (Milhões de Euros)	98
FIGURA 21 – Evolução da intensidade tecnológica (P&D/Vendas) após a crise de 2008 (%)	100
FIGURA 22 – Crescimento do número de patentes em tecnologias de propulsão alternativas	101
FIGURA 23 – Composição do peso de um automóvel médio por material (%).....	103
FIGURA 24 – Estimativas de aumento nas vendas de automóveis mini e compactos nos EUA	104
FIGURA 25 – Estimativas de redução nas vendas de SUVs nos EUA.....	105
FIGURA 26 - O Sistema Setorial de Inovação	122

GLOSSÁRIO DE TERMOS

ACEA – European Automobile Manufacturers Association

ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Automóveis e Veículos Automotores

BIS – U. K. Department for Business, Innovation and Skills

CAFE – Corporate Average Fuel Economy

CARB – California Air Resources Board

CNAE – Classificação Nacional de Atividades Econômicas

DOE – U.S. Department of Energy

EPA – U.S. Environmental Protection Agency

EUCAR – European Council for Automotive Research

ISIC – International Standard Industrial Classification

MPV – Multiple purpose vehicle

NACE - Nomenclature statistique des Activités Économiques dans la Communauté Européenne

OEM – Original Equipment Manufacturer

OICA – Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles

PINTEC – Pesquisa de Inovação Tecnológica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

SSI – Sistema Setorial de Inovação

SUV – Sport Utility Vehicle

USCAR – U.S. Council for Automotive Research

INTRODUÇÃO

O automóvel transformou-se em um dilema para a sociedade moderna: ao mesmo tempo em que é essencial para seu funcionamento, também lhe impõe custos enormes – desde sua fabricação até sua utilização - em termos de danos ao meio ambiente e utilização de recursos não renováveis. No intuito de reduzir o impacto desses problemas e se adequar às exigências da sociedade, o setor automotivo vem desenvolvendo novas tecnologias que exigem das empresas capacitações tecnológicas e organizacionais mais complexas. O regime tecnológico do setor tem se modificado na medida em que vão sendo testadas alternativas ao *design* dominante, pautado na utilização do motor à combustão interna, no monocoque de aço e no caráter multi-propósito dos veículos (ORSATO & WELLS, 2006). As tecnologias alternativas – ainda incipientes - têm potencial para ser revolucionárias, mas isso exige mudanças em diversos aspectos dos processos de mudança tecnológica do setor.

Além do investimento em novas tecnologias de propulsão, várias outras transformações têm ocorrido no setor automotivo ao longo das últimas décadas, como a incorporação da microeletrônica nos automóveis e nos processos produtivos, as mudanças nas relações entre os atores do sistema (especialmente entre montadoras e fornecedores) que agora dividem a responsabilidade sobre o desenvolvimento do automóvel. Ao longo da última década, novas alterações vêm implicando em mudanças nas expectativas e valores subjetivos dos consumidores e no aparecimento e/ou fortalecimento de instituições destinadas a acelerar e incentivar os processos de mudança tecnológica.

O presente trabalho se baseia na hipótese de que os processos de mudança tecnológica possuem um caráter sistêmico, no qual as atividades inovativas não dependem apenas dos esforços das empresas do setor, mas de um conjunto de organizações que incluem atores “firma” e “não-firma” – incluindo a demanda, além das instituições e das bases de conhecimentos que permeiam estes processos. Todos estes elementos *evoluem em conjunto*, de acordo com as mudanças no ambiente em que estão inseridos. É possível, portanto, estabelecer uma relação entre todas as mudanças mencionadas acima e o comportamento dos processos inovativos no setor de um ponto de vista *sistêmico*.

Nesse sentido, o presente trabalho analisa as dimensões (ou *building blocks*) que compõem o Sistema Setorial de Inovação (MALERBA, 2002) do setor automotivo, quais sejam a demanda, o regime tecnológico e a base de conhecimento, os atores e as instituições envolvidas. A análise empírica e multidimensional fornece uma visão dinâmica das mudanças

pelas quais o sistema de inovação do setor – e conseqüentemente seus processos de mudança tecnológica – têm passado ao longo dos últimos vinte anos, principalmente aquelas relacionadas ao desenvolvimento de novas tecnologias que reduzem os impactos ambientais advindos da produção e utilização dos automóveis.

A pesquisa está disposta em três capítulos. O primeiro uma discussão teórica em torno da natureza e da dinâmica dos processos inovativos, no qual são apresentados alguns modelos que buscam explicar a dinâmica dos processos inovativos e a importância destes para a competitividade das firmas e o crescimento econômico. Dessa forma, busca-se justificar o estudo do sistema setorial de inovação e construir uma base teórica para a análise.

O segundo capítulo trata da discussão do conceito de sistemas de inovação e da construção da metodologia utilizada no trabalho, com base nos trabalhos de Malerba (2002, 2004). Segundo Malerba (2002), para que se possa analisar e comparar a dinâmica e as fronteiras de um sistema setorial de inovação, primeiramente é preciso identificar as diferentes dimensões (*building blocks*) que formam sua estrutura. O presente trabalho apresenta uma metodologia de análise que reconhece quatro dimensões: a primeira é relacionada ao regime tecnológico e à base de conhecimento, a segunda se refere ao comportamento da demanda, a terceira busca identificar a gama heterogênea de atores e suas interligações, enquanto a quarta busca identificar as instituições envolvidas no sistema. Por último, é apresentada uma análise multidimensional, ou co-evolutiva, na qual a evolução de todas as dimensões apresentadas é analisada em conjunto, buscando compreender de que forma elas se relacionam e definem o comportamento do sistema de inovação do setor.

O terceiro capítulo é composto pela aplicação da metodologia de SSI ao setor automotivo nos últimos dez anos, através da análise das dimensões: atores, demanda, regime tecnológico e instituições, além da análise multidimensional. O capítulo mostra que o setor automotivo tem passado por várias mudanças que têm alterado a dinâmica de seu SSI, como o aumento na incorporação da microeletrônica nos automóveis e – em especial nos últimos anos da década de 2000 – pelo investimento em novas tecnologias de propulsão, que tem alterado o regime tecnológico e a base de conhecimentos utilizada no sistema de inovação. Além disso, detecta-se mudanças nas relações entre os atores do sistema, especialmente entre OEMs e fornecedores de nível 1, que agora dividem a responsabilidade sobre o desenvolvimento do automóvel, e alterações nas expectativas e valores subjetivos dos consumidores.

A demanda vem valorizando automóveis mais “limpos” e eficientes, ainda que esta mudança não tenha influenciado tanto - até o momento – as decisões de consumo devido ao alto preço desses automóveis. Por último, nota-se o aparecimento e/ou fortalecimento de instituições destinadas a solucionar as principais “falhas” do sistema, como as políticas de incentivo à inovação e as normas de emissão de poluentes e economia de combustível. Todas essas mudanças, embora pertencentes a diferentes dimensões do sistema, evoluem em conjunto. A análise multidimensional mostrou algumas das principais interligações entre esses movimentos.

O trabalho conclui que o Sistema Setorial de Inovação do setor automotivo tem se tornado significativamente mais *dinâmico* e *complexo*. As fronteiras setoriais do conhecimento têm se expandido para além das OEMs, o número de atores envolvidos nos processos inovativos aumentou graças à elevação da participação dos fornecedores de primeiro nível, governos e universidades. A tecnologia, as expectativas e valores da demanda e as normas impostas ao setor são crescentemente complexas, exigindo das firmas capacitações tecnológicas e organizacionais superiores, impondo desafios às empresas que só poderão ser superados com inovações (incrementais e radicais) que superam muito – em quantidade e qualidade – as que o sistema estava habituado a realizar.

CAPÍTULO 1 – A dinâmica dos processos inovativos: referencial teórico

1.1 - Uma breve revisão do papel da mudança tecnológica nos textos clássicos

Para alguns dos principais expoentes da teoria neoclássica, base do pensamento microeconômico ortodoxo, a inovação é considerada uma variável exógena ao crescimento econômico e à estrutura industrial (HICKS, 1932; WALRAS, 1988; SAMUELSON, 1986), o nível de desenvolvimento tecnológico de um país é, basicamente, uma função da relação entre capital e trabalho e o acréscimo nesses dois fatores seria o principal responsável pelo crescimento econômico.

Nas últimas décadas, mesmo essa corrente de pensamento vem admitindo que os processos de mudança tecnológica são importantes para a explicação do crescimento econômico. Os trabalhos de autores como Abramovitz (1956) e Solow (1957) mostram que as mudanças no nível de produto da economia não podem ser atribuídas somente aos aumentos nos insumos complementares por trabalhador, e que existe, portanto, um resíduo - chamado posteriormente de “avanço técnico” (SOLOW, 1970) - inserido na teoria de forma que se mantenha a relação entre produtividade e crescimento dentro dos pressupostos estáticos neoclássicos (ou seja, como um deslocamento da função produção). De fato, concluiu-se que a porção do crescimento econômico explicada por esse “resíduo” era muito maior do que a explicada pelo aumento quantitativo dos fatores de produção. Traduzindo em números, esses trabalhos atribuem aproximadamente 85% do crescimento do produto dos EUA no final do século XIX e na primeira metade do século XX aos efeitos desses “resíduos”, o que sugere que tal aumento tenha se dado mais por fatores como a “(...) extração de mais produto de cada unidade de insumo na atividade econômica, ao invés do mero uso de mais insumos” (MOWERY & ROSENBERG, 1999, p. 14), fatores estes que sofrem grande influência dos processos de mudança tecnológica.

Posteriormente, outros autores neoclássicos desenvolveram a noção de mudança técnica endógena ao crescimento econômico através de uma maior especificação da função produção, incluindo termos (variáveis) como produtividade total e “eficiência” dos fatores (ARROW, 1962; UZAWA, 1965; ROMER, 1986 E 1990; LUCAS, 1988), embora tenham encontrado certa dificuldade em adequar a hipótese da mudança tecnológica endógena aos pressupostos neoclássicos. Para tais autores, os processos de avanço técnico são resultados de

investimentos das firmas¹ em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) destinados especificamente a aumentar a eficiência e a produtividade dos fatores dentro dos seus portfólios maximizadores de lucros, deslocando assim a função de produção. Portanto, segundo esta visão, a inovação segue um padrão linear (KLINE & ROSENBERG, 1986) e, mais que isso, é “induzida”, no sentido de os resultados das atividades de P&D serem conhecidos mesmo antes de tais investimentos serem realizados, não havendo espaço para incertezas “não triviais”, diferenças de opinião e ambigüidades fundamentais (NELSON & WINTER, 1982).

Apesar do esforço envolvido em reconhecer a importância da inovação para o crescimento econômico, tais trabalhos abstraíram dos processos de mudança tecnológica “(...) a incerteza, os ganhos e perdas transitórios, o caráter irregular e hesitante do avanço técnico e a diversidade das características e estratégias das firmas – isto é, as características-chave da dinâmica capitalista” (NELSON & WINTER, 1982, p. 52) a fim de manterem a aderência formal do modelo neoclássico, onde prevalece a maximização dos lucros, o equilíbrio geral e o caráter estático.

Fora do arcabouço neoclássico, diversos autores se ocupam em abordar de forma mais completa e realista a importância dos processos de mudança tecnológica para a estrutura dos mercados e o crescimento econômico. Em *O Capital* (1867), Karl Marx demonstra plena consciência da importância histórica e das consequências sociais da tecnologia², sendo que para ele a própria emergência histórica das instituições capitalistas deve muito ao dinamismo tecnológico, no sentido de que os aumentos na produtividade são resultados dos poderosos incentivos criados pelo sistema para acelerar a mudança tecnológica e a acumulação de capital. Adicionalmente, Marx considera que “(...) a classe capitalista é a primeira classe dirigente na história cujos interesses estão indissoluvelmente ligados à mudança tecnológica e não à manutenção do *status quo*” (ROSENBERG, 1982, p. 26).

Outra referência fundamental quanto ao papel da mudança tecnológica é Joseph Schumpeter que, em seu estudo *Capitalismo, Socialismo e Democracia* (1956), questiona os pressupostos neoclássicos fundamentais da racionalidade otimizadora das firmas e dos agentes, a concorrência exclusivamente via preços, as desvantagens sociais e econômicas dos mercados monopolísticos, a natureza exógena da mudança tecnológica e a visão estática dos fenômenos econômicos. Tendo em vista esses questionamentos, o autor afirma que a

¹ Baseando-se no pressuposto de que o resultado desses investimentos (a “inovação”) é um bem privado que pode ser apropriado pela firma, pois caso não o seja, a firma não tem incentivos para investir em inovações.

² Ver Rosenberg (1976).

economia capitalista deve ser entendida como um conjunto de processos de caráter dinâmico e evolutivo inserido num ambiente de incertezas que é constituído não somente pelas modificações naturais a que está sujeito, mas também pelo surgimento de novos produtos e modos de produção que criam, alteram e destroem a estrutura dos mercados. Dessa forma, as análises estáticas e isoladas presentes na teoria neoclássica não seriam suficientes para explicar o comportamento da economia como um todo e da inovação em particular, que passaria a exercer um papel endógeno e central no processo de desenvolvimento econômico (SCHUMPETER, 1956).

O estudo de Schumpeter abre caminho para o surgimento de uma nova corrente de pensamento baseada em seu referencial teórico, que procura estudar os processos de inovação, sua criação, difusão e seus impactos na atividade econômica e na estrutura dos mercados, com o objetivo de construir uma nova teoria microeconômica. Para esse grupo, a mudança tecnológica não é apenas um fenômeno endógeno à estrutura produtiva da indústria, mas o foco de análise da teoria.

Com o surgimento da vertente “neo-schumpeteriana”, diversos autores se ocuparam em explicar a dinâmica dos processos de mudança tecnológica e suas ligações com a estrutura de mercado e, através de análises empíricas, elaborar taxonomias acerca das diferentes características tecnológicas, econômicas, organizacionais e institucionais que podem ser observadas entre os setores da economia. Um entendimento maior dos padrões setoriais de inovação ajuda a esclarecer algumas questões fundamentais para as políticas industrial e de desenvolvimento, como “Quais setores efetivamente precisam de maior incentivo governamental para inovar?” ou “Como promover o crescimento econômico através da inovação?”. Além disso, com o maior conhecimento dos padrões de inovação, as empresas podem ajustar melhor suas estratégias às restrições tecnológicas, sociais e econômicas impostas pelo ambiente de negócios, traduzindo-se em vantagens competitivas para as mesmas (PAVITT, 1984).

Tradicionalmente os economistas têm se preocupado com a alocação de recursos para a inovação e seus efeitos econômicos, enquanto os determinantes dos processos de mudança tecnológica têm sido tratados como uma “caixa preta” (ROSENBERG, 1982) devido ao fato destes poderem assumir diversos comportamentos e características, além de possuírem uma componente estocástica (FAGERBERG, 2003). No entanto, durante as últimas décadas uma série de pesquisadores tem se esforçado para entender melhor como se comportam e quais as

características desses processos de inovação tecnológica. As próximas subseções buscam apresentar os principais avanços no entendimento desses processos, tendo como ponto de partida uma série de perguntas: O que se entende por inovação tecnológica? Quais as fontes, comportamento e características principais destes processos? Quais seus efeitos sobre o crescimento econômico? Qual a ligação entre a inovação e a estrutura de mercado?

1.2 – Definições gerais de tecnologia e mudança tecnológica

Segundo uma explicação simples dada por Perez (1985), a tecnologia é o “como” e “o quê” (*how and what*) da produção e, como tal, está sujeita a determinações de ordem social e econômica. De forma análoga, Schmookler (1966) oferece os conceitos de tecnologias de produto e de processo (que mais tarde dão origem às inovações de produto e processo), sendo a primeira o estoque de conhecimento sobre como criar ou melhorar os produtos e a segunda o estoque de conhecimento sobre como produzi-los.

Dosi (1984) define a tecnologia como “um conjunto de parcelas de conhecimento (...) de *know-how*, métodos, procedimentos, experiências de sucessos e insucessos e também, é claro, dispositivos físicos e equipamentos” (p.40). De acordo com seu ponto de vista, a tecnologia incluiria também a “percepção” acerca das alternativas tecnológicas futuras, composta pelas soluções tecnológicas do passado juntamente com o conhecimento e realizações do *state of art* de determinada tecnologia. Adicionalmente, Rosenberg (1982) define a tecnologia como “um conhecimento de técnicas, métodos e projetos que funcionam de maneiras determinadas e com consequências determinadas, mesmo quando não se possa explicar exatamente por que” (p. 218). Ambos apresentam uma visão diferente da “tradicional”, onde a tecnologia se constitui como mera aplicação do conhecimento científico trazido de outras esferas (biologia, química, engenharias), sendo a ciência *exógena* à tecnologia. De fato, alguns autores defendem que essa premissa nunca foi verdadeira e enfatizam que, muitas vezes, o conhecimento tecnológico *antecede* o conhecimento científico, sendo a tecnologia um repositório de conhecimentos empíricos a serem analisados pelos cientistas em busca de avanços na ciência que podem, inclusive, gerar conhecimentos tecnológicos posteriores (ROSENBERG, 1982; STOKES, 2005).

Segundo os principais autores da corrente neo-schumpeteriana (DOSI, 1988; NELSON & WINTER, 1982; PEREZ, 1985; PAVITT, 1984), cada tecnologia tem características distintas no que se refere às suas condições de oportunidade, apropriabilidade, cumulatividade, irreversibilidade etc. que compõem as principais causas das diferenças inter-

setoriais no que se refere aos processos de mudança tecnológica. Da mesma forma, o conhecimento técnico utilizado nesses processos também tem certas características (especificidade, complexidade e tacitividade) que implicam que as oportunidades de inovação e as capacitações para persegui-las sejam locais e específicas às firmas. Portanto, cada tecnologia tem uma determinada “produtividade inovativa” e determinadas oportunidades específicas, influenciadas, por exemplo, pela base de conhecimento e pelas interações entre clientes e fornecedores. A idéia geral é a de que as oportunidades tecnológicas são restritas a cada tecnologia e que o aparecimento destas varia entre os diversos setores da economia.

A existência de variações em termos de especificidade, complexidade e tacitividade do conhecimento técnico implica em dificuldades para imitar um novo produto ou processo, implicando que haja certa apropriabilidade tecnológica, ou seja, capacidade das firmas inovadoras de internalizar conhecimentos e artefatos (conhecidos também como “informações privadas”) advindos de inovações tecnológicas (DOSI, 1988). As condições de apropriabilidade também podem diferir entre cada tecnologia de acordo com fatores como a existência de patentes, segredos de firma, custos e tempo para a imitação, *lead time*, efeitos da curva de aprendizado, dentre outros. Já as “informações públicas” são consideradas algumas das principais externalidades no processo de inovação: além das informações livremente disponíveis, o aspecto público pode aparecer também através de ativos coletivos de grupos de firmas ou setores, “(...) *interdependências não negociadas* entre setores, tecnologias e firmas e que tomam a forma de complementaridades tecnológicas, ‘sinergias’ e fluxos de estímulos e restrições que não correspondem inteiramente aos fluxos de mercadorias” (DOSI, 1988, p. 25, Grifo no original).

As tecnologias também apresentam forte irreversibilidade, uma vez que as inovações são adotadas em trajetórias específicas nas quais as técnicas são aprimoradas depois de certo tempo de aprendizado cumulativo, criando um conjunto específico de conhecimento e capacitações técnicas que possibilitam as mudanças tecnológicas.

Tendo em vista a presente definição de tecnologia, parte-se para a definição do que se entende por mudança tecnológica. Como já foi dito, esses processos podem assumir diversos comportamentos e características ao longo do tempo e entre os diversos setores da economia. Uma visão geral da mudança tecnológica necessita da utilização de uma série de instrumentos que classifiquem e ordenem estes processos (PEREZ, 1986).

O Manual de Oslo (OCDE, 2005a), define uma inovação como

(...) a implementação de um produto (bem ou serviço) novo ou significativamente melhorado, ou um processo, ou um novo método de marketing, ou um novo método organizacional nas práticas de negócios, na organização do local de trabalho ou nas relações externas. (OCDE, 2005a, p. 55).

O Manual apresenta ainda a definição de inovação tecnológica de produto e de processo: “(...) uma inovação de produto consiste na introdução de um bem ou serviço novo ou significativamente melhorado no que concerne a suas características ou usos previstos” (p.57) enquanto uma inovação de processo consiste na “(...) implementação de um método de produção ou distribuição novo ou significativamente melhorado” (p. 58), embora, na prática, ambos os conceitos possam estar relacionados a um mesmo processo de mudança tecnológica: uma inovação de produto para uma firma pode se tornar uma inovação de processo para outra na medida em que a última adquira o produto e o utilize em seu processo de produção (STONEMAN, 1995).

Na busca por um denominador comum na caracterização dos processos de mudança tecnológica, Schumpeter (1934) define as inovações como novas combinações entre os fatores de produção que geram novos produtos, processos, a abertura de novos mercados e a reorganização da indústria. Para Dosi (1988), a inovação tecnológica envolve a *solução de problemas*, como a transformação de calor em movimento, produção de certos componentes com determinadas propriedades, levando-se em conta a viabilidade em termos de custos e demanda potencial. Rosenberg (1982) sugere uma caracterização geral na qual o progresso técnico é definido como a compreensão de “(...) certos tipos de conhecimento que tornam possível produzir, a partir de uma dada quantidade de recursos, (1) um maior volume de produto ou (2) um produto qualitativamente superior” (p. 18). A segunda definição é, talvez, uma das maiores contribuições do progresso técnico para a dinâmica da economia capitalista moderna³, na qual a sociedade não desfruta de um bem-estar material superior apenas porque consome maiores quantidades dos mesmos produtos, mas principalmente porque conta com produtos qualitativamente superiores a seu serviço (ROSENBERG, 1982).

³ Schumpeter (1956) enfatizou a importância das inovações de produto como uma das principais causas da “destruição criativa” que eliminava os ramos industriais produtores das mercadorias antigas. Porém, o autor não considerou que o progresso técnico (em termos de um deslocamento da função de produção) se desse apenas através de inovações de produto e processo, mas também através da abertura de novos mercados, a aquisição de novas fontes de matérias-primas ou a reorganização estrutural de um ramo comercial (SCHUMPETER, 1934).

Kline & Rosenberg (1986) ressaltam que os processos de inovação tecnológica têm como dimensão central a incerteza quanto aos seus resultados, uma vez que, por definição, a inovação implica a criação do *novo*, que contém elementos ainda não compreendidos pelas firmas inovadoras. A inovação é também um processo contínuo, na qual uma mesma tecnologia pode ser melhorada diversas vezes até chegar ao seu *state of art*. Portanto, aquilo que se chama de inovação individual geralmente é resultado de um lento processo envolvendo muitas inovações incrementais inter-relacionadas (FAGERBERG, 2003; KLINE & ROSENBERG, 1986).

Uma primeira classificação possível acerca dos processos de mudança tecnológica diz respeito à distinção entre *invenção*, *inovação* e *difusão* (SCHUMPETER, 1939). Estes processos têm características, motivações e determinações (dos pontos de vista econômico e social) muito diferentes entre si. A invenção refere-se à adição de novos produtos e técnicas de produção ao estoque de conhecimento e geralmente é tratada como um processo exógeno e não sujeito à determinações de ordem econômica, enquanto a inovação refere-se aos primeiros esforços de produção e/ou aplicação comercial das invenções, conseqüentemente sujeita a determinações de ordem social e econômica⁴.

É preciso ressaltar que a invenção antecede a inovação e que ambas são separadas por um *time lag* que pode ser muito curto ou durar décadas, refletindo os diferentes requerimentos exigidos para trabalhar numa idéia e colocá-la em prática, além das condições para comercialização como a necessidade de insumos ou fatores complementares (ou inovações complementares) para que o produto/processo possa ser comercializado (FAGERBERG, 2003). Assim, para transformar uma invenção em inovação, a firma deve possuir a habilidade de combinar diversos tipos de conhecimentos, capacitações, competências, recursos e análise do mercado e das condições para comercialização do produto/processo.

Nesse sentido, Cohen & Levinthal (1990) destacam o papel das capacitações absorptivas das firmas, cruciais nos seus processos inovativos. Tais capacitações consistem na habilidade de reconhecer o valor dos conhecimentos externos, assimilar e aplicar tais conhecimentos para fins comerciais através da utilização de estruturas cognitivas. Segundo os autores, as capacitações absorptivas de uma firma são determinadas pelo nível de

⁴ Ruttan (1959) discorda dessa visão e propõe que as invenções sejam tratadas como um *subgrupo* definido de inovações técnicas. Nesse caso, as invenções não antecedem as inovações, mas acontecem de modo simultâneo e também necessitam de capacitações específicas das firmas para ocorrerem, ficando sujeitas também a determinações de ordem econômica e social.

conhecimento interno que essa firma possui *ex-ante*, ou seja, pela sua base de conhecimentos, utilizando o argumento de que o conhecimento acumulado aumenta a capacidade de absorver novos conhecimentos não só para os indivíduos, mas também para as empresas enquanto organismos que evoluem graças a mudanças no ambiente em que estão inseridas. Portanto, tanto os conhecimentos internos quanto os conhecimentos externos são cruciais para os processos inovativos das firmas e se interrelacionam através da construção de capacitações absorptivas.

Após os primeiros esforços de aplicação comercial (e caso obtenha-se sucesso nesse processo) a inovação pode permanecer como um fenômeno isolado nas mãos das firmas inovadoras ou pode ocorrer um processo de adoção em massa através da *difusão tecnológica*, que irá depender de fatores como as características da tecnologia e o comportamento dos mercados. Segundo Rosenberg (1976), a difusão pode ser considerada tão importante quanto a inovação devido ao fato de o retorno social da inovação ser muito maior que o retorno privado: o processo de difusão pode promover um “efeito em cascata”, através do qual os benefícios da inovação original (aumento da produtividade, por exemplo) se alastram para uma população muito mais ampla de usuários. Além disso, “(...) longe de ser simplesmente uma decisão de compra e utilização, a difusão implicará em um processo de *aprendizagem, modificação da organização existente da produção e, frequentemente, mesmo uma modificação dos produtos* (DOSI, PAVITT & SOETE, 1990, p. 119, itálicos no original).

Uma segunda forma de classificação dos processos de mudança tecnológica é apresentada por Freeman (1986), que distingue entre *inovações incrementais*, *inovações radicais* e *revoluções tecnológicas*. Como o próprio nome sugere, as inovações incrementais se referem a pequenas e contínuas melhorias nos produtos ou nos processos de produção já existentes, sem alterações significativas na estrutura produtiva e do mercado. As inovações radicais, por outro lado, se referem à introdução de novos produtos ou processos de produção, eventos descontínuos que podem levar as firmas de um ou mais setores a fazerem sérios ajustes tanto no modo de produção quanto no produto em si. Por último, as revoluções tecnológicas seriam provocadas por mudanças profundas, com a emergência de grupos inteiramente novos de produtos ou processos, transformando de forma radical os métodos de produção e as estruturas de custo das firmas como, por exemplo, com a introdução da eletricidade, do motor à combustão interna ou das ferrovias.

Portanto, pode-se definir de maneira geral que a tecnologia engloba um estoque de conhecimentos específicos sobre “como fazer” determinado produto/processo produtivo e a mudança tecnológica se configuraria como um aumento no estoque de conhecimento de determinada tecnologia que permite produzir um volume maior de produto ou um produto qualitativamente superior, num processo marcado por incertezas quanto aos resultados e continuidade. Partindo dessas definições mais gerais, a próxima subseção trata especificamente da literatura acerca dos determinantes e do comportamento dos processos de mudança tecnológica.

1.3 – A dinâmica dos processos de mudança tecnológica segundo alguns dos principais modelos

A presente subseção pretende expor quais as principais motivações das firmas para realizarem inovações e quais as etapas desse processo de acordo com as principais abordagens existentes.

Segundo Hicks (1932) - um dos principais expoentes da teoria neoclássica, os estímulos principais para que uma firma realize inovações tecnológicas são as mudanças nos preços relativos dos fatores de produção (capital e trabalho), sendo que o intuito da inovação seria o de economizar o fator de produção cujo preço fosse relativamente maior. Essa hipótese poderia ser comprovada pelo fato de que nos últimos séculos o fator capital tem crescido a taxas maiores do que o fator trabalho (portanto o seu preço relativo tem diminuído) e, portanto, as firmas teriam incentivos a realizar inovações que poupam trabalho. No entanto, como afirma Rosenberg (1976), a posição de Hicks implica em uma confusão entre mudança tecnológica e substituição de fatores de produção.

Segundo outros autores neoclássicos (SAMUELSON, 1965; SALTER, 1966), as firmas sempre têm incentivos para reduzir seus gastos - independentemente dos preços relativos dos fatores de produção - buscando maximizar seu lucro. Ambos consideram que as mudanças tecnológicas são estimuladas majoritariamente por reduções nos custos de produção, sem levar em consideração a busca por melhorias qualitativas nos produtos e a complexidade desses processos. Para essa corrente de pensamento, as inovações são simplesmente deslocamentos na curva de produção causados pelas melhorias (em termos de custos) nos fatores de produção e, portanto, a inovação, seus determinantes e sua trajetória ficam reduzidos a uma mera questão de mudança nos preços relativos.

Ainda dentro do pensamento neoclássico, uma série de estudos empíricos aponta para a importância da demanda do mercado como principal determinante das taxas de mudança tecnológica⁵, através do mecanismo de “*demand-pull*”. Estes estudos argumentam que as inovações são - em certa medida - “desencadeadas” em resposta às demandas do mercado para que certas necessidades sejam satisfeitas, ou seja, a inovação então é “induzida” pela demanda através de movimentos dos preços relativos que deslocam a curva de demanda e sinalizam aos produtores as preferências dos consumidores. Através dessas considerações, essa abordagem permite inserir a inovação dentro do arcabouço neoclássico, embora ainda com algumas dificuldades (DOSI, 1984): primeiramente, a abordagem não demonstra o que acontece entre a identificação de uma “necessidade” (por parte dos produtores) e o resultado final (um novo produto); em segundo lugar, existe a possibilidade de deslocar o rumo das mudanças tecnológicas de maneira simples e sem grandes custos, contrariamente às evidências empíricas; em terceiro lugar, essas tentativas levam em conta apenas as possibilidades tecnológicas já existentes ou as inovações incrementais, desconsiderando qualquer ligação entre o mercado e a capacidade inventiva dos produtores que gera produtos totalmente novos; por último, esses estudos ignoram uma série de mecanismos pelo lado da oferta que continuamente alteram a estrutura dos custos de produção e introduzem novos produtos que são fundamentais para a explicação dos determinantes dos processos de mudança tecnológica.

De fato, como Mowery & Rosenberg (1979) apontam, é preciso reconhecer que os mecanismos da demanda são importantes estímulos à inovação e que os inovadores individuais realmente enxergam uma demanda potencial para seu futuro produto antes de empreender os respectivos processos de inovação, mas essa demanda é apenas um estímulo e não um determinante destes processos. Em outras palavras, “(...) a percepção de um mercado potencial faz parte das condições *necessárias* para a inovação, mas *não* constitui de modo algum a condição suficiente” (DOSI, 1984, p. 36) [grifos no original].

Ainda em busca dos principais incentivos para a inovação, alguns estudos defendem o papel da tecnologia (exógena) como principal determinante dos processos de mudança tecnológica (*technology-push*). De acordo com essa abordagem, os estímulos à inovação provêm principalmente dos avanços tecnológicos e científicos que são transferidos para o âmbito produtivo, seguindo o esquema unidirecional “ciência-tecnologia-produção” onde a

⁵ Ver Mowery & Rosenberg (1979).

primeira é exógena e neutra em relação aos eventos econômicos (DOSI, 1984). As falhas dessa abordagem são, em certa medida, opostas às das teorias de *demand-pull*: sua preocupação é, basicamente, com as invenções geradas sem qualquer interação com o ambiente econômico, desconsiderando, por exemplo, as inovações incrementais.

Na verdade, ambas as abordagens (*technology-push* e *demand-pull*) desconsideram os principais mecanismos interativos entre os ambientes econômico e científico/tecnológico e, portanto, são incapazes de explicar os determinantes dos processos de mudança tecnológica de maneira satisfatória, embora revelem dois importantes estímulos à atividade inovadora: a demanda de mercado e o surgimento de novos conhecimentos científicos e tecnológicos. Adicionalmente, Rothwell (1994) afirma que a importância de ambos os estímulos varia consideravelmente durante o ciclo de vida do produto (VERNON, 1966) e também entre os diversos setores da economia. Assim, é possível encontrar ramos industriais nos quais a importância das descobertas científicas é maior durante os primeiros estágios de vida do produto, embora nos estágios subsequentes a influência sobre os processos inovativos seja marcada crescentemente pelas necessidades do mercado. Um exemplo desse comportamento pode ser encontrado nos setores *science-based* (PAVITT, 1984). Ainda assim, deve-se ter em mente que em todos os estágios e em todos os setores da economia o sucesso dos processos inovativos depende do alinhamento entre as capacitações tecnológicas e as demandas do mercado, e não de cada uma separadamente (ROTHWELL, 1994).

Por fim, segundo a contribuição de Dosi (1988), em geral os agentes investem em inovação se acreditam que existem oportunidades tecnológicas e científicas que ainda não foram exploradas⁶ e que existe um mercado economicamente rentável para a inovação (produto ou processo), bem como condições para que a firma possa se apropriar economicamente dos resultados da inovação. Tal investimento pode aparecer não só em processos formalizados como a Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) tradicional, mas também de forma informal, através de processos de difusão (publicações, transferência de mão de obra especializada entre as firmas, etc.), “externalidades” - como interações entre fornecedores e clientes ou de alguma percepção da firma durante o processo de fabricação/utilização do produto/processo (*learning-by-doing*, *learning-by-using*) - e absorção de inovações desenvolvidas por outras firmas através da compra de bens de capital ou insumos intermediários (DOSI, 1988; PAVITT, 1984). Dentre os fatores que estimulam a mudança

⁶ Advindas, por exemplo, de novos conhecimentos científicos e tecnológicos.

tecnológica, os mais comuns são os gargalos tecnológicos, a escassez ou abundância de insumos, os choques de preços e oferta, a taxa de crescimento da demanda e a mudança nos preços relativos. Dosi também destaca o papel do Estado como provedor de incentivos (diretos ou indiretos) aos processos formalizados de P&D que dão origem a inovações, principalmente no caso da pesquisa básica ou pura, que tem um caráter relativamente público.

Dadas as principais motivações para que as firmas se envolvam em processos inovativos, resta agora estudar sua dinâmica. Para isso, é preciso entender o ambiente em que as firmas estão inseridas, as características da tecnologia e as diversas etapas que caracterizam esses processos. Vários modelos e abordagens se ocupam em explicar essa dinâmica e suas etapas, dentre as quais se destacam o modelo linear, o modelo interativo e o modelo de inovação aberta.

A origem do modelo linear geralmente é associada ao trabalho de Bush (1945) - embora Godin (2006) afirme que o modelo se trata de uma construção social, que conta com a contribuição inicial de autores como Holland (1928), Furnas (1948) e Maclaurin (1950). Maurice Holland foi o primeiro a apontar como a inovação poderia ser realizada de forma sistemática, organizada e eficiente através de processos de “pesquisa organizada” e como esses processos contribuem para o avanço industrial, reduzindo o *gap* entre a descoberta científica e a produção em massa (HOLLAND, 1928). Ele classificou sete etapas sequenciais que vão desde a pesquisa básica, passando pela pesquisa aplicada, invenção, pesquisa e aplicação industrial, padronização e finalmente a produção em massa. A esse processo o autor deu o nome de ciclo de pesquisa (*research cycle*), um dos precursores do modelo linear (GODIN, 2008).

Posteriormente, Vannevar Bush, enquanto diretor do *Office of Scientific Research and Development* (OSRD) americano durante o final da Segunda Guerra Mundial, estabeleceu diretrizes quanto ao investimento em pesquisa científica no pós-guerra através de duas premissas principais (STOKES, 2005): primeiramente, Bush divide a pesquisa científica em duas categorias - a pesquisa básica e a pesquisa aplicada. A primeira se refere à pesquisa realizada sem comprometimento algum com fins práticos, centrado na contribuição “(...) ao conhecimento em geral e ao entendimento da natureza e de suas leis” (BUSH, 1945 *apud* STOKES, 2005), enquanto a segunda se refere à pesquisa com alguma utilidade prática definida *ex-ante*. Ambas não se misturam, sendo que quanto mais um projeto de pesquisa se aproxima da pesquisa básica, mais ele se distancia da pesquisa aplicada.

Feita essa divisão, o autor considera que a pesquisa básica é precursora do progresso tecnológico, e dessa forma os agentes (governo, empresas) devem investir prioritariamente na ciência básica, cujas descobertas podem ser futuramente convertidas em inovações tecnológicas pela pesquisa aplicada. Essa idéia, chamada de versão dinâmica do paradigma do pós-guerra (STOKES, 2005), é a base que sustenta o modelo linear de inovação tecnológica. Formalmente, o modelo linear pode ser descrito como um gráfico unidimensional tendo em sua origem a pesquisa básica, passando pela pesquisa aplicada, pelo desenvolvimento, seguido pela produção e finalmente chegando ao mercado. Essa seria então a ligação entre a pesquisa e o mercado, e descreveria de um modo geral as etapas do processo de mudança tecnológica (KLINE & ROSENBERG, 1986). Vários trabalhos têm apresentado versões semelhantes desse modelo, desde Holland (1928), Furnas (1948) e Maclaurin (1950) até Nelson (1959) e Arrow (1962). Todos têm em comum o tratamento do processo de inovação através de etapas rígidas e bem definidas ao longo do tempo, com a ciência ocupando o papel de destaque no início do processo.

FIGURA 1 - Uma visão clássica do Modelo Linear



Fonte: Elaboração própria, a partir de Stokes (2005) e Kline & Rosenberg (1986).

O modelo tem recebido severas críticas ao longo das últimas décadas⁷, dentre as quais se destacam a de Stokes (2005) e de Kline & Rosenberg (1986). Ambos questionam a extrema simplicidade do modelo e sua incapacidade de explicar alguns fenômenos fundamentais inerentes aos processos de mudança tecnológica (como os diversos fluxos “não convencionais” entre ciência e tecnologia), bem como a exagerada influência da ciência no modelo. Stokes (2005) foca na crítica quanto à divisão entre ciência básica e aplicada, pois, para ele, alguns dos esforços de pesquisa são motivados tanto pelo entendimento dos processos básicos quanto pela sua aplicação prática, se configurando como uma categoria à

⁷ Ver também Rosenberg (1976), Mansfield (1991) e Klevorick *et al.* (1995). Apesar da grande quantidade de críticas dirigidas ao modelo linear ao longo das últimas décadas, Balconi *et al.* (2010) destacam alguns pontos nos quais o modelo continua sendo útil para a discussão dos processos inovativos. Eles afirmam que, apesar da simplificação, o modelo pode ser considerado como um subsistema linear dentro do complexo sistema de inovação, atuando na esfera micro como uma ferramenta para entender melhor partes isoladas do processo, além de ressaltarem o papel da ciência e da pesquisa básica na geração de inovações e desqualificarem algumas das principais críticas que, segundo eles, “(...) tem pouca conexão com o modelo e podem ser facilmente acomodadas em uma versão ligeiramente revisada” (BALCONI *et al.*, 2010, p. 11) [tradução nossa].

parte⁸ (o chamado Quadrante de Pasteur). No entanto, segundo o autor, a maior falha do modelo é quanto à premissa de que os fluxos tecnológicos se dão sempre da ciência para a inovação tecnológica e, portanto, a ciência seria exógena à tecnologia e seria a base de toda e qualquer inovação tecnológica importante. Como já explicado nesse capítulo, essa premissa é falsa, pois muitas vezes a tecnologia pode ser uma importante aliada para os avanços da ciência, seja como repositório de conhecimentos ou mesmo fornecedora de ferramentas de alta precisão que auxiliem na pesquisa básica.

Kline & Rosenberg (1986) também criticam a simplicidade do modelo e dos fluxos tecnológicos. Sua crítica se concentra na excessiva importância dada à ciência e na falta de mecanismos de *feedback* durante as etapas do processo. Segundo os autores, esses mecanismos são de extrema importância para a avaliação do desempenho e da posição competitiva das firmas, bem como para a formulação das próximas etapas do processo inovativo, uma vez que a inovação dificilmente surge com um *design* previamente otimizado, mas deve passar por processos de *redesign* até que se encontre em condições de satisfazer plenamente as necessidades do mercado. Os autores apresentam um modelo alternativo ao linear no qual os fluxos de tecnologia e conhecimento podem ocorrer através de cinco diferentes “caminhos”, permeados por *feedbacks*, fluxos de conhecimentos e inovações da tecnologia para a ciência e da ciência para a tecnologia (Figura 2):

1 - o primeiro diz respeito ao caminho “principal” dos processos inovativos, que começa pelo reconhecimento de um mercado potencial, passando pela invenção e/ou design analítico, desenvolvimentos adicionais, *redesign* e por fim segue para o mercado (letra c).

2 – o segundo caminho é o dos mecanismos de *feedback* que permeiam todo o processo (letra f e F) e que são fundamentais para a otimização do produto/processo através das inovações incrementais empreendidas através dos conhecimentos gerados pelos processos de aprendizado ao longo do processo inovativo, produtivo (*learning-by-doing*) e através de interações com usuários (*learning-by-using*).

3 – o terceiro caminho é o do estoque de conhecimentos e pesquisa básica, que também estão presentes em todo o processo, e não apenas no seu início, como defende o modelo linear. De acordo com o modelo interativo, num processo inovativo, a princípio as empresas buscam conhecimento na base de conhecimentos disponível (“caminho” 1-K-2). Se

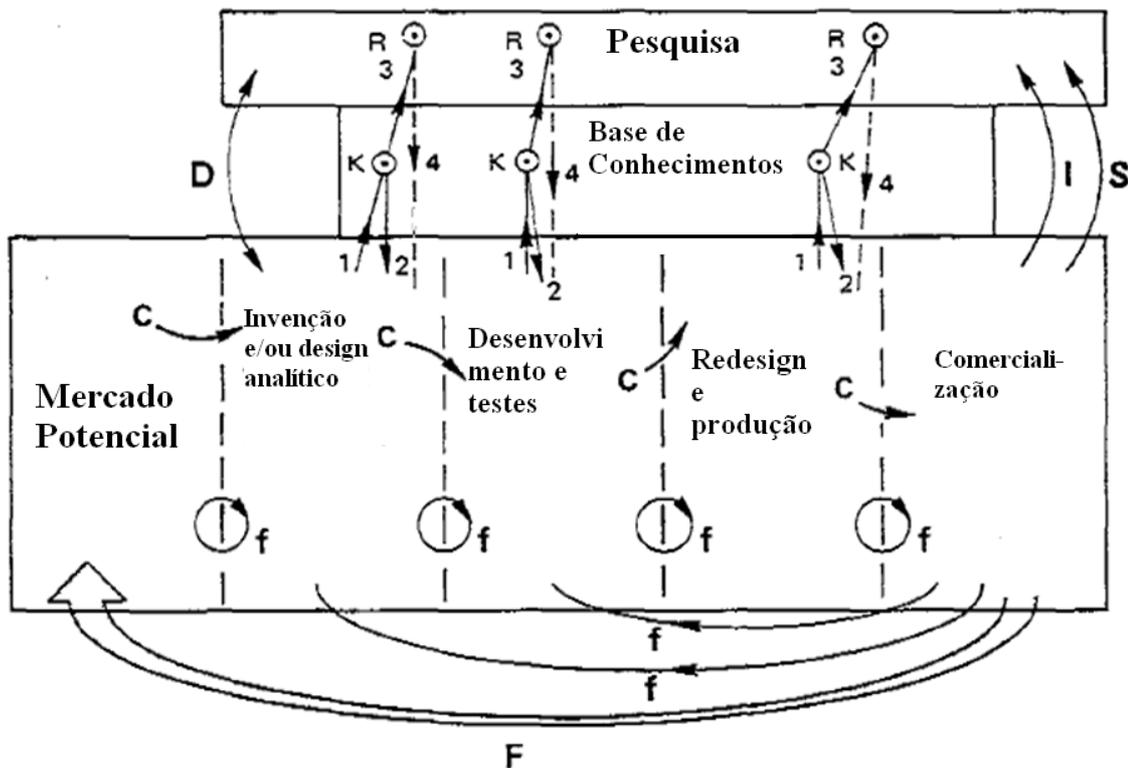
⁸ Nesse caso, não faz sentido falar de uma relação unidirecional da pesquisa básica para a pesquisa aplicada.

os conhecimentos existentes não resolvem o problema das firmas, estas recorrem à ciência através da pesquisa básica (“caminho” 1-K-3-R-4). Dessa forma, muitos processos inovativos são realizados sem grande participação da ciência, através do que eles chamam de design analítico, através de novas combinações de componentes existentes ou da modificação de *designs* (caminho 1-K-2) e, portanto, a ciência básica não ocuparia o papel principal nos processos inovativos, mas sim o *design*.

4 – o quarto caminho é aquele previsto pelo modelo linear, ou seja, da ciência básica para o desenvolvimento aplicado (letra D). Kline & Rosenberg (1986) não negam a existência dessa relação da ciência para a tecnologia, apenas defendem que esta não é a *única* forma pela qual são realizados os processos inovativos.

5 – o último caminho é o da tecnologia para a ciência básica, ou seja, inovações tecnológicas que aprimoram a ciência básica, representados pelas letras I e S. Um exemplo são os instrumentos de precisão, computadores, microscópios, etc. que auxiliam nos processos de pesquisa “básicos”.

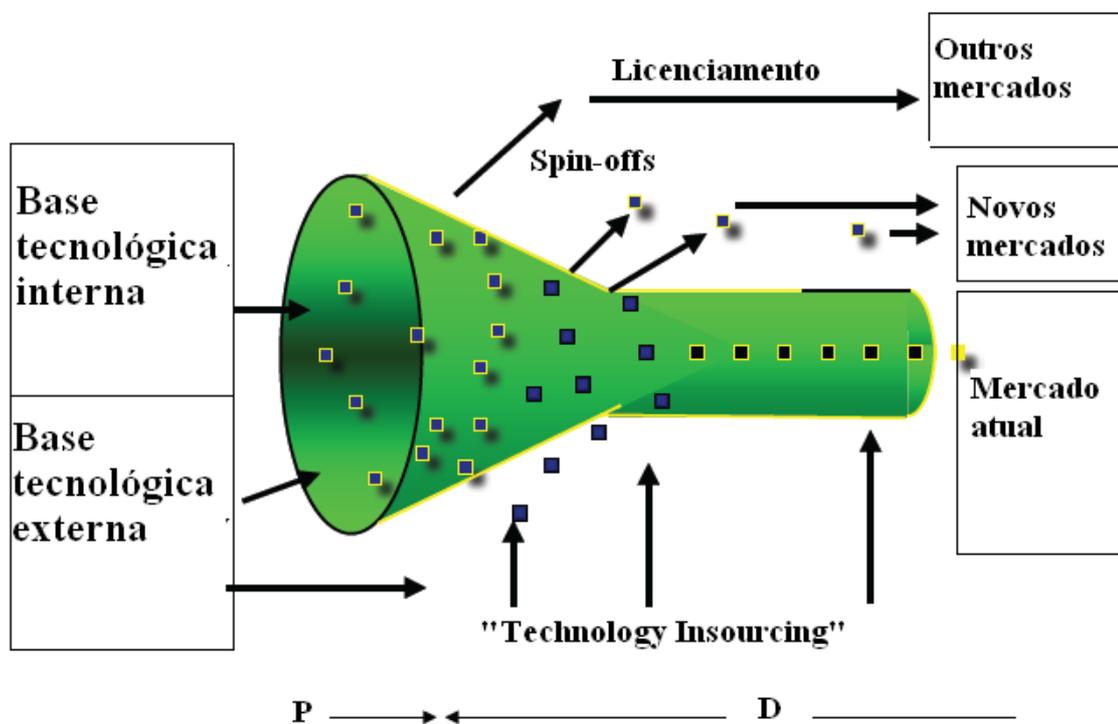
FIGURA 2 – O modelo interativo (*chain-linked model*)



Fonte: Kline & Rosenberg (1986).

O “modelo de inovação aberta” apresentado por Chesbrough *et al.* (2006), representado na Figura 3, explica como, atualmente, as firmas combinam conhecimentos internos e externos na fase de pesquisa (“P”) e comercializam tecnologias (protegidas por patentes) de forma que as vantagens competitivas advindas da inovação tecnológica sejam mantidas. Ainda que esse comportamento seja relativamente incipiente nas empresas, ele explica uma tendência cada vez mais forte e inserida no conceito de Sistemas de Inovação cujo presente trabalho discute: a de que os processos inovativos têm sido realizados cada vez mais através de *networks*, redes de cooperação e compartilhamento de conhecimentos e tecnologias que se apóiam em conhecimentos internos e externos às empresas.

FIGURA 3 – O modelo de inovação aberta



Fonte: Chesbrough *et al.* (2006).

Os modelos discutidos apresentam diferentes visões sobre as etapas que compõem os processos de inovação tecnológica. Esses processos também se alteram com o tempo, de acordo com as características do ambiente em que as empresas se encontram inseridas. Nesse sentido, em seu modelo dos ciclos tecnológicos de produto e processo, Utterback & Abernathy (1975) explicam que as características dos processos de inovação de uma empresa variam sistematicamente graças a mudanças em suas estratégias competitivas e ao estágio de desenvolvimento da tecnologia de processo utilizada por ela e pelos seus competidores. Eles

dividem o desenvolvimento de novos produtos e processos em fases distintas ao longo do tempo. No caso do desenvolvimento de processos, as fases são:

1 – Descoordenada: Nessa fase, a taxa de inovação é alta e existe grande diversidade entre os produtos de cada firma, embora os processos sejam ineficientes e não tenham padrões definidos. O sistema é orgânico, respondendo facilmente a mudanças no ambiente e as empresas têm mais liberdade para inovar.

2 – Segmentada: À medida que a indústria e o produto se tornam maduros (alcançando um volume de vendas expressivo e estabilizando o design do produto), os processos se tornam mais padronizados e focados na eficiência. As tarefas se tornam mais especializadas e segmentadas, sujeitas a maior controle operacional. As empresas têm menor liberdade para introduzir mudanças nos processos.

3 – Sistêmica: Nesta fase, os processos se tornam tão integrados e desenvolvidos que se torna muito difícil implementar mudanças devido ao custo dessa operação, uma vez que, dada sua natureza sistêmica, mesmo pequenas mudanças no processo podem exigir a troca de vários componentes.

Adicionalmente, os autores apresentam também três fases de desenvolvimento de inovações de produto:

1 – Maximização do desempenho: Nessa primeira fase, o desenvolvimento dos produtos foca na melhoria do desempenho dos mesmos. De forma análoga aos processos, aqui a padronização é pequena, as incertezas quanto ao resultado são maiores e as mudanças são mais rápidas e intensas, visando atender às necessidades do mercado.

2 – Maximização das vendas: Com o tempo, a redução nas incertezas do mercado e o estabelecimento de alguns *designs* dominantes desviam o foco do desenvolvimento do produto, que passa a ser agora o aumento do volume de vendas. Assim, a padronização aumenta e as mudanças no produto tendem a ser mais incrementais, utilizando a tecnologia avançada que vai sendo desenvolvida ao longo dessa fase.

3 – Minimização dos custos: A standardização do produto tende a ser maior nessa fase, fazendo com que a competição se foque nos preços e a estrutura de mercado se torne oligopolística. Com a competição via preços, as margens se reduzem e o foco de

desenvolvimento tecnológico passa a ser a busca pela eficiência e economias de escala, envolvendo modificações tanto no produto quanto no processo.

Portanto, *o foco de desenvolvimento de novos produtos/processos tende a mudar de acordo com o ambiente e com a estratégia das empresas*. Da mesma forma, algumas características inerentes aos processos de mudança tecnológica (incertezas, complexidade, oportunidades tecnológicas, comportamento sistêmico) se manifestam em diferentes intensidades em cada uma das fases.

O modelo evolucionário de Nelson & Winter (1982) também oferece uma visão dinâmica dos processos inovativos que se baseia na contribuição de Schumpeter (1956) acerca do caráter parcialmente endógeno da inovação e da dinâmica evolutiva dos processos de mudança tecnológica. O objetivo do modelo é ampliar o entendimento sobre a natureza e a dinâmica desses processos através de um paralelo heurístico entre estes e o processo de evolução biológica apresentado na teoria darwiniana.

Segundo a teoria evolucionária, assim como as espécies de seres vivos evoluem graças a mecanismos de mutação genética submetidos à seleção natural, os mercados evoluiriam graças à “(...) busca incessante, por parte das firmas, como unidades básicas do processo competitivo, de introduzir inovações de processos e produtos” (POSSAS, 1988, p. 3) - num contexto que envolve certa aleatoriedade - submetidas à seleção do mercado e da concorrência. O processo de busca é determinado pelas incertezas, cumulatividade e irreversibilidade inerentes às tecnologias, enquanto o processo de seleção é determinado pela difusão (ou não) da inovação no mercado.

Primeiramente, a existência de incertezas quanto aos resultados dos processos inovativos faz com que as firmas adotem rotinas⁹ em suas decisões, que podem ser definidas como um conjunto de metas e procedimentos para se atingir o objetivo final (e consequentemente reduzir tais incertezas) que incluem

(...) rotinas técnicas bem especificadas para a produção de coisas, procedimentos para contratações e demissões, encomendas de novos estoques, ou aumentar a produção de itens de alta demanda, até as políticas relativas ao investimento, à pesquisa e ao desenvolvimento (P&D) ou publicidade, e estratégias empresariais relativas à

⁹ No entanto, essa visão de rotinas na atividade inovadora não surge com os evolucionistas. O próprio Schumpeter (1956) já havia mencionado tal fenômeno.

diversificação da produção e ao investimento no exterior (NELSON & WINTER, 1982, p. 33).

O conceito de rotina é de grande importância no modelo, tanto que os autores traçam um paralelo entre o papel dos genes na evolução biológica e das rotinas na evolução tecnológica: assim como os genes são características persistentes do organismo e determinam seu comportamento possível, sendo hereditárias e selecionáveis¹⁰, as rotinas determinam as características das firmas, condicionam os processos de inovação e até mesmo as técnicas disponíveis para a produção, substituindo assim o papel da maximização, defendida pela teoria ortodoxa neoclássica como parâmetro para o estoque de técnicas disponíveis.

Na teoria evolucionária, a noção de cumulatividade tecnológica transparece através do conceito de trajetórias naturais, ou seja, as direções em que o avanço tecnológico parece ser mais promissor sob condições variadas de demanda, e assume um papel fundamental no processo de busca (POSSAS, 1988). Além disso, o próprio processo de seleção e difusão das inovações não está condicionado apenas pelo mercado em si, mas também por essas trajetórias naturais, aliados ao ambiente institucional, na medida em que as expectativas de lucratividade das firmas podem indicar que seja mais vantajoso manter os ativos existentes do que adotar inovações de processos ou produtos. Mais do que uma análise comportamental, a difusão tecnológica (consequentemente a seleção das inovações) passa assim a ter um aspecto estrutural e institucional (NELSON & WINTER, 1982). Segundo Possas (1988), essas trajetórias naturais podem ainda ser agrupadas, sob condições de uniformidade tecnológica, dando origem aos chamados *regimes tecnológicos*, de caráter mais abrangente e definidos por uma combinação específica de quatro fatores: oportunidades, apropriabilidade e cumulatividade tecnológica e propriedades da base de conhecimento por trás das atividades inovativas das firmas.

Quanto ao processo de seleção, esse se dá através da difusão das inovações, que pode ocorrer de duas formas distintas: através da substituição dos produto/processo antigos pelo novo ou através de adoção ou imitação por outras empresas (NELSON & WINTER, 1977). Tal processo de difusão é determinado por três fatores: nível de lucratividade, preferência dos consumidores e ambiente institucional (mecanismos regulatórios, etc.), que diferem entre inovações de produto e processo. De acordo com Nelson & Winter (1982), os processos de difusão não podem estar condicionados apenas a uma análise comportamental, mas também

¹⁰ Selecionável no sentido de que um indivíduo com melhores genes (rotinas) consegue sobreviver com mais facilidade e não é eliminado no processo evolutivo (inovativo).

pelas trajetórias naturais da tecnologia em questão, estabelecendo uma ligação entre a busca tecnológica e a seleção do mercado.

É importante ressaltar que, embora os processos de mudança tecnológica sejam permeados por trajetórias, rotinas e regimes, a evolução tecnológica não acontece de forma contínua. Ao contrário, tal processo é marcado por descontinuidades: Rosenberg (1975) afirma que há um longo caminho para uma inovação tecnológica adquirir superioridade econômica. A introdução no mercado de uma inovação é apenas o início do processo de difusão no qual a tecnologia é sistematicamente melhorada. Em geral, ocorrem muitas melhorias incrementais que, somadas, conferem superioridade econômica à inovação inicial. Na verdade, estes melhoramentos explicam parte substancial do “resíduo de Solow” (SOLOW, 1956). Portanto, a teoria supõe a existência de desequilíbrios dinâmicos, o que contrasta com a visão neoclássica do equilíbrio estático.

Embora a teoria evolucionária tenha avançado enormemente na construção do pensamento neo-schumpeteriano ao apresentar uma teoria não ortodoxa acerca do estudo das interações entre estrutura e estratégia no contexto da inovação, sua abordagem tem como ponto fraco justamente a análise da estrutura de mercado, principalmente quanto à ligação entre a estrutura industrial e o comportamento empresarial, dado que a abordagem simplifica o processo de decisão estratégica, dando demasiada ênfase à dimensão estocástica do sucesso empresarial e inovativo e deixando de lado justamente a explicação do caráter endógeno dos processos de inovação (POSSAS, 1988).

Outros autores, notadamente os pertencentes à SPRU (*Science Policy Research Unit*), da Universidade de Sussex, têm adicionado elementos importantes à análise neo-schumpeteriana, estudando de forma mais completa a questão da estrutura de mercado e apresentando alguns conceitos fundamentais para se entender a dinâmica dos processos de inovação tecnológica. Mantendo o foco no entendimento de tal dinâmica, vale apresentar o modelo de paradigmas e trajetórias tecnológicas de Dosi (1988).

No intuito de compreender melhor a dinâmica do processo de busca inovativa, Dosi (1988) apresenta os conceitos de paradigmas e trajetórias tecnológicas. Partindo do pressuposto de que a inovação envolve basicamente a solução de problemas e que existem formas de conhecimento públicas e privadas utilizadas nessa solução, o paradigma tecnológico é “(...) um pacote de procedimentos que orientam a investigação de um problema tecnológico, definindo o contexto, os objetivos a serem alcançados, os recursos a serem

utilizados” (KUPFER, 1996, p. 1). Em outras palavras, representa um padrão de solução para um determinado problema específico, o que inclui um exemplar básico (um carro, por exemplo) com suas características tecnológicas e econômicas, e uma série de heurísticas relacionadas ao exemplar (o que melhorar, qual base de dados é a melhor para buscar a solução, o que o mercado necessita etc.). O paradigma tecnológico representa ainda o ponto de partida da busca inovativa das firmas, direcionando *ex-ante* o progresso técnico e as oportunidades tecnológicas, através da seleção de algumas possibilidades de desenvolvimento tecnológico e exclusão de outras.

A partir do estabelecimento de um paradigma tecnológico, o aprimoramento do exemplar básico envolve um conjunto de “regras” e competências específicas inerentes a cada paradigma, competências essas resultantes de conhecimento formal e tácito, capacitações desenvolvidas *a priori* pela firma, além de especificidades institucionais de cada setor. Portanto, a tendência é de que as atividades tecnológicas de inovação sejam “(...) *seletivas, focalizadas* em direções muito precisas e *cumulativas* na aquisição de capacitações para a solução de problemas” (DOSI, 1988, p. 9.). Tais características podem ser observadas empiricamente, pois mesmo com a imensa variedade de clientes com necessidades distintas, os processos de mudança tecnológica parecem percorrer trajetórias bem definidas ao longo do tempo. Esses “padrões normais de progresso” existentes são definidos por Dosi como *trajetórias tecnológicas*, padrões de solução incremental dos *trade-offs* definidos em um paradigma tecnológico.

É importante salientar que os paradigmas tecnológicos não são constituídos apenas de determinantes endógenos à estrutura de mercado e ao processo de acumulação tecnológica das firmas. Avanços inesperados na ciência ou mudanças institucionais, por exemplo, podem constituir forças exógenas que têm o poder de mudar os parâmetros que definem os paradigmas tecnológicos, levando suas respectivas trajetórias tecnológicas a mudarem também. Como se sabe, o conhecimento científico tem um papel importante no desenvolvimento dos paradigmas tecnológicos. Esse conhecimento leva a um aumento na gama de paradigmas, embora apenas alguns sejam realmente “selecionados” e desenvolvidos pelas firmas. Devido à existência de fontes de informação públicas e privadas e à distinção de informação e tecnologia (sendo a primeira um subconjunto da segunda), pode se afirmar que cada paradigma envolve modos de busca específicos, além de combinações únicas de bases públicas e privadas de conhecimento tecnológico (DOSI, 1988).

Portanto, segundo o modelo de Dosi (1988), as características do processo de busca e difusão que compõem a dinâmica dos processos de mudança tecnológica são a adoção de rotinas gerais de inovação, a existência de diferentes modos de busca (combinação entre informações públicas e privadas etc.), formas de organização interna da empresa e comportamentos da firma individual que afetam claramente o processo de inovação (através da variação no grau de comprometimento de recursos para inovação ou nas taxas em que ocorre o aprendizado) e que dão origem aos paradigmas e trajetórias tecnológicas. Por sua vez, a noção de paradigmas e trajetórias pressupõe que as condições de apropriabilidade, cumulatividade, oportunidade e irreversibilidade tecnológica, além da existência de externalidades, variem de acordo com cada tecnologia, bem como entre as capacitações e expectativas das empresas, elementos cruciais de direcionamento do processo de difusão¹¹.

Nesse ponto, é necessário fazer uma observação importante: o conceito de paradigmas e trajetórias tecnológicas de Dosi (1988) se assemelha à outros conceitos desenvolvidos por autores neo-schumpeterianos, como a de trajetórias naturais e regimes tecnológicos de Nelson & Winter (1982), avenidas inovativas e “marcos” (*guideposts*) tecnológicos de Sahal (1985) e revoluções tecnológicas e paradigmas tecno-econômicos de Freeman & Perez (1986). Não é por acaso que estes conceitos se assemelham: na verdade, todos eles são representações dinâmicas dos mecanismos pelos quais o caráter endógeno da inovação se manifesta - como as características do aprendizado (cumulatividade), do comportamento das firmas (a criação de “rotinas”) e do mercado (preferência pela tecnologia que atenda melhor suas expectativas) - e das situações nas quais os processos inovativos são exógenos, como avanços inesperados na ciência.

As características da tecnologia, quando agrupadas em paradigmas ou regimes tecnológicos, possibilitam a elaboração de taxonomias que descrevem os padrões setoriais de mudança tecnológica, dentre as quais vale destacar a de Pavitt (1984), seguido por outras contribuições incrementais de Pol *et al.* (2002), Evangelista (2000), Marsilli (2001) e Castellacci (2008). A taxonomia construída por Pavitt (1984) apresenta uma classificação dos padrões setoriais de inovação, e divide os setores em quatro grupos: i) “dominados por fornecedores”, cujas inovações são absorvidas através de fornecedores, via aquisição de máquinas e equipamentos; ii) “intensivos em escala”, onde as inovações (de produto e processo) exigem o domínio de sistemas complexos, apresentando economias de escala; iii)

¹¹ Ver Dosi *et al.* (1988).

“fornecedores especializados”, cujas inovações envolvem contatos com os “usuários” e domínio sobre as técnicas de produção destes; iv) “intensivos em ciência”, nos quais a inovação está vinculada a um novo paradigma científico, e por isso são necessários investimentos intensivos em P&D.

Além destes autores, Malerba & Orsenigo (2000) também buscaram classificar os setores com base nos diferentes regimes tecnológicos. A grande contribuição destes trabalhos é a de reduzir o grau de generalização quanto à explicação da dinâmica dos processos inovativos, uma vez que seus trabalhos ressaltam as diferenças inter-setoriais existentes nesses processos.

O presente capítulo se propôs a apresentar a discussão teórica acerca das principais definições de tecnologia e inovação e alguns dos principais modelos que explicam as etapas que compõem os processos de mudança tecnológica, como ponto de partida para a discussão dos sistemas setoriais de inovação. Tais processos são complexos e marcados por trajetórias, regimes e trajetórias tecnológicas e interações diversas, condicionados pelas características do conhecimento e da tecnologia empregados e pelo comportamento dos agentes (firmas e mercado).

Apesar de reconhecer a contribuição ímpar dos trabalhos apresentados para a compreensão da dinâmica dos processos inovativos, pode-se dizer que eles possuem certas limitações: nos modelos linear e iterativo, e mesmo nos modelos e taxonomias neoschumpeterianas, não se trata de maneira satisfatória as complexas relações *entre* as firmas e das firmas com os agentes “não-firma”, como universidades, governo e centros de pesquisa - cujo papel na inovação também é importante - captando apenas uma das diversas “dimensões” que moldam os processos inovativos (MALERBA, 2002). O próximo capítulo apresenta a metodologia dos Sistemas de Inovação que, utilizando elementos da teoria neoschumpeteriana, busca compreender melhor como a inovação se comporta não apenas do ponto de vista das firmas, mas como um *sistema*.

CAPÍTULO 2 – O Sistema Setorial de Inovação: uma metodologia de análise da dinâmica inovativa

O conceito de Sistemas Setoriais de Inovação ainda é bastante recente e carece de metodologias de aplicação prática. Muitos conceitos são explicados por seus criadores de forma simplificada, dando margem para diferentes interpretações. Este capítulo tem como propósito discutir o conceito de Sistemas de Inovação e introduzir a metodologia de Sistemas Setoriais de Inovação que será utilizada no Capítulo 3. Tal metodologia é baseada no trabalho de Malerba (2002), embora conte com contribuições nossas, principalmente no que se refere ao desenvolvimento para fins de análise empírica.

2.1 – Uma Definição Geral de Sistemas de Inovação

Os sistemas de inovação são influenciados pelos pressupostos neo-schumpeterianos¹², fornecendo uma análise multidimensional, integrada e dinâmica da inovação, abrangendo uma parcela maior de fatores que influenciam e determinam sua dinâmica, como a demanda, o regime tecnológico, os diversos atores envolvidos e as instituições que governam as relações entre eles (MALERBA, 2002).

O pressuposto principal da abordagem de SI é o de que as inovações não são geradas pelas firmas de forma isolada¹³ e seguindo um padrão linear, mas sim através de complexos padrões de interação entre agentes diversos.

As relações entre os diversos atores são tão importantes para o desenvolvimento industrial e crescimento econômico quanto o investimento em atividades inovativas por parte das empresas. Certamente tanto as organizações “não-firma” quanto as instituições – leis, normas de conduta, etc. - têm um papel importante. Tal papel pode ser crucial em algumas circunstâncias, nas quais elas podem reduzir a incerteza quanto à informação, controlar conflitos e prover incentivos. No entanto, tais organizações também podem representar obstáculos à inovação, na medida em que existam falhas no sistema que dificultem ou impeçam os processos de mudança tecnológica.

Segundo Freeman & Soete (1997), o primeiro autor a estudar alguns dos aspectos que compõem um Sistema de Inovação¹⁴ foi Friedrich List em seu livro “*The National System of*

¹² Embora não seja um conceito exclusivamente neo-schumpeteriano (EDQUIST, 1997).

¹³ Devido à complexidade e incertezas envolvidas no processo de mudança tecnológica, as firmas quase não inovam isoladamente. Elas buscam laços com outras organizações e fazem isso no contexto das leis, costumes e regras existentes (MALERBA, 2002).

Political Economy” (1841), no qual o autor ressalta o importante papel da ciência, tecnologia e qualificação da mão de obra no crescimento de um país. List priorizava não só a defesa da *infant industry*, mas também uma ampla gama de políticas que pudessem acelerar o crescimento econômico, através dos investimentos públicos em ciência e tecnologia, da conexão da indústria com instituições de pesquisa e educação e da interdependência entre a importação de tecnologia estrangeira e o desenvolvimento técnico doméstico. Ao defender o papel do Estado como desenvolvedor e coordenador das políticas de longo prazo para a indústria, List se opôs ao pensamento de Jean Baptiste Say, para o qual o Estado teria um papel secundário – e muitas vezes negativo – sobre a economia. Suas idéias ajudaram a Alemanha a desenvolver um dos melhores e mais eficientes sistemas de educação técnica e treinamento, contribuindo para que o país pudesse ultrapassar economicamente a Grã-Bretanha no final do século XIX (FREEMAN & SOETE, 1997).

De forma geral, um Sistema de Inovação pode ser definido como uma rede de organizações públicas e privadas cujas atividades e interações iniciam, importam, modificam e difundem novas tecnologias (FREEMAN, 1987; EDQUIST, 1997). Em um sentido mais amplo, Lundvall (1992) descreve o conceito abrangendo todas as partes e aspectos da estrutura econômica e do ambiente institucional que afetam o conhecimento, sua busca e exploração.

O conceito de *sistema* utilizado refere-se àquele proposto por Bertalanffy (1975), ou seja, um complexo de elementos (componentes) que se condicionam uns aos outros, trabalhando de forma dinâmica e simultânea em torno de objetivos centrais claramente definidos - embora o sistema não seja conscientemente “desenhado”¹⁵ - de forma que a soma dos resultados do funcionamento dos elementos em conjunto é maior do que a soma dos resultados que poderiam ser alcançados por cada um deles individualmente, fora do sistema (BALLESTERO-ALVAREZ, 1990).

Um sistema é tipicamente composto por três dimensões: componentes, relações e atributos (CARLSSON *ET AL.*, 1999). No caso do sistema de inovação, os componentes são os atores ou organizações envolvidos no processo de inovação, como indivíduos, firmas, bancos, universidades, centros de pesquisa, agencias públicas e governos, etc. As relações são

¹⁴ No caso de List, um Sistema Nacional de Inovação.

¹⁵ Alguns autores discordam desta afirmação dizendo que alguns sistemas podem ser “desenhados” por atores como o governo, através de planejamento estratégico (EDQUIST, 1997).

aquelas mantidas entre esses componentes, dentre as quais se destacam as relações de mercado (relações comerciais) e “não-mercado” (não envolvem comércio). Talvez a relação mais importante num sistema de inovação seja a de transferência de tecnologia e conhecimentos entre diversos componentes, que pode ser tanto via mercado (licenciamento ou compra de tecnologias entre as firmas, contratação de empresas de pesquisa para desenvolver projetos específicos, etc.) ou via “não-mercado” (transferências “acidentais” e externalidades, como os *technological spillovers*). As relações de *feedback*, ou interação mútua, determinam a dinâmica do sistema, garantindo que, se algum componente for removido do sistema ou se suas características mudarem, todos os outros componentes vão ter suas características alteradas ou vão mudar suas relações¹⁶.

Por último, os atributos são as características fundamentais dos componentes e de suas relações. Como o objetivo central de um sistema de inovação é gerar, difundir e utilizar tecnologias, as capacitações dos agentes ligadas a esses fatores são as que mais têm valor econômico. As capacitações econômicas são ligadas à habilidade de identificar e explorar oportunidades de negócios (CARLSSON & ELIASSON, 1994), dentre as quais se destacam as capacidades seletiva (ou estratégica), organizacional, funcional e de aprendizado. Os atributos do sistema também são importantes, como sua robustez, flexibilidade e adaptabilidade (CARLSSON *et al.*, 1999). Tais atributos são geralmente mensurados através da P&D formal ao nível das firmas (de fácil mensuração), mas podem ser estendidos a uma análise mais qualitativa em torno de um grande número de atores e instituições, incluindo o papel da difusão tecnológica (ROSENBERG, 1976), da recombinação de conhecimentos (DOSI, 1988) e dos usuários-líderes (VON HIPPEL, 1988), no mínimo tão importantes quanto o investimento inicial em P&D.

O conceito de *inovação* utilizado na abordagem remete tanto ao sentido geral, ou seja, à criação e/ou difusão de um novo produto ou processo, como ao sentido específico de inovação técnica, ou seja, a introdução de conhecimento novo ou novas combinações de conhecimento tecnológico. O estudo dos sistemas de inovação engloba tanto a inovação *per se* quanto seu gerenciamento (através de mecanismos que permitam a continuidade, a difusão e o aperfeiçoamento das atividades inovativas).

¹⁶ Isso quando o sistema é robusto. Um sistema não robusto pode entrar em colapso caso um componente fundamental seja removido (CARLSSON *et al.*, 1999).

Embora seja um conceito recente, a literatura acerca dos sistemas de inovação é relativamente ampla e abrangente, incluindo definições de sistemas nacionais (NELSON, 1993), regionais/locais (COOKE *et al.*, 1997) ou até mesmo supranacionais, além dos sistemas de aprendizado (VIOTTI, 2002) e dos sistemas setoriais de inovação (MALERBA, 2002). A divisão entre as dimensões (geográfica, setorial, tecnológica) depende da delimitação do objeto de estudo, embora todas sejam importantes em qualquer sistema de inovação e se complementem.

Num mundo cada vez mais interligado cultural, social e economicamente, torna-se necessário discutir se as fronteiras geográficas ainda são relevantes, dado que grande parte dos agentes é composta por empresas transnacionais imersos num ambiente no qual os custos de transporte e comunicação são decrescentes e a mobilidade de capital, pessoas e conhecimento é crescente. No entanto, Porter (1990) argumenta que a “terra natal” das empresas ainda é importante, pois é a fonte das habilidades e da tecnologia que sustentam as vantagens competitivas. Adicionalmente, Stopford (1995) mostra que, apesar da ampliação das fronteiras de produção, as firmas vêm buscando posicionar partes específicas de sua produção (laboratórios de P&D, design, produção de componentes específicos) em locais estratégicos (*clusters*), onde os custos de transação associados ao gerenciamento, produção e inovação sejam minimizados. Esses *clusters* são dependentes das políticas nacionais/regionais para manter e gerar externalidades positivas.

2.2 – O Sistema Setorial de Inovação

A abordagem do Sistema Setorial de Inovação (SSI) foi proposta por Breschi & Malerba (1997) - sendo melhorada em trabalhos posteriores (MALERBA, 2002, 2004 e 2005; MALERBA & MANI, 2009) - e transcende as fronteiras geográficas que delimitam, por exemplo, os Sistemas Nacionais e Regionais de Inovação. Diferentemente destes, nos quais as fronteiras setoriais são exógenas, o SSI não tem uma delimitação geográfica definida *a priori*, podendo co-existir num mesmo sistema setorial diversas regiões ou mesmo países¹⁷ (MALERBA, 2002). Em outras palavras, as fronteiras geográficas são *endógenas*, dependentes das condições específicas de cada setor (BRESCHI & MALERBA, 1997).

¹⁷ No entanto, é preciso reconhecer que, dada a complexidade da busca dos dados utilizados no estudo de um setor em âmbito global, as pesquisas com sistemas setoriais realizadas até o momento dificilmente transcendem barreiras nacionais ou regionais.

Um *setor* pode ser caracterizado como um conjunto de firmas heterogêneas unidas por processos produtivos semelhantes ou por grupos de produtos interligados e que trocam algum conhecimento comum (MALERBA, 2002). As fronteiras setoriais são delimitadas pela base de conhecimento, pela dinâmica da demanda, pelas ligações e complementaridades entre as atividades exercidas, bem como por produtos e tecnologias básicas em comum. Tais determinantes não são estáticos, sendo que as fronteiras setoriais podem mudar com o tempo.

Assim como toda a literatura sobre Sistemas de Inovação, os Sistemas Setoriais guardam profundas ligações com a corrente neo-schumpeteriana de pensamento, em especial com a teoria evolucionária de Nelson & Winter (1982): a dinâmica dos setores tem como base processos de criação, replicação e seleção aplicados aos produtos, firmas, tecnologias, inovações, instituições, dentre outros (SAVIOTTI, 1997; MCKELVEY, 1997). Os processos de criação são responsáveis pela heterogeneidade existente em todo o sistema e pela mudança nos parâmetros setoriais e, no caso da criação de novas firmas, são determinados pela estrutura competitiva do setor - que depende principalmente da base de conhecimento, de suas características e da dinâmica da demanda – e pelas instituições existentes. Por outro lado, os processos de seleção são responsáveis por diminuir a heterogeneidade e reduzir a ineficiência no sistema.

2.3 – Uma metodologia de análise dos Sistemas de Inovação

Segundo Malerba (2002), para que se possa analisar e comparar a dinâmica e as fronteiras de um sistema setorial de inovação, primeiramente é preciso identificar as diferentes dimensões (*building blocks*) que formam sua estrutura. O presente trabalho apresenta uma metodologia de análise do sistema baseada no trabalho de MALERBA (2002), no qual o autor reconhece três dimensões: a primeira é relacionada ao regime tecnológico e à base de conhecimento, a segunda busca identificar a gama heterogênea de atores e suas interligações, enquanto a terceira busca identificar as instituições envolvidas no sistema. Entretanto, incorporamos também duas outras dimensões: o papel da demanda e da análise multidimensional (co-evolutiva), apresentada em trabalhos posteriores (MALERBA, 2004; MALERBA & MANI, 2009).

2.3.1 – O Regime Tecnológico¹⁸ e as características do conhecimento

A primeira dimensão setorial diz respeito à identificação das características do regime tecnológico, em termos de domínio tecnológico, da base e dos fluxos de conhecimento¹⁹ utilizados pelos diversos atores em seus processos inovativos num determinado setor. Dado que o conhecimento é uma variável chave na inovação, que sua natureza e seus fluxos são mais difíceis de reconhecer, essa dimensão tende a ser a mais complexa do sistema.

O regime tecnológico (RT), que de acordo com a definição de Nelson & Winter (1982) basicamente representa procedimentos e características usuais das estratégias de inovação das firmas, tem um papel fundamental na definição da estrutura industrial de um sistema setorial de inovação: suas características fundamentais (condições de oportunidade, apropriabilidade, cumulatividade do conhecimento e a natureza da base de conhecimento) determinam parcialmente²⁰ a dinâmica e a intensidade dos processos de competição e seleção, além das fronteiras setoriais. Segundo Breschi & Malerba (1997), não somente os SSI são afetados pelos RT, mas também o modo como as atividades inovativas são organizadas em um setor podem mudar alguns dos parâmetros do regime tecnológico, sendo que o RT e o SSI passam por um processo de evolução conjunta. Ainda segundo os autores, tais regimes são um dos principais responsáveis por delimitar a distribuição geográfica das atividades inovativas através do que eles chamam de *fronteiras espaciais do conhecimento*.

O conhecimento não está disponível a todos os agentes e pode não ser facilmente difundido e adquirido devido às suas características intrínsecas, que variam entre os diversos setores e regiões. Dentre estas características, se encontram as condições de apropriabilidade do conhecimento, ou seja, as possibilidades de proteger (de possíveis imitadores) e obter lucro com as inovações. O conceito está ligado com o de acessibilidade, ou o quão acessível é o conhecimento às firmas que desejam obtê-lo. Um grau maior de acessibilidade indica menor apropriabilidade tecnológica e concentração industrial, pois as firmas têm acesso maior a informações sobre novos produtos e processos, podendo produzi-los internamente através de

¹⁸ Em seu artigo de 2002, Malerba não relaciona explicitamente a primeira dimensão ao conceito de *regime tecnológico* - embora tenha desenvolvido todas as suas características - e prefere chamar simplesmente de características do conhecimento e domínio tecnológico, focando nas características da base de conhecimento. Por questões conceituais e didáticas, no presente trabalho se preferiu unir todas estas características em torno do conceito de regime tecnológico.

¹⁹ Não apenas o conhecimento tecnológico, mas o conhecimento acerca da demanda do mercado, conhecimento organizacional, etc.

²⁰ As fronteiras setoriais e os mecanismos de seleção também são determinados pela dinâmica da demanda, e a competitividade também é determinada pela organização interna das firmas.

processos de imitação, e nesse caso não conseguem manter vantagens competitivas através de novos produtos/processos por um período grande.

Uma segunda característica do conhecimento diz respeito à acessibilidade do conhecimento externo ao setor, através de conhecimento científico e tecnológico desenvolvido nas firmas ou outras organizações e do capital humano especializado. As firmas podem buscar conhecimento através de várias fontes, como as universidades, laboratórios próprios de P&D ou fontes externas, como fornecedores ou usuários. Esse conhecimento externo pode estar mais ou menos acessível, e pode exigir maiores capacitações das firmas para ser transformado em novos produtos ou processos, o que pode ser usado como uma vantagem competitiva pelas firmas, sendo um dos fatores que influenciam nas oportunidades tecnológicas.

A terceira característica do conhecimento é o grau de cumulatividade da base de conhecimento, ou o grau de dependência entre o conhecimento novo e o gerado no passado. Essa dependência é determinada principalmente pela natureza dos processos de inovação: muitas vezes, a geração de inovações depende das capacitações organizacionais específicas das firmas, que geram conhecimento *path-dependent* e definem o que a firma aprende e quais seus objetivos. Outras vezes, a fórmula “sucesso leva ao sucesso” faz com que os lucros obtidos da atividade inovativa sejam reinvestidos em P&D, fechando um ciclo de inovação (MALERBA, 2002).

A última característica diz respeito à natureza da base de conhecimento na qual as atividades inovativas das firmas são baseadas. Para o SSI, é importante reconhecer também como se comportam os fluxos de conhecimento (comunicação e transmissão de conhecimento entre os atores).

Quanto à natureza da base de conhecimento, Breschi & Malerba (1997) apontam algumas características: ela pode ser tanto genérica quanto específica (para aplicações em domínios bem definidos) e depende dos graus de tacitividade (as atividades inovativas podem exigir conhecimentos tácitos ou codificados), complexidade (em termos de integração tecnológica e científica e competências requeridas no processo inovativo) e independência (o conhecimento pode ser facilmente isolado e identificado ou pertencer a um sistema maior, de difícil identificação). Tais características afetam os meios como os fluxos de conhecimento são trocados entre os atores de um sistema. Assim, por exemplo, se o conhecimento é mais tácito, complexo e parte de um grande sistema, os meios de transmissão de conhecimento são

mais “informais” como treinamento, mobilidade de pessoal e conversas entre engenheiros, cientistas etc. Tal conhecimento é mais sensível à distância geográfica entre os agentes²¹. Da mesma forma, se o conhecimento é mais estandardizado, simplificado, codificado e independente, os meios formais de transmissão (publicações, patentes, licenças) são mais relevantes.

Todas essas características dos regimes tecnológicos alteram a competitividade das firmas, resultando em maiores ou menores vantagens competitivas vindas da inovação. Além disso, elas determinam os padrões de inovatividade das firmas (*Schumpeterian Mark I e Mark II, Pavitt-type*), a distribuição geográfica dos inovadores²² e as *fronteiras espaciais do conhecimento*, ou seja, a delimitação das fronteiras de interação (comunicação e troca de conhecimentos) entre os atores, que varia de setor para setor.

No sentido de sistematizar o conteúdo apresentado acima e exemplificar melhor o papel dos regimes tecnológicos nos Sistemas Setoriais de Inovação, Breschi & Malerba (1997) constroem uma taxonomia²³ que contém cinco exemplos de SSI (do ponto de vista dos regimes tecnológicos):

- *Setores Tradicionais*: são caracterizados por graus baixos de oportunidade, apropriabilidade e cumulatividade. A base de conhecimento é relativamente simples e genérica e não são exigidas competências tecnológicas muito avançadas. Os inovadores são formados por muitas firmas pequenas dispersas geograficamente, o que faz com que as fronteiras espaciais do conhecimento não sejam claramente identificadas. Alguns exemplos de indústrias que compõem o grupo incluem a agrícola, têxtil, de calçados, madeira e papel.
- *Indústrias de máquinas e equipamentos e distritos industriais*: caracterizadas por níveis médios de oportunidade, baixa apropriabilidade e alta cumulatividade. A base de conhecimento envolve altos níveis de tacitividade e especificidade, embora seja simples e codificável. A natureza tácita e específica do conhecimento faz com que os setores sejam concentrados geograficamente e, portanto, as fronteiras espaciais do conhecimento são

²¹ Embora tal sensibilidade tenha se reduzido ao longo das últimas décadas com o desenvolvimento das tecnologias de comunicação.

²² Os inovadores tendem a se concentrar mais quando o RT se caracteriza por alta oportunidade, apropriabilidade e cumulatividade e a base de conhecimento é complexa e tácita. Caso contrário, eles tendem a se dispersar. Ver Breschi & Malerba (1997).

²³ A partir de estudos de caso, literatura empírica e um relatório da PACE – *Policy Appropriability and Competitiveness of Europe*.

basicamente locais, pois este é dependente de know-how local. Alguns exemplos englobam as indústrias que trabalham com equipamentos e maquinaria especializada.

- *Indústria Automobilística*: caracterizada por altos níveis de apropriabilidade e cumulatividade e média oportunidade. As atividades inovativas envolvem uma coordenação sistêmica de elementos tácitos e codificados, exigindo altas competências das firmas, para atividades como design e operação dos sistemas complexos de conhecimento que caracterizam esse grupo. As firmas inovadoras são grandes e poucas, se aproveitando de economias de escala e do alto grau de cumulatividade e apropriabilidade do setor, e se distribuem em vários graus de concentração geográfica. As fronteiras espaciais do conhecimento são basicamente locais (ou restritas ao país/região de comercialização do produto), mesmo contando com algumas fontes de conhecimento genéricas, obtidas à distância, devido ao caráter tácito do conhecimento que requer pouca distância entre os agentes e por se tratar de um sistema complexo, que exige proximidade entre os agentes envolvidos. O exemplo mais óbvio é a indústria automobilística, mas envolve também outras indústrias de produção em larga escala.

- *A Indústria de Computadores*: indústrias de alta tecnologia como as de computadores, cujas características são alta oportunidade e pouca variedade, devido à existência de um *design* dominante. A base de conhecimento envolve sistemas complexos e conhecimentos tanto tácitos quanto codificados. As firmas inovadoras são restritas a um núcleo oligopolístico altamente concentrado em poucas regiões, mas que ao mesmo tempo apresentam muitas interações com atores internacionais (outras firmas, universidades, usuários, centros de pesquisa, etc.), fazendo com que suas fronteiras espaciais do conhecimento sejam complexas e globais.

- *A Indústria Moderna de Software e Microeletrônica*: o RT é caracterizado por alta oportunidade e as condições de apropriabilidade dependem de alta cumulatividade para a obtenção de lucros de longo prazo. A base de conhecimento envolve tanto conhecimento tácito quanto codificado, envolvendo principalmente trocas informais de conhecimento, como mobilidade de pessoal, seminários, etc. Existem muitas firmas inovadoras devido ao alto nível de oportunidade, reunidas em *clusters* ou distritos tecnológicos. Essa concentração gera externalidades devido ao conhecimento espacialmente localizado, tornando-se um importante processo de seleção. As fronteiras espaciais do conhecimento têm uma dupla dimensão: a local, aproveitando-se do conhecimento localizado nos *clusters*, e a global devido a

necessidade de adquirir novos conhecimentos científicos e tecnológicos, que podem estar em outras partes do mundo.

É claro que essa taxonomia, assim como qualquer outra, representa um momento particular no qual tais características estavam associadas aos respectivos setores. A co-evolução dos elementos do sistema setorial implica que estas se modifiquem ao longo do tempo, podendo cada setor possuir maiores ou menores graus de apropriabilidade, cumulatividade, complexidade, entre outras características do conhecimento e dos processos inovativos ao longo do tempo.

2.3.2 – Os “Atores” e suas relações

A segunda dimensão dos sistemas setoriais de inovação procura identificar e caracterizar a gama heterogênea de agentes envolvidos no sistema setorial e as relações entre eles, revelando o papel de cada um nos processos de inovação e produção. Em geral, os “atores principais” são as firmas, que são as principais geradoras e usuárias das novas tecnologias e a unidade de análise básica dos estudos industriais. No entanto, outras instituições como universidades, agências de financiamento e organizações governamentais também têm um papel importante. Esses atores, em geral considerados como “coadjuvantes”, dão suporte fundamental às firmas nos processos de inovação - incluindo a difusão tecnológica - e nos processos produtivos.

O papel de cada um desses atores pode variar de acordo com o tempo e o setor analisado, tendo maior ou menor importância no sistema dependendo de como se comportam algumas variáveis, como as restrições de capital ou a importância da pesquisa científica. Além disso, cada um tem diferentes objetivos, competências e comportamentos, o que molda a heterogeneidade dos agentes. Também é preciso reconhecer o papel dos *key agents*, ou os agentes-chave, as firmas mais “inovadoras” que contribuem para a dinâmica do setor gerando ativos intangíveis que podem ser utilizados por outras firmas (*spillovers*) e infra-estruturas que estimulam a demanda e a oferta de serviços e insumos tecnológicos pelos outros agentes.

A partir do momento em que se identificam e caracterizam os atores envolvidos, o próximo passo é descobrir as relações (econômicas ou não) existentes entre eles. Dentre as principais relações entre as firmas estão as de troca, competição e comando (integração vertical), usualmente citadas na literatura industrial convencional. No entanto, outras relações são identificadas, como a cooperação formal e informal, além das relações entre firmas e “não-firmas”, como as universidades ou entidades governamentais, principalmente em termos de cooperação para fins de P&D, se configurando como fonte importante de inovações. Em

geral, são formadas *networks* entre os agentes, permitindo que suas capacitações, conhecimentos e especificidades sejam complementados, melhorando o desempenho produtivo e inovativo das firmas. O nível de envolvimento das firmas nos diversos ambientes geopolíticos (regional, nacional ou internacional) também é um fator a ser analisado.

2.3.3 – As Instituições

Segundo a definição mais aceita pela abordagem de Sistemas de Inovação (EDQUIST & JOHNSON, 1997; MALERBA, 2002), as instituições consistem nas normas, rotinas, hábitos comuns, práticas estabelecidas, contratos, regras, leis e demais padrões que condicionam a visão, os gostos e o comportamento dos agentes (organizações) e da demanda, que por sua vez alteram a dinâmica dos processos inovativos, seja através de exigências técnicas ou incentivos à atividade inovativa pelos agentes, além das formas de proteção da propriedade intelectual que garantem às firmas inovadoras a apropriação da tecnologia desenvolvida. Segundo essa definição, as organizações influenciam e são influenciados pelas instituições. As instituições podem emergir tanto de ações planejadas por agentes (firmas, governo) quanto de consequências das interações entre eles. Como a literatura neoschumpeteriana e de SIs considera a inovação como consequência de processos de aprendizado interativo e cumulativo, é necessário que o estudo do sistema de inovação se ocupe em analisar as principais instituições envolvidas no processo de mudança tecnológica.

Segundo Malerba (2002), algumas instituições são específicas a um determinado setor e outras a um determinado país. As últimas podem influenciar os vários setores de maneira diferente, favorecendo aqueles que se adéquam melhor ao ambiente institucional nacional. Na maioria das vezes, as instituições nacionais influenciam as instituições setoriais, mas também pode haver um processo contrário: quando um setor é extremamente importante para um país, suas instituições podem influenciar as nacionais²⁴.

Do ponto de vista teórico, a importância das instituições para o desenvolvimento econômico pode ser encontrada nos trabalhos de autores institucionalistas e neoschumpeterianos. Para os primeiros, o comportamento humano é normalmente orientado por hábitos e rotinas em um contexto de *path dependence*, mas ocasionalmente pontuado por atos de criatividade e novidade (NORTH, 1990). No entanto, esses autores pouco se ocuparam acerca da influência das instituições sobre os processos de mudança tecnológica. Para os neoschumpeterianos, por outro lado, a idéia de instituições influenciando os processos de

²⁴ Essa influência pode se dar, por exemplo, através de *lobby* do setor sobre as leis e regulamentações nacionais, ou mesmo através da adoção de suas rotinas organizacionais pelas empresas de outros setores.

mudança tecnológica pode ser claramente percebida nos processos de aprendizado interativo e rotinas inovativas (Ver Capítulo 1), como as trajetórias e paradigmas tecnológicos (DOSI, 1988), trajetórias naturais e regimes tecnológicos (NELSON & WINTER, 1982), avenidas inovativas e “marcos” (*guideposts*) tecnológicos (SAHAL, 1985) e revoluções tecnológicas e paradigmas tecno-econômicos (FREEMAN & PEREZ, 1986).

É possível caracterizar as instituições de acordo com:

- Grau de formalidade, legalidade e eficiência (EDQUIST & JOHNSON, 1997): pretende separar as instituições mais formais das informais e verificar sua eficiência, ou o grau em que são efetivamente adotadas pelos agentes.

- Dimensão econômica e geográfica (MALERBA, 2002): as instituições podem ser específicas aos países, regiões, setores ou mesmo às firmas, e sua aplicabilidade pode estar ligada a essa dimensão.

- Processo de criação (EDQUIST & JOHNSON, 1997): as instituições podem ser conscientemente criadas (como as leis) ou criadas espontaneamente como resultado das interações entre os agentes, que podem ser agentes privados (firmas) ou públicos (governo, agências reguladoras etc.).

Dependendo dos instrumentos utilizados e do contexto em que eles são aplicados, as instituições podem incentivar ou restringir os processos de mudança tecnológica. Na verdade, um mesmo instrumento pode exercer diferentes impactos na inovação dependendo do setor analisado, devido a diferenças na base de conhecimentos e nas características da tecnologia (apropriabilidade, oportunidade etc.) utilizadas pelo setor (OLTRA & SAINT JEAN, 2008).

2.3.4 – A demanda do mercado

Segundo Malerba (2005),

A demanda do mercado é um importante componente do sistema setorial de inovação, uma vez que os gostos dos consumidores exercem influência sobre quais tecnologias as firmas do setor devem manter o foco para continuarem competitivas. Em geral, a demanda pode se apresentar tanto como um estímulo quanto uma restrição aos processos de mudança tecnológica das firmas. Nesse sentido, “o tamanho, crescimento, estrutura e composição da demanda, diferenciação e segmentação de mercado afetam a inovação de várias maneiras em diferentes estágios de evolução da indústria” (MALERBA, 2005, p. 9) [Tradução nossa].

O estudo da relação entre demanda, inovação e evolução da indústria aparece desde a discussão da influência do *demand pull* (SCHMOOKLER, 1966, Capítulo 1), nos estudos das

interações *user-producer* (LUNDVALL, 1988; CASSIOLATO, 1992), no papel do usuário como gerador de inovações (VON HIPPEL, 1988), na discussão sobre as tecnologias disruptivas (CHRISTENSEN, 1997) e no modelo *demand-based* de ciclo de vida tecnológico de Adner (2003). Nos processos de mudança tecnológica, as principais interações entre as firmas e a demanda se referem aos *inputs* fornecidos pelos usuários (LUNDVALL, 1988). Esses impulsos geram vantagens competitivas, uma vez que são geralmente desarticulados, tácitos e socialmente complexos (VON ZEDTWITZ & GASSMANN, 2002).

As empresas sabem o quão importante são esses *inputs* nos seus processos de mudança tecnológica: na indústria automotiva brasileira, segundo dados da PINTEC (2010), 77% das OEMs e 63% das fabricantes de autopeças consultadas consideraram os clientes ou consumidores como fontes de alta importância nos processos inovativos. Da mesma forma, das empresas de manufatura de veículos automotores, trailers e semi-trailers (NACE C29) alemãs, 51% consideram os clientes como fontes importantes nesses processos. Na Espanha e França, essa proporção é de 27% (OLTRA & SAINT JEAN, 2008).

De forma geral, os *inputs* da demanda influenciam os processos de mudança tecnológica das firmas de duas maneiras (MALERBA, 2005 e 2007):

- *Comportamento do consumidor*: as diversas rotinas, inércia e hábitos que os consumidores/usuários adotam em relação ao consumo têm o poder de criar novos mercados (demandando o desenvolvimento de novos produtos para nichos específicos, por exemplo) e estimular ou impedir mudanças nos produtos existentes (influenciando as respectivas trajetórias tecnológicas) através dos seus hábitos de consumo e da percepção das firmas sobre as expectativas e valores dos consumidores. O comportamento do consumidor pode modificar-se devido à mudanças no ambiente econômico, social e cultural, bem como através de alterações no nível de conhecimento dos consumidores, ao exigir produtos de maior qualidade ou que atendam a gostos específicos, fatores que exigem das firmas constantes investimentos em diferenciação ou criação de novos produtos.

- *Capacitações dos consumidores*: se referem, por exemplo, às capacitações absorptivas dos usuários responsáveis por testar novos produtos (*experimental users*). São consumidores que mantêm contato direto com as firmas e, através de *learning-by-using*, conseguem identificar falhas e oportunidades em seus produtos. Dessa forma, quanto maiores forem as capacitações (absorção e transmissão de conhecimento) dos usuários, mais as firmas conseguem ajustar

seus produtos à demanda dos consumidores através de inovações incrementais ou pequenos ajustes ainda na fase de desenvolvimento de produto.

Portanto, a evolução da demanda influencia nos processos de mudança tecnológica através das mudanças no comportamento e valores dos consumidores e também no modo como essas mudanças são percebidas pelos fabricantes, através dos *inputs* gerados, que por sua vez são determinados pelas competências do consumidor. Estes, por sua vez, não formam um grupo homogêneo, ao contrário, são agentes cujos gostos, comportamentos, valores e competências são distintos e influenciam de maneira diferente os processos inovativos das firmas.

Ao analisar os diferentes comportamentos e competências dos consumidores, Malerba *et al.* (2003) consegue distinguir três principais grupos ou *segmentos do mercado*: os consumidores “padrão” ou *mainstream* (CHRISTENSEN, 1997), atraídos por produtos convencionais e guiados por expectativas bem estabelecidas de preço e desempenho; os consumidores “experimentais”, demandantes de novas tecnologias para os produtos e que, geralmente, possuem maiores competências; e novos segmentos da demanda, que buscam produtos totalmente diferentes dos atuais. Segundo o autor, o sucesso de novas tecnologias numa determinada indústria madura depende, em parte, da existência de grupos de usuários experimentais e/ou de novos segmentos da demanda dispostos a adquirir os produtos com as novas tecnologias. Porém, esse modelo não explica como se dá a interação desses segmentos do mercado e nem como as novas tecnologias podem atingir o consumidor padrão.

Adner (2003) constrói um modelo no qual se pode enxergar a relação entre o comportamento dos diversos segmentos do mercado frente a uma nova tecnologia. Em primeiro lugar, o autor reconhece que cada consumidor possui preferências funcionais, ou seja, expectativas quanto às características e o desempenho dos produtos. Existiria então um limite funcional (*functional threshold*), um nível mínimo de desempenho do produto abaixo do qual os consumidores não compram determinado produto *independentemente do preço*. Da mesma forma, cada consumidor possui limites nas suas utilidades, ou seja, o preço máximo que está disposto a pagar por certo produto de desempenho satisfatório.

Seguindo esse raciocínio, os segmentos do mercado seriam formados por consumidores cujas preferências funcionais (e também os limites funcionais e de utilidade) são similares. O autor reconhece então dois elementos chave da relação entre os segmentos do mercado no que tange às novas tecnologias: a sobreposição e a simetria das preferências. A

sobreposição se refere ao grau de similaridade entre as preferências de vários segmentos e a simetria se refere ao valor que cada segmento pagaria por determinadas melhorias no desempenho do produto. Quanto maior a sobreposição e a simetria, menores as divergências dos consumidores quanto ao nível de desempenho e características ideais do produto e maiores as chances de que uma nova tecnologia seja valorizada em vários segmentos ao mesmo tempo. Um baixo nível de sobreposição e simetria indica que existe uma grande possibilidade de que uma nova tecnologia seja valorizada apenas em um ou alguns segmentos. Com o tempo, novas tecnologias podem passar a agradar outros segmentos e até outros setores industriais, graças a inovações incrementais que alteram suas características funcionais ou seu preço. Dessa forma, pode-se perceber como as tecnologias se espalham pelo mercado em diferentes segmentos em diferentes espaços de tempo (ADNER, 2003).

2.3.5 – A análise multidimensional

A partir do reconhecimento dessas quatro dimensões é possível montar a análise integrada e multidimensional do SSI, permitindo compreender como se dá a transformação de um sistema setorial através dos processos co-evolucionários, ou seja, das interações entre os vários elementos (base de conhecimento,, demanda, atores e instituições) sujeitos aos processos de criação, replicação e seleção que formam o ambiente setorial dinâmico, definindo a competitividade setorial, a estrutura de mercado, os padrões de inovação e suas transformações ao longo do tempo (MALERBA, 2002).

Assim como num ambiente “natural”²⁵, todas as dimensões interagem e se influenciam mutuamente em um determinado nível, específico a cada setor. Mudanças no regime tecnológico, na base de conhecimento e nas instituições induzem a transformações mais ou menos profundas no comportamento e na estrutura do sistema, podendo alterar os processos de criação, replicação e seleção e as interações entre os agentes. As firmas têm reações diversas na tentativa de sobreviver aos mecanismos de seleção inseridos nesse ambiente particular, e suas estratégias acabam por influenciar o próprio ambiente. Devido ao caráter nacional ou mesmo regional de certos elementos, como algumas instituições e demanda, as fronteiras geográficas também tendem a influenciar o ambiente setorial ao alterarem o comportamento dos agentes e instituições envolvidas no sistema e suas relações.

²⁵ É preciso reconhecer que a comparação entre os ambientes “natural” e econômico não deve ser tomada ao pé da letra, uma vez que o papel da aleatoriedade é maior no primeiro, enquanto no segundo os agentes econômicos têm a capacidade de aprender e implementar estratégias, interferindo mais diretamente no ambiente.

Malerba (2003) aponta que a co-evolução das capacitações das firmas, bases de conhecimento, atores e instituições são determinantes em comum da liderança industrial. Isso permite afirmar que a criação e manutenção de um sistema setorial de inovação robusto geram vantagens competitivas para as firmas. De posse do estudo conjunto das diferentes dimensões setoriais é possível identificar as deficiências do sistema (*system failures*) que comprometem o seu desempenho econômico e inovativo²⁶, permitindo melhorá-lo (no caso, dentro de um espaço nacional ou regional). Ao identificar tais falhas e definir suas causas, os *policy makers* podem corrigi-las através de intervenção direta ou indireta na estrutura organizacional ou institucional do sistema, ou mesmo nas interações entre elas, melhorando seu desempenho.

Este capítulo buscou desenvolver, do ponto de vista teórico-metodológico, o conceito de sistemas setoriais de inovação proposto por Malerba (2002). Dentre os modelos que buscam explicar os processos de inovação tecnológica, este parece ser o mais complexo, porém também o mais realista, pois se ocupa não só das relações entre as firmas como também das relações com todo o ambiente – instituições, atores não-firma, demanda, base de conhecimento. O capítulo seguinte é uma aplicação dessa metodologia ao setor automotivo.

²⁶ Por exemplo, necessidade maior de transferência tecnológica entre atores específicos ou ausência de leis que incentivem a inovação no setor.

CAPÍTULO 3 – A Aplicação da metodologia de Sistemas Setoriais de Inovação ao setor automotivo

No presente capítulo, buscaremos aplicar a metodologia de SSI para o setor automotivo através de uma análise empírica baseada em dados secundários (bases de dados, investigação em jornais, periódicos, livros, relatórios das empresas, entre outros), visando descrever o funcionamento do sistema inovativo do setor e, principalmente, *analisar as principais mudanças* ocorridas nos últimos dez anos nesse sistema, sob suas diversas dimensões. Por último, faremos uma análise multidimensional que busca compreender como os elementos se condicionam e como sua atuação conjunta altera o funcionamento do SSI.

3.1 - Um panorama sobre a indústria automotiva no mundo e no Brasil

De acordo com as principais classificações das atividades econômicas por setor (ISIC Rev. 4; NACE Rev. 2; CNAE 2.0), o setor automotivo é definido como aquele que compreende a fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias (ISIC 29), cobrindo a fabricação de carros de passeio, veículos comerciais leves, caminhões pesados e ônibus, além da fabricação de motores, sistemas, componentes e acessórios para os veículos. O setor pode ser dividido em três sub-setores:

- Fabricação de veículos automotores e motores (ISIC 291; NACE 29.1; CNAE 291 e 292).
- Fabricação de carrocerias, trailers e semi-trailers (ISIC 292; NACE 29.2; CNAE 293).
- Fabricação de partes e acessórios para veículos automotores (ISIC 293; NACE 29.3; CNAE 294).

No entanto, deve-se reconhecer que, por possuir uma complexa e dinâmica cadeia de produção, comércio e P&D, o setor automotivo não se limita apenas à fabricação de automóveis e autopartes, mas engloba também toda a infra-estrutura associada ao seu uso, manutenção e reciclagem parcial, desde o fornecimento de sistemas e matérias-primas até a rede de abastecimento (ORSATO & WELLS, 2007). Além disso, as firmas do setor - especialmente as OEMs (*Original Equipment Manufacturers*) – se envolvem em outras atividades não relacionadas à fabricação, mas sim à compra e ao uso do automóvel (como financiamento, seguros, serviços de manutenção) que representam uma porção substancial das

receitas dessas firmas (RUGMAN & COLLINSON, 2004; EALEY & TROYANO-BERMUDEZ, 2003).

A indústria de fabricação de automóveis é fortemente concentrada nas mãos de um pequeno número de grandes firmas da chamada Tríade (EUA e Canadá, União Européia e Japão), que exercem grande poder sobre as firmas menores e os fornecedores, ainda que sua participação na produção global tenha diminuído nos últimos anos (STURGEON *et al.*, 2009).

A importância da indústria automotiva para a economia mundial pode ser mensurada através da magnitude dos números associados ao setor: segundo dados da OICA, a indústria automotiva é uma das indústrias mais inovadoras e dinâmicas, investindo anualmente 85 bilhões de Euros (aproximadamente US\$ 115 bilhões) em pesquisa, desenvolvimento e produção e possuindo 75 empresas entre as 1.000 empresas que mais inovaram em 2009 (BIS, 2010), sendo responsáveis por 16% dos investimentos em P&D do total das 1.000 empresas. Além disso, a Toyota *foi a empresa que mais investiu em P&D em 2009*. A Volkswagen ficou em quarto lugar, a GM ficou no décimo segundo lugar, a Honda no décimo terceiro, a Daimler em décimo quarto, a Robert Bosch em vigésimo segundo, a Ford em vigésimo terceiro e a Nissan em vigésimo quarto. Portanto, entre as vinte e cinco empresas que mais investiram em P&D no mundo em 2009, 8 (32%) são do setor automotivo.

Segundo a OICA, o faturamento anual da indústria chega a 1,9 trilhão de Euros (aproximadamente US\$ 2,5 trilhões), equivalente ao da sexta maior economia do mundo. As inovações organizacionais e tecnológicas geradas pela indústria automotiva constantemente se espalham para outros setores da economia, como no caso dos modelos organizacionais de produção em massa e produção enxuta desenvolvidos por firmas do setor. Ademais, o setor contribui com 430 bilhões de Euros (aproximadamente US\$ 580 bilhões) na forma de tributos em 26 países, sendo uma importante fonte de receita para os governos desses países.

O setor também é bastante dinâmico: segundo Maxton & Wormald (2004), 11% do produto doméstico global está conectado com a indústria automotiva. Ademais, segundo os autores, cerca de 15% de todo o aço, 40% de toda a borracha, 25% de todo o vidro e 40% de todo o petróleo produzido anualmente são consumidos na fabricação e/ou utilização do automóvel. Adicionalmente, o número de empregos diretos gerados pela indústria automotiva no mundo é de 8 milhões. Entretanto, segundo a OICA, cada emprego direto no setor automotivo induz o surgimento de outros cinco empregos indiretos. Dessa forma, pode-se

inferir que cerca de 50 milhões de pessoas trabalham direta e indiretamente em função da indústria automotiva.

No Brasil, segundo dados da ANFAVEA para 2010, o setor automotivo é composto por 25 montadoras (OEMs), que juntas possuem uma capacidade de produção instalada de 4,3 milhões de unidades por ano distribuídas em 50 unidades industriais²⁷, além de 500 fabricantes de autopeças e 4.427 concessionárias (*dealers*). Juntas, elas detêm um faturamento anual de aproximadamente 79 bilhões de dólares e investem US\$ 46,9 bilhões. No ranking mundial, a indústria automotiva brasileira ocupa o sexto lugar em produção instalada e o quinto em tamanho do mercado interno.

Para a economia brasileira é notável a importância da indústria automotiva, cuja produção responde por 5% do PIB total e 23% do PIB industrial, gerando 35,7 bilhões de reais em tributos (IPI, ICMS, PIS e Cofins) e empregando 1,5 milhões de pessoas (290 mil só nas 25 OEMs). Além disso, é um dos setores mais dinâmicos da economia, relacionando-se direta e indiretamente com aproximadamente 200 mil empresas (ANFAVEA, 2010). Essa importância também pode ser percebida analisando-se as medidas de incentivo à economia, adotadas pelo governo para conter os efeitos da crise de 2008, dentre as quais se destaca a redução do IPI (Imposto sobre Produtos Industrializados) para a compra de carros zero-quilômetro e os programas de incentivo à aquisição de ônibus e caminhões, medidas que refletem a preocupação do governo em manter o nível de produção do setor num patamar elevado, desencadeando efeitos positivos sobre o produto e o emprego de vários outros setores da economia.

Em relação à dinâmica inovativa, destaca-se a participação dos investimentos em atividades inovativas²⁸ do setor, que somam R\$ 6,9 bilhões (14,7% dos investimentos totais), correspondendo a 15,9% dos investimentos nessas atividades realizados pela indústria de transformação (PINTEC, 2010). Tratando especificamente das atividades de P&D (internas e externas), o setor investiu um total de R\$ 2,7 bilhões, valor que corresponde a 18,9% dos investimentos totais em P&D realizados pela indústria brasileira em 2008. Na Tabela 1, pode-se ver o crescimento dos investimentos em P&D do setor automotivo de 2003 a 2008. Embora inferior à média da indústria, por se tratar de um setor maduro, esse crescimento demonstra

²⁷ Sendo que 25 delas são destinadas à fabricação de autoveículos, 13 são destinadas à fabricação de máquinas agrícolas automotrizes e 12 são destinadas à fabricação de motores, componentes e outros (ANFAVEA, 2010).

²⁸ Sendo que muitos desses recursos são financiados por agências públicas, como o BNDES.

que a busca pela inovação tem sido cada vez mais perseguida por parte das firmas do setor, que destinam para esse fim uma quantidade maior de recursos a cada ano.

TABELA 1: Investimentos em P&D¹ no Brasil

	P&D Interno			P&D Externo			Total P&D		
	2003	2005	2008	2003	2005	2008	2003	2005	2008
Indústria de Transformação + Extrativa	5.099	6.255	9.491	675	841	1.797	5.774	7.095	11.288
Indústria Automotiva ²	1.297	1.465	1.917	42	179	219	1.338	1.643	2.137

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da PINTEC relativos a 2003, 2005 e 2008.

Notas:

¹Em milhões de R\$, constantes ao nível de 2003.

²Inclui os setores de Fabricação de automóveis, caminhonetas e utilitários, caminhões e ônibus e o de Fabricação de peças e acessórios para veículos.

Ainda quanto à importância da indústria automotiva para o sistema de inovação do país, destaca-se o número de pessoas com curso superior empregadas nas atividades de P&D (8.206 pessoas em 2008), valor que corresponde a 17% do total de pessoas com curso superior alocados nessas atividades na indústria brasileira. Destaca-se ainda, na Tabela 2, o valor médio do investimento em P&D interna por empresa (R\$ 145 milhões) muito superior ao da média da indústria de transformação (R\$ 2,5 milhões), o que indica grande concentração das atividades inovativas em poucas firmas. Mesmo na indústria de fabricação de autopeças, na qual a concentração é muito menor, a média de investimento em P&D interna (R\$ 3,9 milhões) supera a média da indústria de transformação.

TABELA 2: Empresas que desenvolveram atividades internas de P&D em 2008

	Nº de Empresas	Investimento em P&D*	Investimento em P&D / Nº de empresas*
Indústrias de transformação	4.168	10.634.632	2.552
Fabricação de automóveis, camionetas e utilitários, caminhões e ônibus	17	2.487.631	145.939
Fabricação de peças e acessórios para veículos	134	528.590	3.954

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da PINTEC (2010).

*Em milhares de Reais.

Mesmo quando se comparam os gastos recentes em atividades inovativas do setor automotivo brasileiro com o de alguns países desenvolvidos, pode-se perceber que o esforço inovativo no Brasil é relevante, sendo inclusive maior do que o da Espanha e se aproximando do esforço inovativo da Itália (Tabela 3).

TABELA 3: Brasil¹ e Países Selecionados² - Esforço Inovativo³ na Indústria e no Setor Automotivo Brasileiro.

	Alemanha	Espanha	França	Itália	Brasil
Setor Automotivo (%)					
Gastos em atividades inovativas	7,452%	2,165%	4,379%	2,614%	3,526%
Gastos em P&D (interno + externo)	4,973%	0,679%	4,302%	1,928%	1,546%
Total da Indústria (%)					
Gastos em atividades inovativas	3,574%	1,378%	3,203%	1,848%	2,601%
Gastos em P&D (interno + externo)	2,307%	0,881%	2,551%	0,981%	0,640%

Fonte: Elaboração própria.

Notas:

¹ Dados da PINTEC relativos a 2008.

² Dados do Community Innovation Survey (CIS 6) relativos a 2008.

³ Porcentagem da receita líquida de vendas.

A magnitude dos dados apresentados mostra a importância da indústria automotiva para o Brasil e para o mundo. Ademais, é possível ver que o setor investe quantias significativas em pesquisa e desenvolvimento de novos produtos e processos. Dessa forma, consideramos importante o estudo do sistema setorial de inovação do setor automotivo, dado a importância que tal sistema tem na geração e manutenção de vantagens competitivas para o setor e dada também a importância do setor para a economia mundial.

3.2 – Uma breve discussão acerca da origem das mudanças recentes na indústria automotiva

As mudanças recentes na indústria automotiva têm origem em movimentos distintos iniciados há mais de 50 anos, como o desenvolvimento do modelo de produção enxuta e do paradigma da microeletrônica.

No Japão, a partir dos anos 50, o modelo “toyotista” ou modelo de produção enxuta²⁹ (WOMACK *et al.*, 1992), foi aperfeiçoado pela montadora japonesa Toyota, sendo uma das principais causas do grande sucesso dos carros japoneses no mercado internacional e introduzindo, entre outras, a prática do *just in time*, cuja lógica, do ponto de vista da firma, era produzir apenas o que o mercado demandar sem a manutenção de grandes estoques e estabelecer vínculos fortes e duradouros com fornecedores. Esse conjunto de inovações organizacionais procurou ressaltar os aspectos positivos do modelo de produção em massa e eliminar seus defeitos. Ainda assim,

(...) pode-se dizer que os novos métodos produtivos japoneses subverteram dois pilares básicos da produção em massa: as concepções de que a produção em grandes lotes de produtos padronizados e o baixo custo unitário eram indissociáveis e a de que, por outro lado, a alta qualidade e os baixos custos seriam atributos mutuamente exclusivos. (CARVALHO, 2003a, p. 80).

Por sua flexibilidade produtiva, os métodos organizacionais “toyotistas” foram um dos motivos que fizeram com que as montadoras japonesas se tornassem mais eficientes que as montadoras ocidentais, principalmente após o aumento dos preços do petróleo em 1973 e 1979, o que contribuiu para a emergência da indústria automobilística japonesa no cenário internacional (CARVALHO, 2003a). A forte concorrência dos automóveis japoneses atingiu principalmente as montadoras norte-americanas (STURGEON & FLORIDA, 1999) que, no intuito de aumentar sua competitividade, buscaram a reestruturação produtiva adotando algumas das práticas de organização da produção desenvolvidas pela Toyota.

Segundo Carvalho (2003a), as principais estratégias de reestruturação produtiva e organizacional que foram adotadas pelas montadoras ocidentais eram caracterizadas por:

1 - *downsizing*, buscando fechar plantas velhas e pouco eficientes e reduzir a força de trabalho;

2 - tentativa de adoção, em maior ou menor grau, das novas práticas organizacionais toyotistas, através de percepções dos engenheiros e administradores ocidentais, acordos ou *joint-ventures* com as montadoras japonesas;

²⁹ O termo *enxuta*, definido por John Krafcik, indica que se utilizam menores quantidades de fatores de produção, estoques, desenvolvimento de produtos etc. para se produzir uma variedade crescente de produtos. No entanto, o modelo de produção enxuta continua sendo um modelo de produção em massa, embora com algumas características distintas.

3 - investimentos na modernização das plantas, visando aumentar a produtividade, flexibilizar a produção, reduzir custos e aumentar a qualidade dos produtos;

4 - desverticalização da produção e adoção do *outsourcing* externo; implementação de estratégias de globalização, administrando projetos globais e dando menos autonomia às filiais; racionalização e compartilhamento de plataformas, visando reduzir custos de desenvolvimento do produto através da utilização de plataformas em comum e *modular assembly*.

Durante as duas últimas décadas houve uma intensificação de várias transformações importantes que se iniciaram nas décadas anteriores no setor automotivo, obrigando as firmas a se adaptar a novos cenários competitivos, mercados de trabalho, demanda e tecnologia. Sturgeon *et al.*, (2009) destaca algumas dessas transformações: a liberalização comercial e financeira e a intensificação da divisão internacional do trabalho implicaram em um aumento nos fluxos de investimento direto estrangeiro (IDE) em busca de mão de obra barata e relativamente especializada em países como Brasil, Índia e China.

Ao mesmo tempo em que se tornaram mais integradas globalmente, as OEMs precisaram adaptar seus produtos aos gostos dos consumidores locais e manter a fabricação dos veículos próxima ao mercado final, desenvolvendo para isso sistemas de produção e inovação em caráter regional que visam a adaptação de produtos globais aos mercados locais – através de P&D adaptativa - e/ou a criação de produtos específicos para os mercados locais. Além disso, houve uma difusão das tecnologias geradas pelo paradigma da microeletrônica, o que gerou, no setor automotivo, um movimento no sentido de incorporação de tecnologias de *hardware* e *software* tanto nos produtos quanto nos processos produtivos.

A emergência de montadoras e fornecedores de países como a China, Índia e Coreia do Sul, aliada à competição cada vez maior em nível global, fez com que as pressões competitivas se intensificassem, principalmente na última década, levando à externalização (via *outsourcing*) de atividades menos lucrativas e com maiores riscos, alinhada à estratégia das firmas de focar em suas *core competences*, compartilhando os riscos da produção com seus fornecedores. Freyssenet (2009) cita também o grande número de fusões e aquisições (M&As) ocorridas durante as duas últimas décadas, até mesmo entre as japonesas Nissan, Mitsubishi e Mazda, que buscaram em montadoras americanas e européias (Renault, Daimler e Ford) ajuda contra a falência iminente após o declínio da economia japonesa e consequente encarecimento do crédito no país. A crise financeira em 2008 limitou novamente as fontes de

financiamento e reduziu a demanda, agravando a situação de algumas montadoras - principalmente as americanas, que foram compradas ou tiveram que ser socorridas pelo governo.

Por último, vale destacar a crescente preocupação da sociedade com alguns “inconvenientes” dos automóveis, como o elevado número de acidentes no trânsito e a emissão de poluentes na atmosfera como os gases causadores do efeito estufa, que tem provocado mudanças – ainda incipientes – nas preferências dos consumidores, nas leis, normas e regulações e – consequentemente – no desenvolvimento dos automóveis.

Todas essas mudanças pelas quais o setor automotivo vem passando ao longo dos últimos vinte anos justificam o estudo da co-evolução dos componentes do seu Sistema Setorial de Inovação, tanto pela importância do setor como para avaliar o impacto das mudanças recentes nos principais componentes do sistema. Nesse sentido, as próximas seções pretendem realizar uma análise detalhada de como essas mudanças recentes afetam os principais componentes do sistema de inovação.

3.3 – A co-evolução dos componentes do Sistema Setorial de Inovação do Setor Automotivo

Tomando como base a metodologia desenvolvida no Capítulo 2 e o referencial teórico apresentado no Capítulo 1, a presente seção pretende construir uma visão clara da co-evolução do SSI do setor automotivo através da análise dos seguintes elementos: demanda do mercado, regime tecnológico, atores e instituições.

3.3.1 – Atores e suas relações

A primeira dimensão do SSI automotivo diz respeito aos atores e às suas relações. Num sistema setorial de inovação, os atores são a gama heterogênea de agentes – firmas, organizações não-firma, universidades, indivíduos – envolvidos diretamente e indiretamente nos processos inovativos (MALERBA, 2002). A dinâmica da inovação, como apresentada no Capítulo 1, não fica restrita às atividades internas de P&D das empresas do setor, mas depende também da interação com fornecedores, governos, empresas de outros setores etc. Em setores cuja dinâmica inovativa é complexa, esses diversos atores têm participação – direta ou indireta - relevante na definição da dinâmica inovativa.

Os atores do sistema de inovação do setor automotivo podem ser divididos em dois grupos: os atores firma e os atores não-firma. Fazem parte do primeiro grupo as montadoras e

os fornecedores que compõem a cadeia produtiva, além de firmas não diretamente envolvidas, mas que influenciam nos processos de inovação, como as relacionadas à infra-estrutura de apoio à utilização – abastecimento, serviços pós-venda, etc. O segundo grupo é composto por organizações como governos, universidades, consumidores, centros de pesquisa, etc. que influenciam no direcionamento dos processos de mudança tecnológica do setor de diversas formas.

Alguns atores têm papéis de maior relevância no sistema setorial de inovação (MALERBA, 2002; EDQUIST, 1997). No caso do setor automotivo, os atores-chave (*key actors*) são as firmas da cadeia produtiva (OEMs e alguns fornecedores) e, de forma indireta, os consumidores e os governos. Esses três atores são peças fundamentais do sistema e seu comportamento determina as trajetórias tecnológicas do setor. A influência e as mudanças do comportamento do consumidor - determinado por preferências e expectativas - e do governo - que se manifesta através dos instrumentos políticos – serão desenvolvidas em seções à parte (Ver Seções 3.3.2 e 3.3.4). Portanto, esta seção se ocupa em analisar as mudanças recentes nas características, importância e relações entre os atores *envolvidos na cadeia produtiva* do setor automotivo.

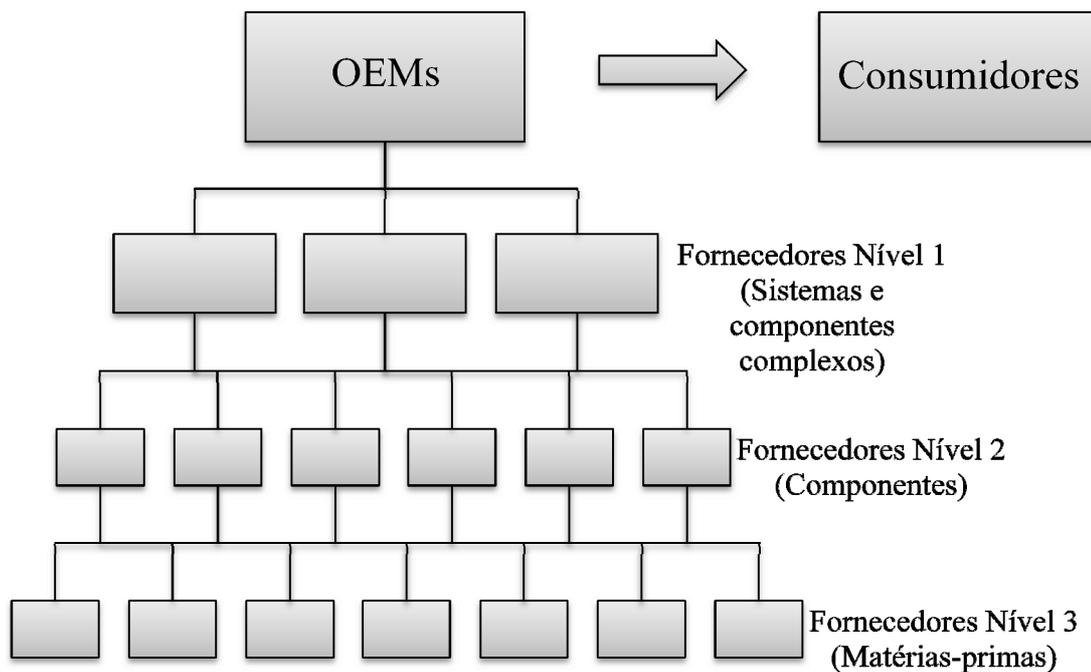
O sistema de inovação do setor automotivo tem como foco o desenvolvimento do seu principal produto: o automóvel. A cadeia produtiva do setor (Figura 4) oferece uma visão clara dos atores firma que atuam nesse desenvolvimento de forma direta, e dessa forma, refletem os principais esforços inovativos do sistema (SOFKA *et al.*, 2008). As firmas que compõem a cadeia de valor do setor automotivo são divididas entre as montadoras (*Original Equipment Manufacturers* – OEMs) e os fornecedores, que por sua vez podem ser classificados em diferentes níveis (CLARK & FUJIMOTO, 1991; SOFKA *et al.*, 2008; HUMPHREY & MEMEDOVIC, 2003; STURGEON *et al.*, 2009).

A divisão dos fornecedores realizada pelo presente trabalho (Figura 4) classifica-os em três níveis (*tiers*) de acordo com suas responsabilidades e relacionamento com as OEMs³⁰: no primeiro nível, encontram-se os responsáveis pelas peças mais complexas e os sistemas (ou módulos), fornecidos diretamente para as OEMs, como os fornecedores de sistemas de

³⁰ É preciso admitir que a classificação utilizada no presente trabalho consiste em uma simplificação da cadeia de valor, uma vez que existem muitos outros níveis de fornecedores e formas de relacionamento entre eles e as OEMs. Entretanto, nosso objetivo é destacar as relações e os atores com base na sua contribuição para o sistema setorial de inovação do setor. Segundo MOAVENZADEH (2006, p. 8), “a distinção entre os fornecedores de nível 1, 2 e 3 é, por vezes, insuficiente, dado que algumas firmas pequenas vendem diretamente para as montadoras, entretanto, estas não devem ser consideradas como fornecedoras de nível 1 para fins de análise” [tradução nossa].

resfriamento, injeção de combustível, pneus, bancos, suspensão, direção, freios, sistemas eletrônicos, etc. Os fornecedores de segundo nível são responsáveis pelos componentes de menor valor agregado e/ou maior simplicidade tecnológica, fornecidos majoritariamente para os fornecedores de nível 1. Por último, os fornecedores do terceiro nível são responsáveis pelas matérias primas e materiais básicos utilizados ao longo da cadeia de valor, como aço, alumínio, plásticos, borracha, vidro, etc.

FIGURA 4 – A cadeia de valor do setor automotivo



Fonte: Elaboração própria, com base em Sofka *et al.* (2008), Clark & Fujimoto (1991) e Sturgeon *et al.* (2009).

A divisão da cadeia produtiva tal qual realizada no presente trabalho é relativamente nova. Num passado recente, principalmente nos EUA e em parte na Europa, não havia uma hierarquia vertical bem definida *entre os fornecedores* (CLARK & FUJIMOTO, 1991; STURGEON *et al.*, 2009). O desenvolvimento dos sistemas e dos componentes complexos era, em grande parte, responsabilidade da própria montadora. Aos fornecedores cabia o papel de seguir as especificações fornecidas pelas montadoras e fabricar os componentes mais simples, além de fornecer as matérias primas. As relações entre ambos eram fracas e de curto prazo, os fornecedores não detinham papel significativo no desenvolvimento de produto e, portanto, seu papel no sistema de inovação era bastante restrito. No Japão, ao contrário,

existiam relações fortes e duradouras entre OEMs e fornecedores³¹, havia troca intensa de conhecimento e os últimos participavam ativamente dos processos inovativos através de relações de co-desenvolvimento.

Durante as últimas duas décadas, entretanto, a indústria automotiva – particularmente a americana e europeia - passou por um processo de reestruturação organizacional que modificou significativamente a relação OEMs-fornecedores, fazendo com que as primeiras estabelecessem maiores vínculos com seus fornecedores e estes passassem a ter maior peso no desenvolvimento de produto (HUMPHREY & MEMEDOVIC, 2003; SOFKA *et al.*, 2009; STURGEON *et al.*, 2009). Segundo Lung (2003) e Clark & Fujimoto (1991), as montadoras ocidentais, inspiradas pelas japonesas (especialmente a Toyota), têm desenvolvido estruturas de cooperação mais fortes com os fornecedores, requerendo destes capacitações tecnológicas e organizacionais maiores que lhes permitam suportar maiores responsabilidades quanto ao desenvolvimento de sistemas e componentes.

Para manter sua competitividade mesmo diante das pressões sobre os custos e a entrada das japonesas, as montadoras ocidentais buscaram melhorar a qualidade dos seus automóveis e implementar práticas da produção enxuta em seus processos produtivos, concentrando-se suas atividades-chave (*core business*, como montagem do motor e do monobloco, *design* do automóvel, *marketing*) e realocando atividades secundárias ao longo da cadeia produtiva (via *outsourcing*), principalmente entre os fornecedores de nível 1 (MACDUFFIE & HELPER, 2005). Essas medidas elevaram o grau de proximidade entre as montadoras e os fornecedores, uma vez que o aumento da qualidade, a adoção de práticas da *lean production* e mesmo o *outsourcing* requerem necessariamente o acompanhamento maior das atividades dos fornecedores.

Entretanto, a simples aproximação entre OEMs e fornecedores – via *subcontratação* ou acompanhamento das atividades produtivas - não é um indicador de que os últimos estejam participando ativamente do desenvolvimento dos componentes. Clark (1989) e Clark & Fujimoto (1991) desenvolvem uma classificação das atividades de co-desenvolvimento entre OEMs e fornecedores, dividindo-as em três grupos de acordo com a natureza dos fluxos de conhecimento trocados entre ambos:

³¹ Clark (1989) atribui grande parte da performance superior japonesa a partir dos anos 1980 à esse comportamento, baseado em relações de longo prazo, subcontratação, grande troca de conhecimento e governança baseada na confiança.

1 – *Fornecedor proprietário das partes*: é atribuída ao fornecedor a responsabilidade pelo desenvolvimento dos componentes/sistemas, que então são oferecidos às montadoras via catálogos.

2 – *Detalhamento controlado pelas OEMs*: a montadora controla todo o desenvolvimento dos componentes. O fornecedor apenas fabrica a peça de acordo com as especificações da montadora.

3 – *“Black Box”*: a montadora fornece uma série de informações sobre atributos esperados (parâmetros básicos de *design*, desempenho, tamanho, peso, etc.) e o fornecedor se encarrega do desenvolvimento do componente.

De acordo com a classificação, um nível maior de cooperação entre as OEMs e os fornecedores somente pode ser verificado quando aumentam as atividades do tipo *“black box”*. Nas outras duas, embora haja relações entre ambas, não existe cooperação na fase de desenvolvimento de produto. A literatura aponta uma série de vantagens do desenvolvimento conjunto (*co-desenvolvimento*) para as OEMs e os fornecedores, como o acesso a capacitações complementares e novas tecnologias, economias de escala devido à pesquisa realizada em conjunto (redução da *“P&D redundante”*), compartilhamento dos riscos e acesso a conhecimentos fora das fronteiras das firmas (POWELL, 1987), redução do custo e do tempo de desenvolvimento de produto (CLARK, 1989) e aumento da qualidade.

É possível afirmar que o número de parcerias do tipo *“black box”* vem aumentando consideravelmente ao longo dos últimos vinte anos. Uma prova disso é que

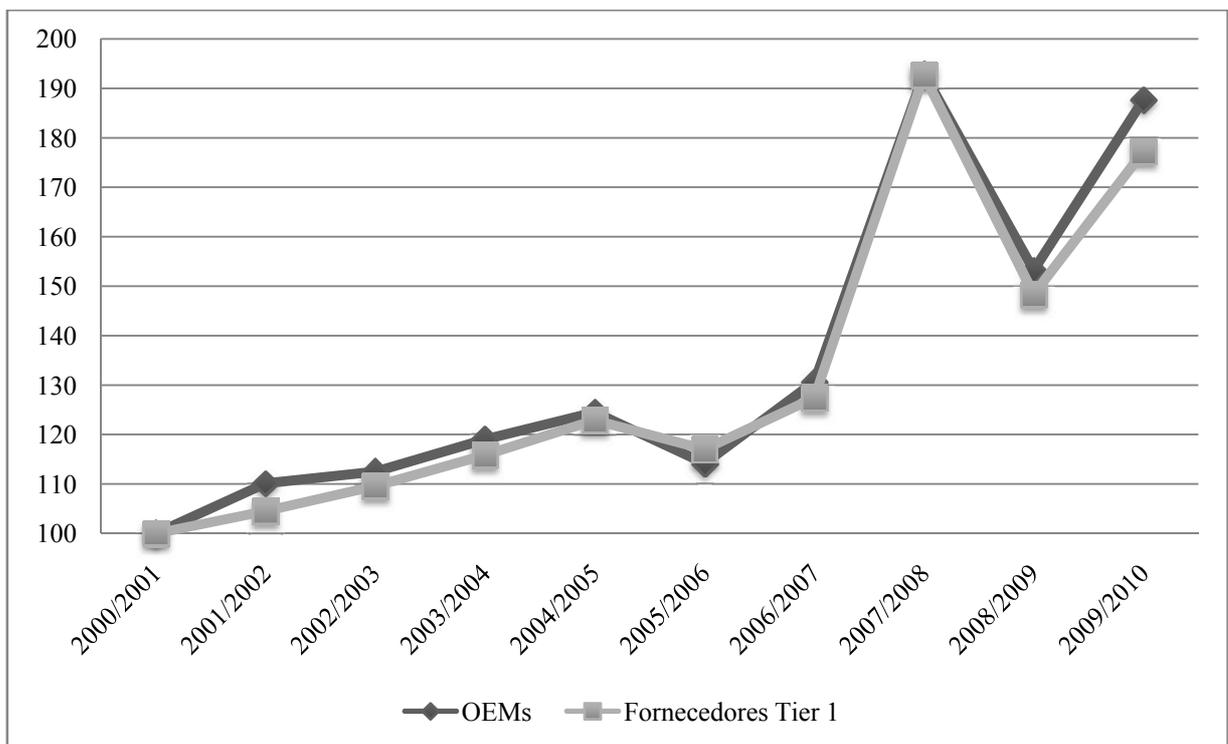
(...) as fabricantes de veículos crescentemente especificam apenas os requerimentos gerais enquanto seus fornecedores são livres para desenvolver o componente ou sub-sistema que solucione melhor o problema de seu cliente. Esse modelo contrasta com o modelo de negócios tradicional, no qual as OEMs fornecem aos fornecedores especificações técnicas detalhadas acerca dos componentes e pedem para que eles apenas os fabriquem. Engenheiros pertencentes aos fornecedores desempenham um papel fundamental em introduzir tecnologias nos veículos e por vezes trabalham em conjunto com os engenheiros das montadoras (MOAVENZADEH, 2006, p. 8) [tradução nossa].

A Figura 5 mostra que os investimentos em P&D das fornecedoras³² têm acompanhado o das OEMs durante a última década, o que pode ser um forte indicador de que suas atividades inovativas são interrelacionadas, ou seja, a princípio, a trajetória bastante

³² Os dados são relativos às 15 fornecedoras que mais gastaram em P&D em 2009, grupo que concentra 86% dos gastos em P&D das fornecedoras. Os dados para as OEMs são relativos às 15 maiores montadoras, que detêm 98% dos gastos totais em P&D das OEMs, segundo BIS (2010).

parecida dos investimentos em P&D (*inputs* dos processos inovativos) de ambas parece indicar que existe grande cooperação quanto ao desenvolvimento de produtos, já que os investimentos evoluem de maneira conjunta – quando as OEMs aumentam ou diminuem seus investimentos em P&D, as fornecedoras fazem o mesmo.

FIGURA 5 – Evolução dos investimentos em P&D das principais¹ OEMs e Fornecedoras² (Base 100 = 2000/2001)



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BIS, vários anos, e do JRC para 2009/2010. Os valores se referem aos balanços das empresas, que em geral utilizam o ano fiscal comumente adotado no hemisfério norte (ex: o valor de 2001 se refere ao período de meados de 2000 a meados de 2001).

Notas:

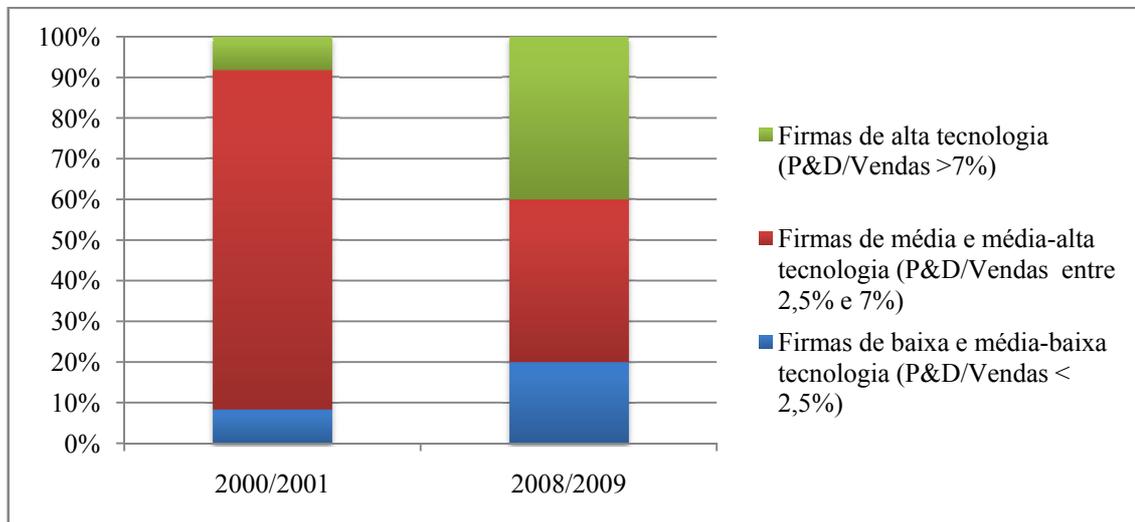
¹ Dados referentes às 15 maiores OEMs, por montante de investimento em P&D: Toyota, Volkswagen, GM, Honda, Daimler, Ford, Nissan, BMW, Peugeot (PSA), Fiat, Renault, Hyundai, Suzuki, Porsche, Mazda.

² Dados referentes às 15 maiores Fornecedoras de nível 1, por montante de investimento em P&D: Robert Bosch, Denso, Aisin, Delphi, Valeo, ZF, Hella, Fuji Heavy Industries, Toyota Industries, Johnson Controls, Visteon, Autoliv, Behr, Calsonic Kansei, Dana.

Com o foco das montadoras nas *core competences*, os fornecedores de nível 1 têm assumido maior responsabilidade sobre o desenvolvimento de sistemas e componentes mais complexos, organizando os níveis inferiores da cadeia de valor – e obtendo maior controle sobre os mesmos. O maior envolvimento nas atividades de desenvolvimento de componentes/sistemas provocou um aumento na capacidade inovativa das fornecedoras de nível 1. Como resultado, a intensidade tecnológica das fornecedoras vem aumentando rapidamente (Figura 6) sendo que, em 2009, 40% das 15 maiores fornecedoras (por

investimento em P&D) de nível 1 apresentaram intensidade tecnológica (P&D/Vendas) acima de 7%, equivalente à das indústrias de alta tecnologia.

FIGURA 6 – Intensidade tecnológica das 15 maiores fornecedoras (por investimento em P&D)



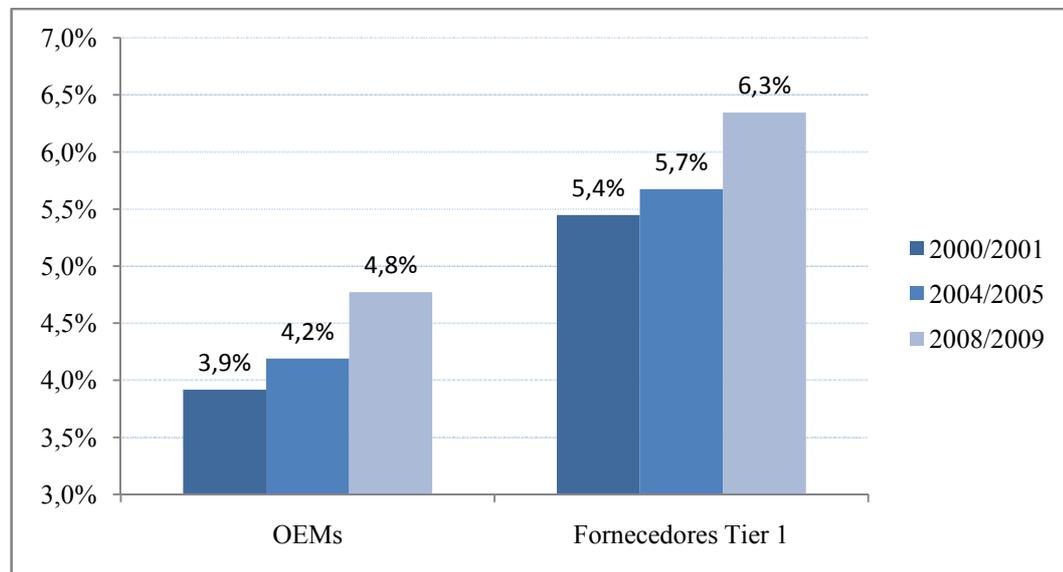
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BIS.

Ademais, a intensidade tecnológica média das 15 maiores fornecedoras tem estado permanentemente acima da intensidade tecnológica média das 15 maiores OEMs nos últimos dez anos (Figura 7). Esses dados mostram o comprometimento maior dos fornecedores com as atividades inovativas, comprometimento este que tem permanecido superior – em termos relativos – ao das OEMs durante a década de 2000. Entretanto, os dados não permitem afirmar que a participação relativa das OEMs no sistema de inovação está se *reduzindo*. Pelo contrário, os dados da Figura 5 mostram que esta participação tem se mantido *constante* ao longo da última década.

Portanto, o que podemos afirmar, a partir dos dados apresentados, é que as principais fornecedoras têm acompanhado o investimento das OEMs e vêm se tornando cada vez mais intensivas em tecnologia, o que constitui um forte indício de que elas realmente se consolidaram como atores-chave no sistema na última década, incorporando mais funções na cadeia produtiva, em termos de organização da P&D e da produção dos níveis inferiores, um papel anteriormente delegado apenas às montadoras, mas isso não tem se traduzido em queda da participação relativa das OEMs no total de investimento em P&D. Em outras palavras, os fornecedores de nível 1 tem se tornado relativamente mais importantes *do ponto de vista organizacional*, embora não se possa dizer o mesmo do ponto de vista do investimento em P&D, o que não nos impede de concluir que o sistema está se tornando mais robusto e

complexo, afinal, como discutido no Capítulo 1, capacitações organizacionais e de gerenciamento das atividades inovativas são tão importantes quanto a P&D interna na geração de inovações.

FIGURA 7 – Evolução da intensidade tecnológica (P&D/Vendas) das 15 maiores fornecedoras e OEMs por investimento em P&D.



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do BIS.

Longe de representar um *outlier*, o período 2007/2008 pode representar uma nova tendência de elevação dos investimentos em P&D³³ de OEMs e fornecedoras em resposta a diversos fatores, dentre os quais destacamos dois principais:

- 1) ***Intensificação das normas de emissão de gases nocivos ao meio ambiente.***
Em 2007, foram introduzidas normas de emissão mais abrangentes e severas nos Estados Unidos e na União Européia – dois dos principais mercados automotivos - através do EISA (*Energy Independence and Security Act*) e da Diretiva 715/2007/EC, respectivamente. A introdução dessas normas e de várias outras (Ver Tabela 15, Seção 3.3.4) se configura como um importante estímulo ao investimento em P&D pelas empresas do setor visando se adequar às exigências impostas pelos governos, como a fabricação de automóveis significativamente mais eficientes do ponto de vista energético, em um curto espaço de tempo.
- 2) ***Características da competição oligopolística no setor.*** Outro ponto que pode explicar parcialmente o comportamento do investimento no período

³³ Tendência que foi temporariamente quebrada em 2008/2009 por conta da crise de 2008, mas já mostra sinais de recuperação no período 2009/2010, como mostra a Figura 5.

2007/2008 são as próprias características da concorrência no setor. Nos anos imediatamente anteriores, diversas OEMs – em especial as japonesas e algumas européias – iniciaram ou intensificaram os investimentos em projetos de criação ou aprimoramento de tecnologias de propulsão alternativas, projetos estes que podem oferecer vantagens competitivas para as mesmas. Uma vez que uma tecnologia revolucionária se torne viável e atenda às exigências da demanda (Ver Seção 3.3.2) e dos governos (Ver Seção 3.3.4), ela adquire potencial para suplantiar as tecnologias atuais, que nesse momento se tornam obsoletas. É natural que uma parcela cada vez maior de montadoras esteja disposta a aumentar seus investimentos em P&D para estar minimamente preparada para um cenário como este, dada a característica *path dependent* dos processos de mudança tecnológica (Ver Capítulo 1).

Por último, os dados de patentes também corroboram a visão de aumento da intensidade tecnológica dos fornecedores de nível 1. A Tabela 4 mostra como o número de patentes ligadas aos sistemas – cuja responsabilidade pelo desenvolvimento é, em grande parte, dos fornecedores – tem evoluído ao longo da década. Com exceção dos sistemas de freios, entretenimento e suspensão, todos os outros sistemas apresentaram grande crescimento no volume de patentes entre 2003 e 2010. Tais sistemas representaram 60% do total de patentes da indústria automotiva em 2010 dando uma idéia da participação atual dos fornecedores de nível 1 no sistema setorial de inovação. Ademais, entre as 10 firmas que mais patentearam em 2010, 4 são grandes fornecedoras (NipponDenso, Matsushita, Robert Bosch e Aisin) (THOMSON REUTERS, 2011).

A necessidade de relações de confiança mais fortes entre os níveis superiores da cadeia produtiva fez com que o número de fornecedores de primeiro nível se reduzisse (LUNG, 2003), levando ao surgimento dos fornecedores globais (muitos dos quais surgiram através de *spin-offs* das grandes OEMs, como a Delphi-GM e Visteon-Ford), grandes firmas responsáveis por coordenar os níveis inferiores da cadeia, que mantêm relações muito próximas com as principais montadoras e que precisam acompanhar o movimento destas nos principais mercados.

TABELA 4 – Participação dos sistemas na geração de patentes no setor automotivo

	Volume de Patentes (2010)	Participação no total de patentes do setor (2010)	Variação 2003-2010
<i>Sistemas de navegação</i>	12.060	13%	32,0%
<i>Sistemas de transmissão</i>	11.577	12%	78,8%
<i>Assentos, cintos de segurança e airbags</i>	7.769	8%	44,4%
<i>Sistemas de direção</i>	6.327	7%	-
<i>Sistemas de suspensão</i>	5.924	6%	1,4%
<i>Sistemas de segurança</i>	5.752	6%	56,2%
<i>Sistemas de freios</i>	3.908	4%	-9,8%
<i>Sistemas de entretenimento</i>	3.052	3%	-15,6%
Total	56.369	59%	46,6%

Fonte: Thomson Reuters (2011).

Diante das modificações citadas, as capacitações organizacionais e tecnológicas de cada um dos atores da cadeia produtiva do setor se modificaram, bem com sua atuação no sistema de inovação automotivo. Segundo Humphrey & Memedovic (2003), enquanto para as montadoras as capacitações de *branding* e *design* de produto continuam sendo fundamentais, para os fornecedores de nível 1, a proximidade com as OEMs e o aumento das relações “*black box*” requerem que tenham cada vez mais capacitações tecnológicas (de *design*, desenvolvimento de novos componentes e configurações para o sistema) e organizacionais (capacidade de organizar a cadeia produtiva *upstream*, ou seja, os fornecedores de níveis inferiores) para atender aos requisitos de desenvolvimento de produto exigidos pelas OEMs.

As mudanças pelas quais o sistema de inovação do setor está passando também podem alterar significativamente as relações e o papel dos atores no sistema. Ao se depararem com exigências tecnológicas maiores, as OEMs se vêem obrigadas a aumentar a complexidade dos projetos (CLARK & FUJIMOTO, 1991), como no caso dos veículos híbridos e elétricos, o que requer mais horas de engenharia para desenvolver um modelo a partir dessas tecnologias. Para as montadoras, que estão cada vez mais sob pressão de custos, uma boa estratégia é desenvolver parcerias com fornecedores, universidades, centros de pesquisa ou mesmo *concorrentes* que, como mencionado, podem reduzir os custos de desenvolvimento ao distribuir a responsabilidade (e conseqüentemente os custos e riscos) entre vários atores.

Alguns exemplos notáveis dessas parcerias recentes entre vários atores incluem o programa americano FreedomCAR (NRC, 2010b) e o europeu EUCAR – *European Council*

for Automotive Research and Development (EUCAR, 2009). O primeiro consiste em uma parceria entre o governo americano, o departamento de energia (DOE), o USCAR (*U. S. Council for Automotive Research*), cujos membros são os grupos Chrysler, Ford e GM, além de empresas de outros setores, em especial de Energia, como a BP America, Chevron Corporation, ConocoPhillips, ExxonMobil, Shell Hydrogen, DTE Energy e Southern California Edison. O objetivo do programa é garantir o desenvolvimento de uma ampla gama de veículos que possam operar sem combustíveis fósseis, mas sem comprometer a autonomia média. O EUCAR foca na P&D colaborativa entre diversas montadoras e fornecedores através de grupos de trabalho nas áreas de combustíveis e *powertrain*, segurança integrada, materiais e métodos produtivos e “eletrificação” do automóvel, contando com BMW, Daimler, DAF, Fiat, Ford, Jaguar, Porsche, Renault, Peugeot PSA, Scania, Volkswagen, Volvo, Valeo, Delphi, Bosch, Continental, Marelli, entre outras.

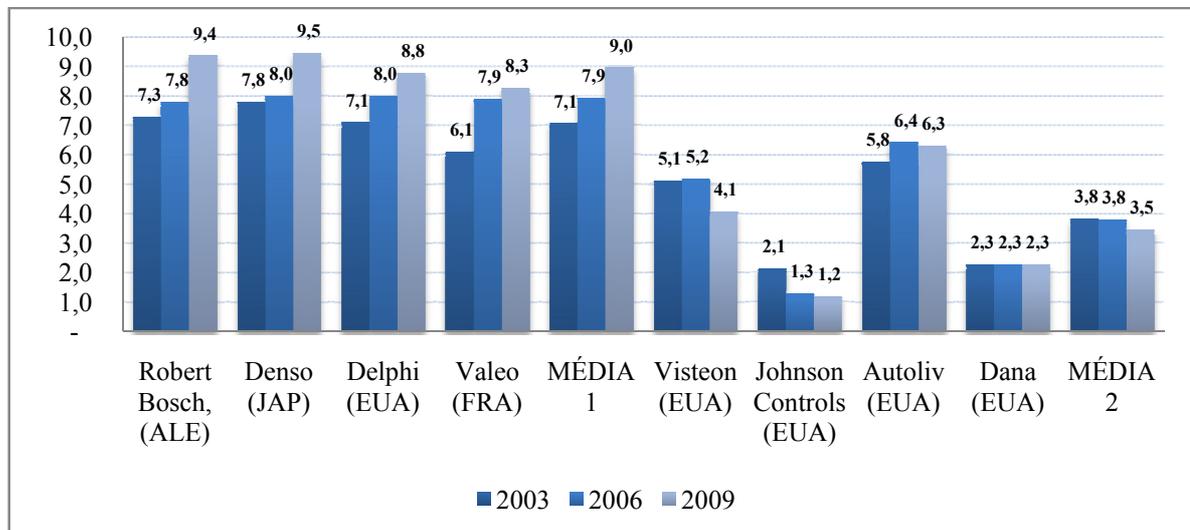
Portanto, a crescente complexidade das tecnologias envolvidas nos carros híbridos, elétricos, movidos a célula de combustível e até mesmo nas tecnologias desenvolvidas para o motor à combustão interna exige um relacionamento mais próximo entre as firmas envolvidas no desenvolvimento destes veículos, como as OEMs e os fornecedores. O caráter incipiente de algumas dessas tecnologias – particularmente a de célula de combustível – exige também a busca por conhecimentos “básicos” que possibilitem a melhoria dos componentes, motivo pelo qual espera-se que exista uma participação maior de universidades e centros de pesquisa públicos nos próximos anos. Essa exigência também vale no caso dos veículos híbridos e elétricos: as OEMs buscam desenvolver parcerias com universidades para pesquisar novos compostos para as baterias que possam melhorar suas características de desempenho, por exemplo.

As montadoras têm estendido a mão para as universidades por décadas, mas **tanto o volume quanto a profundidade dos financiamentos à pesquisa vem aumentando**. A GM estabeleceu seu programa de laboratórios de pesquisa colaborativos (CRL) em 2002. O programa CRL estabeleceu dez relações de longo prazo com professores ou times de professores em universidades que focam em áreas tecnológicas específicas. O programa CRL em eletrônica e controles com a Carnegie Mellon University é um dos maiores; outros incluem a tecnologia de motores na University of Aachen e materiais leves na Indian Institute of Science. A Ford também tem mantido uma relação de longo prazo com o MIT que envolve milhões de dólares. A Toyota prometeu até US\$ 50 milhões para o programa Global Climate and Energy da Stanford University (MOAVENZADEH, 2006, p. 13.[grifo nosso][tradução nossa].

As novas tecnologias também fazem com que as firmas estabeleçam laços mais fortes com firmas de outros setores para o desenvolvimento de produto, particularmente aqueles envolvidos na infra-estrutura de abastecimento (no caso dos veículos elétricos e células de combustível, para tentar impor um padrão de abastecimento compatível com suas tecnologias, por exemplo), componentes eletrônicos e *software* que permitam a continuidade da aplicação da microeletrônica nos automóveis, agora movida pela necessidade de redução do consumo de combustível.

É necessário, entretanto, que o presente estudo leve em consideração as diferenças – por vezes bastante significativas - de desempenho e dinâmica inovativa entre os fornecedores de primeiro nível e também entre as montadoras. Quanto aos primeiros, a Figura 8 mostra como a intensidade tecnológica (P&D/Receita de Vendas) de alguns dos principais fornecedores de primeiro nível (Bosch, Denso, Delphi, Valeo, representados pela MÉDIA 1) tem aumentado consideravelmente ao longo da última década³⁴, enquanto a de outros (Visteon, Johnson Controls, Autoliv, Dana, representados pela MÉDIA 2) permaneceu no mesmo patamar ou até mesmo se reduziu.

FIGURA 8 – Intensidade Tecnológica (P&D/Vendas) de fornecedores selecionados



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BIS, vários anos. Os valores se referem ao ano fiscal comumente adotado no hemisfério norte.

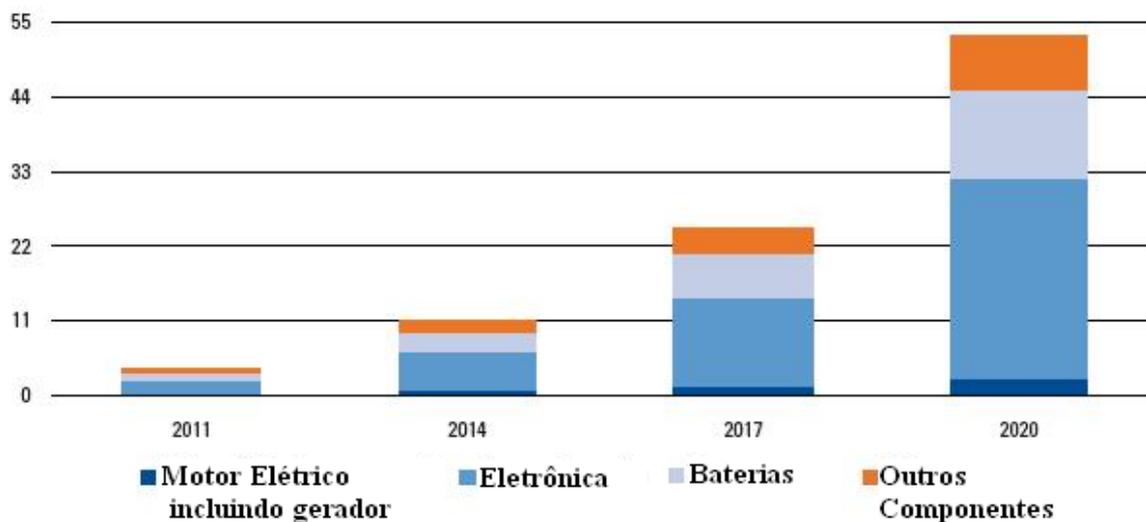
É notável que o segundo grupo seja composto apenas por empresas americanas, atingidas com intensidade particularmente forte pela crise de 2008 (basta se lembrar dos efeitos da crise sobre suas principais clientes, as montadoras americanas). Além disso, as

³⁴ Grande parte dessas empresas já pode ser considerada como “alta tecnologia”, de acordo com a classificação da OCDE (2005b).

montadoras americanas têm, historicamente, um relacionamento relativamente mais fraco com as fornecedoras (CLARK & FUJIMOTO, 1991) e têm buscado cooperação com fornecedoras de outras partes, como Europa e Japão, para fornecer os componentes com maior conteúdo tecnológico (COONEY & YACOBUCCI, 2005). Nos Estados Unidos, a parcela de autopeças importadas da China passou de 2% para 10% durante a última década (BAILEY *et al.*, 2010). A pouca cooperação em projetos de desenvolvimento de peças e sistemas gera poucos incentivos para o aumento dos investimentos em P&D pelas fornecedoras americanas.

Destacamos também que novas categorias de fornecedores têm se estabelecido na cadeia produtiva, principalmente aqueles ligados à fabricação de baterias e componentes eletrônicos específicos para os veículos híbridos e elétricos³⁵, que já representam certa fração – ainda que pouco expressiva - dos automóveis comercializados, especialmente no Japão e nos Estados Unidos, mas que tendem a participar cada vez mais da cadeia produtiva (Ver Figura 9). A cadeia de produção das baterias – que podem ser consideradas um sistema à parte - é relativamente complexa e também envolve vários níveis, inclusive após a comercialização do produto, como a reciclagem e reuso de certos componentes.

FIGURA 9 – Mercado estimado para componentes do *powertrain* elétrico (para automóveis híbridos e elétricos, em Bilhões de Euros)



Fonte: KPMG (2009).

É possível que as mudanças recentes provoquem modificações também nas capacitações dos fornecedores de níveis inferiores na cadeia produtiva. Os fornecedores de nível 3, por exemplo, precisam cada vez mais ter capacitações inovativas, tanto para

³⁵ Adicionalmente, o aumento da comercialização de veículos alternativos pode reduzir a participação de alguns atores no sistema. Esse pode ser o caso dos fornecedores de sistemas de injeção de combustível e de transmissão, que são bastante simples no caso de veículos elétricos.

desenvolver em escala comercial novos materiais (mais leves, que auxiliem na economia de combustível dos automóveis, e também os utilizados nas baterias, sistemas eletrônicos, catalisadores, etc.) quanto para desenvolver processos (como por exemplo um processo que torne a fabricação do alumínio menos custosa e com menor consumo de energia).

Recentemente, uma empresa americana de compostos de fibra de carbono, a Plasan Carbon Composites, introduziu uma inovação de processo que permite produzir componentes desse material em uma escala muito superior à que vinha sendo atingida pelo setor (de 2.000 componentes produzidos por ano para 50.000 componentes produzidos por ano). O material é de 50% a 80% mais leve que o aço e pode ser um grande aliado das montadoras na economia de combustível dos veículos (DESIGN NEWS, 2011).

Entre as OEMs, também é possível notar diferenças quanto ao comportamento inovativo devido aos diversos objetivos estratégicos e pelo próprio ambiente de negócios das empresas do setor. A partir de uma metodologia chamada ISF (*Innovation Strategy Framework*), Oliver Wyman (2007) reconhece seis diferentes trajetórias de inovação das OEMs. Destas seis estratégias, é possível distinguir dois grandes grupos:

- 1) Foco na marca (*brand builders*): OEMs que investem fortemente em P&D visando criar ou melhorar inovações de produto, orientando-se para a promoção da marca como inovadora e de alta qualidade (*high-end*), sem tanto comprometimento com a redução de custos das novas tecnologias, ou seja, são marcas *premium* voltadas para consumidores com maior poder aquisitivo, dispostos a pagar mais por veículos com conteúdo tecnológico significativamente maior. A BMW, a Mercedes e a Porsche são exemplos deste grupo.
- 2) Seguidores rápidos (*fast followers*) e adaptadores de tecnologia (*mass-market adapter*): são empresas que buscam tornar as tecnologias de ponta já existentes mais acessíveis ao mercado como um todo através de investimentos em redução de custos, inovações incrementais de produto, inovações radicais de processo (como modularização) e organizacionais, além de inovações de *marketing*. Elas também buscam criar novas tecnologias que sejam mais acessíveis *a priori*, através de inovações de produto. Este grupo não se preocupa tanto em construir uma imagem de marca *premium*, mas busca incorporar e melhorar as tecnologias criadas pelas *brand builders* nos seus automóveis a preços mais acessíveis ao consumidor comum, ou mesmo criar novas tecnologias que tenham essa característica fundamental. São exemplos desse grupo as grandes montadoras como a GM, Toyota, Volkswagen, e novas OEMs como a Kia e a Hyundai.

Novas OEMs também estão se inserindo no sistema setorial de inovação como importantes atores, notadamente as de países como a Coreia do Sul e – mais incipientes - da China e da Índia. Segundo dados da OICA, a produção de veículos na Triade representava 77% da produção global em 1997, enquanto em 2009 representou apenas 50%. Ao mesmo tempo, a produção chinesa, por exemplo, cresceu de 3% para aproximadamente 22% no mesmo período. Entre as 50 maiores montadoras em 2009, 23 são chinesas e 2 são indianas.

Não se pode menosprezar a participação desses atores no SSI, dada a disposição das OEMs chinesas e indianas em aumentar suas capacitações tecnológicas nos últimos anos, com destaque para a P&D em veículos elétricos e híbridos. A montadora chinesa BYD, por exemplo, utiliza a experiência de seu conglomerado (a empresa é subsidiária de um dos maiores fabricantes de baterias do mundo) para empreender projetos de P&D em baterias de Li-Ion, inclusive em parceria com grandes fabricantes como a Daimler AG (CARVALHO *et al.*, 2010). Outras empresas têm adquirido capacitações tecnológicas através da compra de grandes OEMs, como a compra da Volvo pela chinesa Geely.

Apesar de serem tradicionalmente associadas a veículos de menor qualidade, as chinesas estão investindo cada vez mais em qualidade do produto e novas tecnologias de propulsão e estão se tornando atores com uma importância cada vez maior no sistema de inovação do setor automotivo. Uma prova disso é que, em 2008, o setor automotivo chinês foi responsável por 20,08% do total de patentes em tecnologias de propulsão alternativas, perdendo apenas para o Japão (49,83%) e à frente dos EUA (11,00%), Alemanha (5,15%) e França (1,96%) (THOMSON REUTERS, 2010).

Portanto, no que se refere à evolução da dimensão “atores” do sistema setorial de inovação do setor automotivo, se pode afirmar que, com a complexidade crescente demandada pelos processos inovativos e as mudanças organizacionais e tecnológicas pelas quais o setor vem passando ao longo das últimas duas décadas, verifica-se um aumento relativo na participação de atores como os fornecedores, as universidades, o governo e mesmo empresas de outros setores nos processos inovativos guiados pelas OEMs, ou seja, percebe-se que a inovação tem se tornado mais “aberta” (ver Capítulo 1), ultrapassando as fronteiras das OEMs e exigindo maiores conhecimentos advindos de outros atores.

O sistema tem se tornado mais “robusto”, uma vez que agora são utilizadas diversas fontes de conhecimento e tecnologia externas às OEMs. Esse, porém, não é um processo planejado, mas resultado das restrições que o próprio ambiente (demanda, leis, normas, rotinas organizacionais) têm imposto às firmas do setor, bem como pelas oportunidades que a absorção de conhecimentos e tecnologias advindas da microeletrônica e de outros conjuntos

de tecnologias e conhecimentos têm proporcionado. Adicionalmente, as mudanças pelas quais o sistema está passando podem fazer com que novas modificações aconteçam na participação relativa de alguns atores, como os fornecedores responsáveis por sistemas ligados ao *powertrain*.

3.3.2 – A Demanda do Mercado

Segundo Orsato & Wells (2006), as expectativas dos consumidores são forças poderosas que limitam o escopo de inovações do setor automotivo. O modelo de Adner (2003) apresentado no Capítulo 2 é tomado como base para a análise da demanda, embora este percorra apenas os aspectos “preço” e “desempenho técnico”, deixando de lado o papel dos aspectos subjetivos que têm se tornado cada vez mais relevante na relação montadora-cliente no setor automotivo. No sentido de complementar o primeiro modelo, vale destacar a análise proposta por Clark & Fujimoto (1991), na qual o foco para a análise das escolhas do consumidor não é o produto físico – no caso o automóvel – e nem os custos, e sim as experiências que o usuário “consume” ao possuir um automóvel, ou seja, as informações absorvidas quando da utilização do produto. Essas informações podem ser relacionadas tanto aos atributos técnicos do automóvel (desempenho, conforto, *design*) quanto a atributos subjetivos (propaganda, serviços pós-venda, comparações com outros carros, comentários das pessoas sobre o carro etc.). A interpretação desses atributos/informações por parte do consumidor define o grau de satisfação que a experiência de utilização do automóvel proporciona, que por sua vez pode indicar quais atributos têm maior aceitação no mercado e em determinados segmentos.

Os produtores podem tentar influenciar os consumidores disponibilizando informações relevantes que alteram a percepção destes quanto à experiência com o automóvel através de ações de *marketing* que buscam a valorização de certos atributos sobre os quais eles têm boa reputação (Ex: Segurança – Volvo; Desempenho – Porsche; Status – Mercedes; Exclusividade - Bugatti) ou acreditam que serão valorizados pelos consumidores. Pode-se dizer que o maior desafio para os produtores é *reconhecer* e *antecipar* quais são as expectativas dos consumidores quanto a esses atributos, principalmente num cenário de maior importância relativa dos parâmetros subjetivos.

Nesse sentido, Clark & Fujimoto (1991) demonstram como o processo de desenvolvimento de produto na indústria automotiva é essencialmente uma simulação da produção e da experiência de consumo destinada a avaliar e prever a experiência dos usuários

na utilização do automóvel. Quanto mais os engenheiros puderem se “aproximar” do comportamento real dos consumidores, maior a efetividade do desenvolvimento de produto (CLARK & FUJIMOTO, 1991). Essa “aproximação” se dá pela absorção das informações geradas pelos usuários e transmitidas às firmas através dos *inputs* apresentados anteriormente. A complexidade dessas informações depende de quais atributos os usuários consideram como essenciais na escolha do produto: se forem atributos técnicos (velocidade, economia, tamanho), a probabilidade de que os *inputs* gerem estimativas consistentes do comportamento do consumidor é maior, pois as informações se encontram codificadas e simples. No entanto, se o consumidor valoriza mais atributos subjetivos (estilo, correspondência com valores e “estilo de vida”), torna-se mais difícil criar simulações da utilização do automóvel, pois as informações geralmente são complexas e de difícil acesso e interpretação.

Por ser um produto complexo e composto por milhares de componentes, o automóvel apresenta uma extensa gama de atributos técnicos que se relacionam e se complementam, satisfazendo o consumidor de diversas formas além do transporte em si. Com o tempo, os consumidores acumulam experiência sobre tais atributos, permitindo-lhes exigir um grau de diferenciação cada vez maior para os produtos, englobando desde especificações técnicas até atributos “subjetivos”, como a sintonia com o estilo de vida e valores fundamentais dos consumidores. Esse processo (de certa forma *path dependent*) tem feito com que a demanda se tornasse cada vez mais complexa e diversificada (CLARK & FUJIMOTO, 1991; FREYSSENET, 2009).

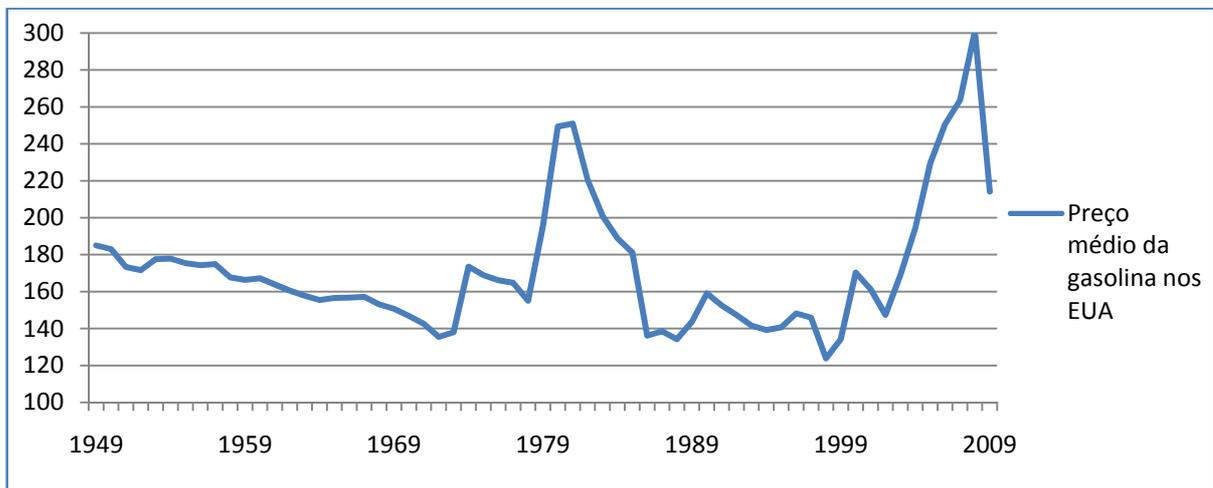
O acesso à informação proporcionado pela revolução nas telecomunicações e o aumento no nível educacional da população foram fatores que fizeram com que a demanda se tornasse mais informada e exigente, valorizando aspectos subjetivos antes deixados em segundo plano. Segundo Clark & Fujimoto (1991), a partir dos anos 1980 as necessidades dos consumidores foram se tornando “(...) cada vez mais imprevisíveis, inarticuladas e holísticas. Essas necessidades se estenderam além da função básica de transporte para o simbolismo social, auto-expressão e entretenimento” (p. 61) [Tradução nossa].

Ao dar preferência a veículos que se encaixassem em seu estilo de vida e seus valores, os consumidores impuseram desafios adicionais para as equipes de desenvolvimento de produto, acostumados a trabalhar com exigências apenas em níveis mais técnicos (e, portanto, mais fáceis de mensurar) como preço e desempenho (CLARK & FUJIMOTO, 1991). Diante desse cenário, as fabricantes começaram a buscar estratégias alternativas à competição via

preços, através principalmente da diferenciação de produto, de modo a obter maior parcela do mercado. Muitas OEMs abandonaram a estratégia de “volume e diversidade” para adotarem a de “inovação e flexibilidade”, reconhecendo que a lucratividade agora estaria mais ligada à qualidade e inovatividade do que ao volume (FREYSSINET, 2009).

Uma das principais mudanças recentes nas expectativas e nos valores dos consumidores diz respeito à crescente preocupação com a economia de combustível e com a poluição causada pela utilização dos automóveis. Em um primeiro momento, os choques no preço do petróleo nos anos 1970 provocaram grandes mudanças na demanda, principalmente nos EUA, onde o consumidor estava acostumado a carros grandes e pouco eficientes, viabilizados pelos baixos preços dos combustíveis (ver Figura 10).

FIGURA 10 – Preço* médio da gasolina nos EUA (1949-2009)**



*Centavos de dólar por galão. Preço real (ajustado pela inflação).

**Dados para Gasolina “Normal com Chumbo” até 1990 e “Normal sem Chumbo” a partir de 1991.

Fonte: U.S. Energy Information Administration (EIA).

O ambiente de incertezas quanto ao preço futuro da gasolina fez com que os consumidores considerassem a economia de combustível como uma variável importante na escolha de um automóvel. Para atender a essa nova demanda, as firmas (principalmente as americanas) passaram a desenvolver automóveis mais econômicos, medida que significou mudanças em termos de *design* externo (carros menores, melhor aerodinâmica, novos materiais) e interno (motores menores e mais eficientes, uso da eletrônica nos motores e sistemas mecânicos). Como mostra a Tabela 5, o típico automóvel leve americano nos anos 1960 e 1970, grande e dotado de motor de oito cilindros, teve muitas de suas características técnicas alteradas durante os anos 1980 em resposta às expectativas da demanda: de 1975 a 1990, o peso médio desses automóveis foi reduzido em 17% e os motores se tornaram bem

mais eficientes, aumentando substancialmente a economia de combustível (54%) e também a potência (43%) graças à introdução de novas tecnologias como os sistemas de injeção eletrônica, por exemplo.

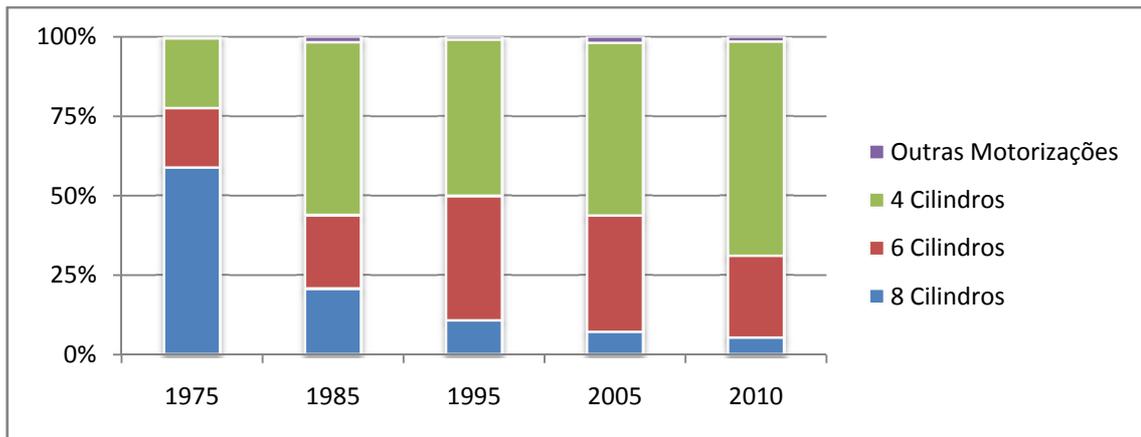
TABELA 5 – Dados de desempenho médio para automóveis leves de oito cilindros produzidos nos EUA (1975-1990)

	1975	1980	1985	1990
<i>Produção (1000 unidades)</i>	4.840	2.169	2.229	812
<i>Peso (lb)</i>	4.732	3.920	3.895	3.947
<i>Velocidade Máxima (milhas por hora)</i>	117	113	118	125
<i>Economia de Combustível (milhas por galão)</i>	10,5	14,7	16,3	16,1
<i>Potência (hp)</i>	105	110	124	150
<i>Potência/Peso</i>	0,030	0,033	0,037	0,043

Fonte: *United States Environmental Protection Agency (EPA).*

No entanto, mesmo com essas mudanças o consumidor americano parece ter associado tais veículos à ineficiência e consumo excessivo de combustível e a produção se reduziu em 83%. Em termos das experiências que o consumidor estava sujeito, dirigir um *gas guzzler*, carro grande e ineficiente, significava estabelecer uma ligação com um passado no qual a conjuntura econômica, social e cultural era diferente ou, em outras palavras, era algo ultrapassado e inapropriado ao contexto da época. Aos poucos, o conceito de produto ideal para o americano médio acabou sofrendo alterações e, percebendo isso, as montadoras americanas passaram a oferecer mais opções de motorização - dentro do conceito de *downsizing* – e os motores de oito cilindros acabaram destinados a preencher nichos específicos do mercado (Figura 11).

Ainda que em menor escala, o aumento no preço do petróleo também afetou outros países, embora os consumidores destes já estivessem acostumados a preços do combustível mais elevados e, portanto, os carros destinados a esses mercados já haviam incorporado sistemas de *powertrain* mais eficientes. Muito do movimento de mudança nos gostos dos americanos também pode ser atribuído, além do aumento do preço do combustível, à entrada dos veículos importados de alguns desses países (Japão e Europa Ocidental) que apresentavam médias de economia de combustível consideravelmente superiores aos dos americanos e possuíam mais tecnologia embarcada por um preço menor.

FIGURA 11 – Produção de carros de passeio por motorização nos EUA

Fonte: Elaboração própria a partir de dados fornecidos pela EPA (*United States Environmental Protection Agency*).

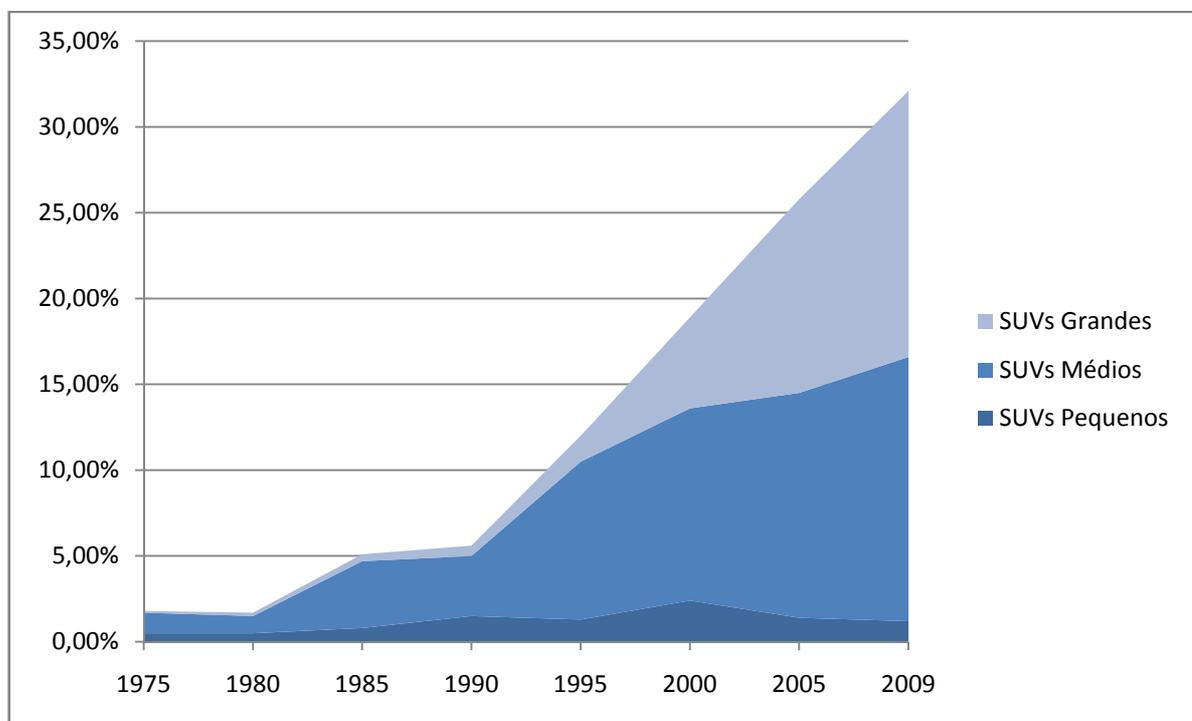
Em um movimento contrário à tendência apresentada na década anterior, os anos 1990 foram marcados por uma nova queda no preço do combustível no mercado americano (Figura 10) que, aliada a um contexto econômico-social de crescimento estável, reduziram a preocupação do consumidor quanto ao consumo de combustível dos seus automóveis, alterando novamente as preferências e percepções do consumidor, que se via atraído nesse momento por atributos como *status*, grandeza e potência (FREYSSINET, 2009).

Diante desse cenário, a classe de produtos que mais representou essa demanda foi a dos SUVs (*sport utility vehicles*) ou utilitários esportivos. Em geral veículos grandes, altos, pesados, potentes e robustos, capazes de percorrer trilhas e subir montanhas, os SUVs podem ser considerados exemplos extremos de um dos três principais paradigmas tecnológicos da indústria automotiva, o de que os veículos devem ser multi-propósito (*multi-purpose vehicles, MPV*) (Ver Seção 3.3.3). Segundo esse paradigma, um automóvel deve ser projetado para atender às mais diversas condições de uso (na cidade, na estrada, em trilhas, cheio, apenas com o motorista, com torque em velocidades pequenas e desenvoltura em velocidades grandes). Os consumidores esperam que os automóveis sejam capazes de realizar viagens longas e confortáveis e transportar toda a família e bagagem. Para isso, a autonomia média dos automóveis a gasolina é de 400 km, sua velocidade máxima é de 160 km/h e eles são projetados para levar em média cinco passageiros. Entretanto, em geral o automóvel – inclusive os SUVs – é utilizado em ciclos urbanos, nos quais a distância média percorrida é de 40 km, a velocidade média é de 50 km/h e a lotação média é de 1,2 passageiros (ORSATO & WELLS, 2006). Nesse caso, qual seria a explicação para a existência de diferenças tão marcantes entre as expectativas da demanda e as condições reais de uso desses automóveis?

Estaria o consumidor dos automóveis sofrendo de irracionalidade quanto às suas decisões de compra?

Na verdade, os principais atrativos desses veículos não são somente suas características técnicas nem seu desempenho enquanto MPV, mas também os aspectos subjetivos como sua capacidade de corresponder aos valores fundamentais dos consumidores que não necessariamente estão ligados a decisões racionais do ponto de vista da utilidade do produto. Num momento de pujança, o SUV se tornou sinônimo de grandeza, ostentação e luxo, além de passar a impressão de ser mais seguro (pelo tamanho, visibilidade ao dirigir) e confortável, características que uma parcela grande dos consumidores considerava fundamentais naquele momento. As montadoras (não apenas americanas, mas também as japonesas e, num momento posterior, as europeias e coreanas) não demoraram em atender essa demanda e passaram a oferecer várias opções de utilitários esportivos para o mercado. Pode-se perceber o impacto dessa mudança na demanda através da Figura 12, que mostra a participação dos SUVs nas vendas de automóveis leves no mercado americano nas duas últimas décadas, que passou de 5,6% em 1990 para 32,1% em 2009. Entre os SUVs grandes, representantes extremos desse segmento, a participação passou de 0,6% para 15,5%.

FIGURA 12 – Participação dos SUVs nas vendas de veículos leves nos EUA

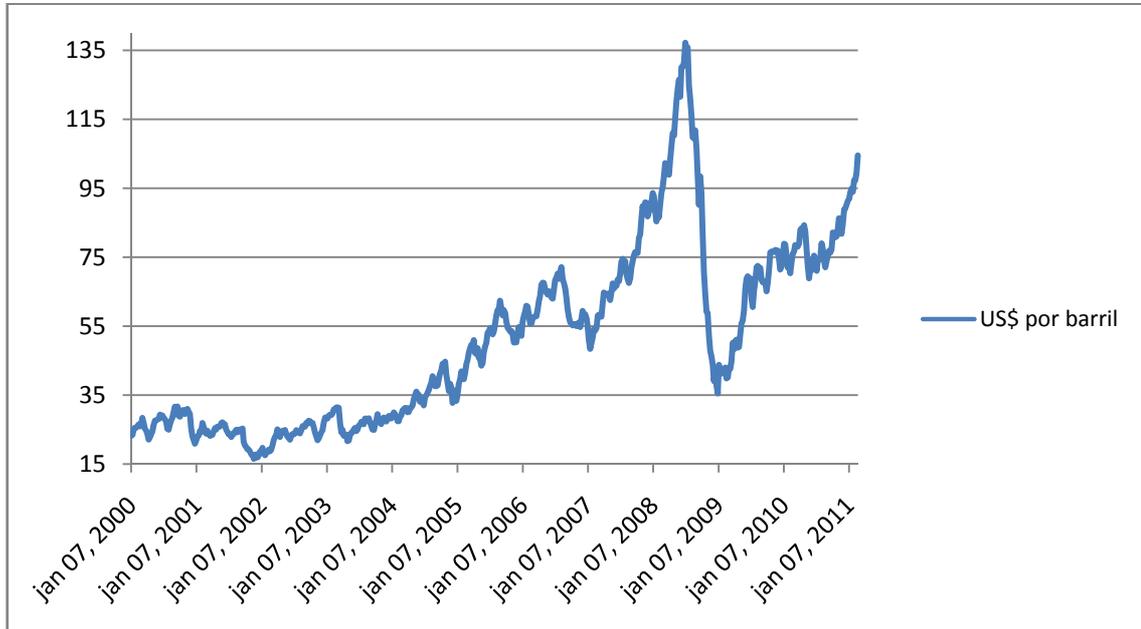


Fonte: Elaboração própria a partir de dados extraídos de Davis *et al.* (2010).

A tendência de aumento contínuo da participação dos SUVs no mercado americano, apresentada na Figura 12, sugere que pouca coisa mudou de 1990 até o momento atual do ponto de vista das preferências e dos valores incorporados às expectativas dos consumidores americanos.

No entanto, principalmente nos últimos dez anos, alguns dos valores fundamentais do consumidor médio, não só nos EUA, mas em todos os principais mercados, têm sofrido importantes mudanças - ainda em curso - que tem impactado diretamente sobre suas expectativas. O crescimento das discussões sobre a questão ambiental, no que diz respeito aos efeitos nocivos para a atmosfera de alguns dos gases emitidos durante a queima de combustíveis fósseis, incorpora às expectativas dos consumidores a preocupação com os níveis de emissões dos automóveis, diretamente ligados com seu consumo. Esse efeito, aliado a novas e intensas variações no preço do petróleo (ver Figura 13), fez com que novamente crescesse a importância de características como economia de combustível e nível de emissões de poluentes reduzido.

FIGURA 13 – Preço do barril de petróleo (*brent*) no mercado internacional (variação semanal)



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da *World Trade Organization* (WTO).

O resultado é que, nos EUA, a produção de carros de passeio com motores de quatro cilindros superou pela primeira vez a de carros com motores maiores (6 e 8 cilindros), como pode ser visto no Gráfico 3. Segundo dados da EPA (*U.S. Environmental Protection Agency*), essa tendência de *downsizing* está ocorrendo mesmo no segmento dos SUVs, no qual a

porcentagem de automóveis com motores de 4 cilindros já alcança 30% (ante 11% em 2000), enquanto aqueles com motores de 8 cilindros agora representam apenas 14% da produção (ante 33% em 2000)³⁶. Uma tendência comum observada em todos os segmentos, mas principalmente entre os SUVs, é a do aumento da eficiência dos motores: a potência média aumentou consideravelmente, mas também aumentou a economia de combustível³⁷ desses automóveis (Tabela 6), um *trade-off* que era considerado impossível de se resolver a apenas algumas décadas.

TABELA 6 – Variação no desempenho e economia de combustível para carros de passeio e SUVs produzidos nos EUA

	Economia de Combustível*			Potência (hp)		
	2000	2010	Var (%)	2000	2010	Var (%)
SUVs						
8 cilindros	14,5	16,2	12%	243	348	43%
6 cilindros	16,9	19,8	17%	187	259	38%
4 cilindros	20,9	23,9	14%	137	180	31%
<i>Média</i>	17,4	19,9	14%	189	262	39%
Automóveis Leves						
8 cilindros	19,2	19,0	-1%	277	365	32%
6 cilindros	21,5	21,9	2%	189	261	38%
4 cilindros	25,2	28,6	14%	130	152	16%
<i>Média</i>	22,0	23,2	6%	199	259	30%

*Em milhas por galão.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da EPA.

Em segundo lugar, a demanda tem demonstrado interesse em veículos que utilizam combustíveis renováveis e/ou formas de propulsão alternativas como forma de desviar das variações dos combustíveis fósseis e reduzir o impacto ambiental dos automóveis. Segundo dados da EIA e do U.S. *Department of Energy* (DOE), o número de veículos movidos a E85 (combustível que mistura 85% de etanol e 15% de gasolina comum) aumentou 55% de 1995 a 2008, chegando a um total de mais de 450 mil veículos em utilização³⁸, embora esse número ainda represente apenas pouco mais de 1% da frota total e esteja concentrado basicamente no

³⁶ A proporção de automóveis com motores de 6 cilindros permaneceu estável nesse período (56% de participação na produção).

³⁷ Segundo o NRC (2010a), economia de combustível pode ser descrita como a distância (Km, Milhas) que um veículo pode percorrer com um determinado volume de combustível (um litro, um galão), enquanto consumo de combustível é o contrário: quanto combustível é gasto para percorrer uma determinada distância. Apesar de aparentemente serem apenas relações inversas das mesmas variáveis, existe uma importante diferença entre as duas: o consumidor é mais sensível a variações no consumo do que na economia de combustível.

³⁸ Embora, segundo a EIA, esse número possa chegar a 7.1 milhões de veículos se forem considerados os veículos que não são vendidos como veículos movidos a E85, mas que possuem a capacidade de rodar com esse combustível.

Estado da Califórnia. Alguns dos fatores que impedem o aumento do consumo de veículos movidos a esse combustível são o seu preço, a oferta de etanol e o número de postos de abastecimento. Em linhas gerais, o preço do galão de E85 tem se situado entre 60 e 90 centavos de dólar acima do preço da gasolina comum. Além disso, o E85 oferece uma autonomia menor do que a gasolina comum. Adicionalmente, dos mais de 162 mil postos de abastecimento, apenas 1.928 oferecem o E85 e o etanol produzido nos EUA só é viável para comercialização se for subsidiado pelo governo (U.S. DOE, 2009).

Em alguns outros países os combustíveis alternativos têm tido maior êxito em substituir a gasolina comum. Na Europa Ocidental, por exemplo, a opção principal é o diesel: o motor à diesel, embora geralmente³⁹ alimentado por um derivado do petróleo – e, portanto, sujeito às mesmas flutuações em seu preço - oferece economia de combustível consideravelmente superior à do motor a gasolina. Suas principais desvantagens, o nível de ruído e a maior emissão de poluentes, têm sido neutralizadas graças à utilização de novas tecnologias que atendem às rígidas normas européias (Ver Seção 3.3.4). A combinação de custos reduzidos (devido à maior autonomia), infra-estrutura de abastecimento e grande oferta de modelos no mercado fizeram com que, na Europa ocidental, a proporção de veículos leves movidos a diesel chegasse a 50% do total em 2010⁴⁰, passando de 70% em países como França, Espanha, Noruega e Bélgica.

O Brasil também é um dos exemplos de adoção bem sucedida de um combustível alternativo graças ao desenvolvimento da tecnologia *flex-fuel*, pela qual os automóveis podem ser abastecidos com qualquer mistura de etanol e gasolina. Segundo dados da ANFAVEA (2010), a proporção de vendas de automóveis leves com essa tecnologia chegou a 84% do total em 2009. Ainda que existam problemas a serem resolvidos, como a manutenção de estoques regulares de etanol durante a entressafra e a melhoria da economia de combustível desses motores, a adoção da tecnologia *flex*, aliada ao baixo preço relativo do etanol e a um sistema de abastecimento uniforme e abrangente iniciado ainda nos anos 1970 graças a incentivos governamentais, fez com que o etanol se tornasse o combustível mais consumido no país, superando a produção de gasolina em 20%, como apresentado na Figura 14.

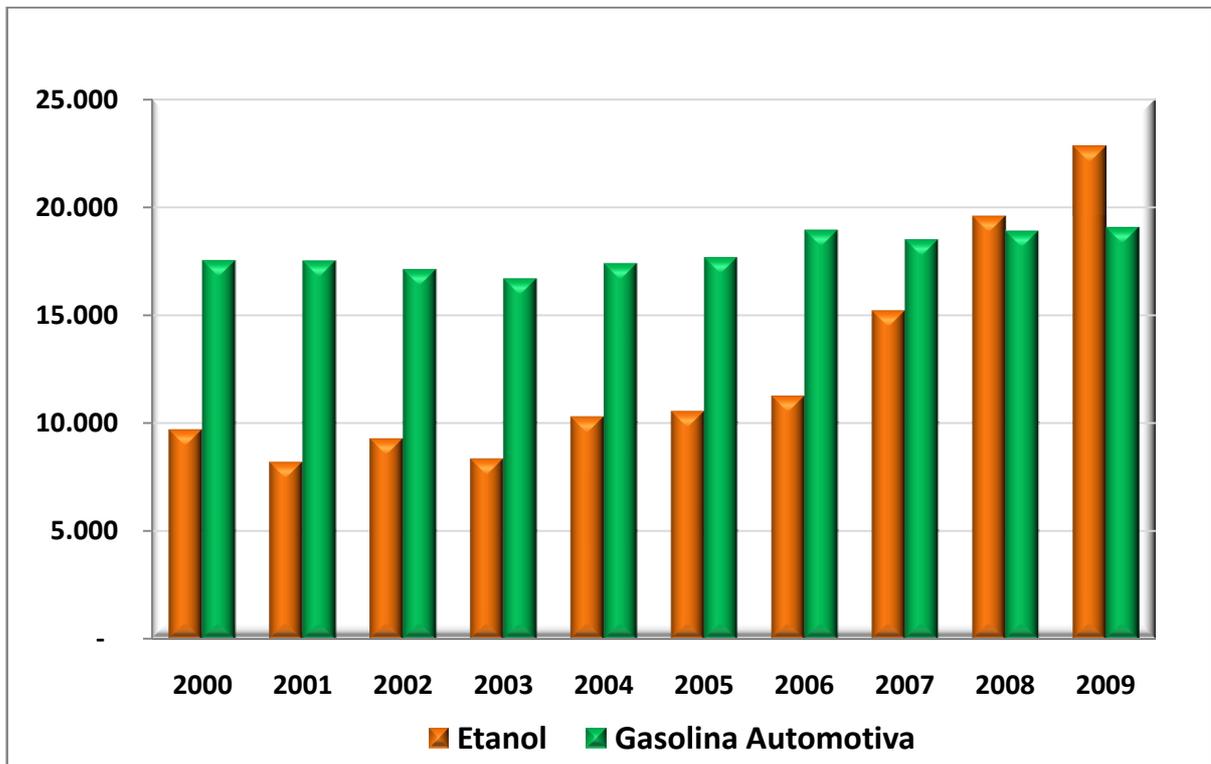
Em um esforço alternativo, os países da Tríade vêm tentando oferecer alternativas não só em combustíveis, mas também em *powertrain*, dentre os quais os mais promissores no

³⁹ Existem esforços por parte de vários países para aumentar a utilização do biodiesel, combustível obtido através de fontes renováveis que substitui o diesel derivado de petróleo.

⁴⁰ De Janeiro a Agosto de 2010. Fonte: ACEA – *European Automobile Manufacturers Association*.

médio prazo são os veículos híbridos (movidos a motores elétricos e à combustão) e elétricos (movidos a motores elétricos) (Ver Seção 3.3.3). Segundo relatório da JD Power (2010), foram vendidos no mundo todo 728.215 veículos híbridos e 3.517 veículos elétricos em 2009, que representaram, respectivamente, 1,7% e 0,01% das vendas totais de carros de passeio⁴¹.

FIGURA 14 – Vendas de etanol* e gasolina no Brasil – 2000-2009 (em 1.000 m³)**



*Inclui as vendas de etanol hidratado e anidro misturado na gasolina C.

**Inclui apenas a gasolina A. Exclui o etanol anidro misturado à gasolina C.

Fonte: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP/SPP).

Apesar de serem números modestos, a concentração de veículos híbridos em alguns países já é significativa: no Japão, a porcentagem de carros de passeio híbridos chegou a 9% do total em 2009. Nos EUA, esse valor chega a quase 3%, o que, dado o tamanho e número de segmentos no país, é um indicador positivo da representatividade desses veículos e do potencial de crescimento do segmento. Basta lembrar que, no início dos anos 1990, os SUVs representavam apenas 5% das vendas, passando para 32% em menos de vinte anos. A título de comparação, o número de veículos híbridos vendidos nos EUA (291.659 unidades) foi maior que o número de automóveis de passeio de oito cilindros – símbolo do “carro americano” até os anos 1980 - produzidos no país (228.266 unidades) em 2009. Além disso, sete grandes montadoras (Chrysler, Ford, GM, Honda, Mazda, Nissan e Toyota) ofereceram

⁴¹ Segundo a JD Power (2010), as estimativas são de que essas proporções aumentem para 5,5% e 1,85%, respectivamente, em 2020. Chamam atenção também as projeções de participação de veículos híbridos no mercado americano e japonês para esse período (9,6% e 20,9%, respectivamente).

17 variedades de veículos híbridos no país em 2009. É interessante notar que, dentre esses 17 automóveis, 10 são SUVs, sendo seis classificados como LEV (*low emission vehicle*), dois como ULEV (*ultra low emission vehicle*) e dois como SULEV (*super ultra low emission vehicle*) (U.S. DOE, 2010). Ao produzirem SUVs híbridos, as montadoras americanas e japonesas atendem duas das principais expectativas e valores do consumidor americano que, em uma primeira análise, seriam opostos: incorporam a preocupação quanto à economia de combustível e o meio ambiente sem abrir mão das características de um SUV, por definição um veículo grande, potente e luxuoso.

Indo além dos países da Tríade, a China tem realizado esforços para o desenvolvimento de veículos híbridos e elétricos pelas montadoras locais, através de programas governamentais como o *Automotive Readjustment and Revitalization Plan* lançado em 2009 (TANG, 2009; ROLAND BERGER, 2009) e dos planos do governo de investir US\$ 15 bilhões para ajudar essas montadoras a vender ao menos 20 milhões de carros limpos e eficientes até 2020 no país. Empresas como a BYD desenvolvem projetos avançados de veículos híbridos e elétricos, utilizando para isso seus próprios laboratórios de P&D, além da base de conhecimentos acumulada sobre baterias e seus componentes, advinda da “(...) experiência de seu conglomerado – a BYD é subsidiária de um dos maiores fabricantes de baterias do mundo – e [d]o elevado *market-share* chinês no mercado global de baterias de *lithium-ion*” [Tradução nossa] (CARVALHO *et al.*, 2010, p.17), além de desenvolver parcerias para o desenvolvimento de veículos elétricos com grandes grupos como a Daimler AG. Como resultado, a venda de carros elétricos no mercado chinês passou de praticamente zero em 2009 para mais de 5 mil unidades em 2010, enquanto a de carros híbridos praticamente dobrou, passando de 1.883 para mais de 3.700 unidades (JD POWER, 2010). Em termos absolutos, no entanto, esses veículos ainda representam menos de 1% do total vendido no país.

Portanto, percebe-se que os carros “limpos” e eficientes vêm ganhando espaço e interesse por parte da demanda, que sinaliza incorporar cada vez mais o “ecologicamente correto” e a economia de combustível entre seus valores e expectativas fundamentais. Dessa forma, estar na vanguarda da tecnologia hoje significa possuir pelo menos algum projeto, conceito ou veículo em fase de produção que utilize alguma das tecnologias alternativas, sejam veículos híbridos, elétricos, movidos a etanol ou célula de combustível, ou ao menos investir em tecnologias que possam tornar o motor à combustão tradicional mais eficiente e menos poluente. Mais que isso, as marcas precisam passar aos clientes a imagem de “verdes”,

promovendo seus carros “limpos” para que o consumidor as associe com a preocupação com o meio ambiente, fazendo com que os automóveis da marca – mesmo os “tradicionais” – correspondam ao estilo de vida dos consumidores e incorporem seus valores fundamentais. É possível dizer que as montadoras travam uma batalha para serem os “reis verdes”, assim como aconteceu com os *muscle cars* nos anos 70 e SUVs nos anos 90 (NRC, 2010a).

Ao mesmo tempo em que a demanda estimula os fabricantes a oferecer novas tecnologias – de combustíveis ou de formas de propulsão - através da mudança nos valores, ela impõe barreiras à comercialização dos veículos limpos devido à inércia quanto aos seus hábitos de consumo. Em outras palavras, verifica-se que os valores dos consumidores estão mudando, mas seus hábitos de consumo ainda não acompanharam essa mudança. Nesse sentido, é preciso quebrar o status quo da demanda, que ainda não recebe estímulos suficientes para abrir mão dos carros “tradicionais” em função dos carros “limpos”.

Dentre os principais fatores que impedem a mudança nos hábitos dos consumidores estão as características (desempenho, preço, economia de combustível) dos veículos limpos que, quando comparadas às dos veículos tradicionais, parecem não oferecer vantagens significativas ao consumidor. De fato, um veículo híbrido pode custar de 25% a 100% mais do que o seu equivalente tradicional, devido ao alto preço das baterias de NiMH (*Nickel-Metal Hydride*) ou Li-Ion (*Lithium-ion*) e ao custo das tecnologias empregadas. Mais que isso, a economia de combustível que esses veículos oferecem não condiz com seu preço. Do ponto de vista dos custos, os carros tradicionais compensam seu consumo mais elevado graças ao seu preço bastante reduzido.

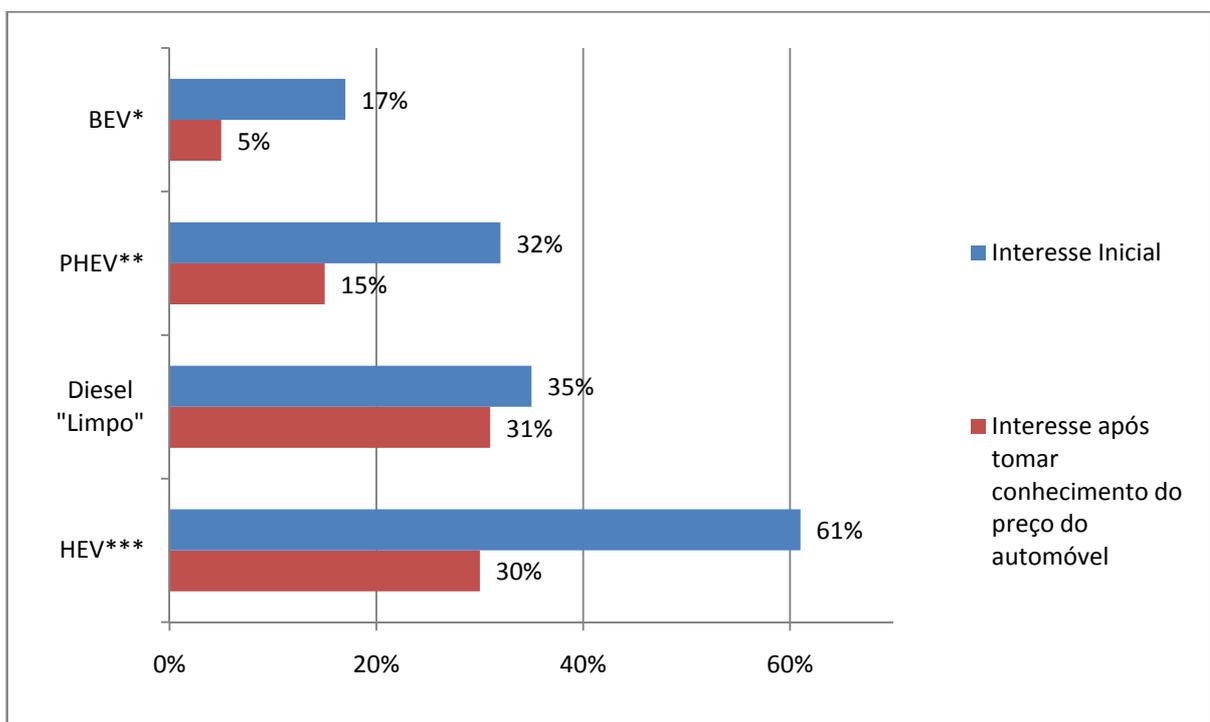
Também está associada a essa inércia a rotina dos consumidores, muitos dos quais terão que se preocupar com fatores ligados às baterias como nível de carga, onde e quando recarregá-las, o tempo de espera durante esse processo e sua durabilidade. Por último, a falta de infra-estrutura e o status de tecnologia “ainda em desenvolvimento” faz com que os consumidores – mesmo aqueles efetivamente dispostos a adquirir tais veículos - adiem sua decisão de compra, esperando que estas questões sejam resolvidas em breve (JD POWER, 2010).

Nesse sentido, os países em desenvolvimento levam alguma vantagem sobre os países da Tríade. Dentre os compradores de carros na China, 80% nunca possuíram um automóvel (JD POWER, 2010) e não estão acostumados com as rotinas associadas à utilização de carros movidos à gasolina. Além disso, a proporção de veículos para cada mil pessoas é de 35,7 na

China, 13,2 na Índia e 140 no Brasil, bem abaixo do valor para a Europa Ocidental (593,2) e para os EUA (841,7) (U.S. DOT, 2008). Portanto, desse ponto de vista, a introdução de veículos com propulsão alternativa nesses países teria um custo menor, aproveitando o crescimento natural da demanda.

Até o momento, os consumidores que se dispuseram a adquirir veículos limpos tiveram que pagar um “prêmio” na forma de preços altos e dificuldades de adaptação, podendo ser considerados os *consumidores experimentais*, de acordo com a metodologia de Malerba (2003). Segundo pesquisa realizada pela JD Power (2010), o interesse do consumidor comum – ou *mainstream* - se reduz consideravelmente quando o mesmo é informado que existe um *price premium* que pode aumentar o preço do automóvel em até US\$ 15 mil, comparado com seus similares “convencionais”. Como se pode ver na Figura 15, a disposição em adquirir um veículo híbrido se reduz de 61% para 30%, e no caso dos veículos elétricos, de 17% para 5%, quando a demanda é informada sobre esse prêmio a pagar por adquirir um veículo alternativo.

FIGURA 15 – Interesse do consumidor em veículos com propulsão alternativa



**Battery Electric Vehicles* – Veículos exclusivamente elétricos.

***Plug-in Hybrid Electric Vehicles* – Veículos híbridos com alimentação de bateria do tipo *plug-in*.

****Hybrid Electric Vehicles* – Veículos híbridos.

Fonte: JD Power (2010).

Dadas essas características da demanda, os atores (montadoras, governos, organizações) se deparam com duas linhas de ação: a primeira é a de tentar quebrar a inércia oferecendo veículos limpos com vantagens cada vez maiores que as dos veículos tradicionais, que possam servir como estímulos para que a demanda altere suas rotinas; a segunda é investindo em tecnologias que façam com que o consumidor não tenha que mudar seus hábitos de consumo nem suas rotinas, como acontece com os veículos de passeio movidos a diesel na Europa e etanol no Brasil. Nessas duas regiões, os consumidores não precisaram alterar seus hábitos de consumo nem houve incerteza quanto à infra-estrutura de abastecimento e manutenção⁴². A tecnologia empregada é relativamente simples (comparada com a tecnologia dos veículos híbridos e elétricos) e a estrutura do veículo (em termos dos sistemas que compõem o *powertrain*) é similar à dos motores à combustão interna convencionais⁴³. Como consequência, esses veículos foram bem aceitos pela demanda⁴⁴.

Em ambos os casos, reduzir a resistência da demanda quanto aos carros limpos só será possível com inovações – incrementais e radicais – de produto, que reduzam preços ou substituam materiais e tecnologias hoje demasiadamente caras, e também de processo, que reduzam os custos de produção. Adicionalmente, serão necessários investimentos em infra-estrutura de abastecimento e manutenção, além de soluções para que a rotina dos consumidores seja alterada o mínimo possível.

Pode-se concluir que a demanda evolui gradualmente, alterando consigo a trajetória tecnológica das firmas através da manifestação de suas preferências nas decisões de consumo, que estimulam o desenvolvimento de produtos novos ou modificados. Aquilo que os consumidores definem como o produto de desempenho “ideal” pode mudar com o tempo devido a mudanças no ambiente econômico, social e cultural. Em sentido contrário, as alterações nas estratégias das firmas também podem influenciar a demanda, como na introdução de novos segmentos de mercado ou de novas tecnologias incorporadas aos veículos, primeiro atingindo os consumidores experimentais e depois se difundindo pelos diferentes nichos de mercado.

⁴² Os veículos movidos a etanol já eram utilizados no Brasil desde os anos 1970 e sua tecnologia era bem conhecida. Existe também uma grande área destinada para o plantio da cana-de-açúcar, matéria-prima do etanol no Brasil.

⁴³ Em contrapartida, tais tecnologias são vistas como soluções “temporárias”, pois suas capacidades de redução dos efeitos nocivos ao meio ambiente e do consumo de combustível são limitadas.

⁴⁴ Nos EUA, ao contrário, o diesel ainda é associado a caminhões pesados, lentos e poluentes e o etanol não é tão conhecido pelos consumidores (JD POWER, 2010).

De um modo geral, nosso estudo acredita que uma das principais evoluções na demanda na última década foi a mudança em seus gostos e valores devido, entre outros motivos, às preocupações com o meio ambiente e aumento do preço dos combustíveis. Essa mudança tem alterado as estratégias de desenvolvimento de produto das firmas, bem como as preferências funcionais da demanda e também as instituições políticas (leis, normas, regulações), que têm como principal função proteger os interesses da sociedade.

Para o Sistema Setorial de Inovação do setor automotivo, essa mudança significa que os consumidores estão demandando novos produtos, que incorporem novas tecnologias e conceitos a preços acessíveis, em um ritmo intenso e contínuo. Para atender a essa demanda, as firmas não só precisam realizar inovações incrementais nos motores à combustão, mas também inovações que podem alterar o conceito de produto significativamente, como no caso das novas formas de propulsão. É preciso também entender e atender as expectativas de um número cada vez maior de segmentos, distribuídos por um número cada vez maior de regiões. A próxima seção se ocupa da forma como o conhecimento e as tecnologias estão sendo utilizados para que as firmas consigam atender às mudanças na demanda.

3.3.3 – O Regime Tecnológico e a Base de Conhecimentos

A presente seção tem como objetivo discutir as principais mudanças recentes nas características do conhecimento e das tecnologias utilizadas nos processos inovativos do setor automotivo, em termos do regime tecnológico e base de conhecimentos, e suas consequências para o sistema de inovação automotivo.

O setor automotivo é extremamente complexo e articulado, envolvendo não só as firmas envolvidas na cadeia de valor da fabricação de automóveis, mas também as de infraestrutura relacionada à sua utilização, abastecimento e descarte, sendo que é possível falar de um regime tecnológico e de uma base de conhecimentos específica para as inovações do setor automotivo.

Como visto no Capítulo 1, um regime tecnológico é formado por um conjunto de trajetórias naturais (NELSON & WINTER, 1982; POSSAS, 1988), que por sua vez são as direções em que o desenvolvimento tecnológico avança ao longo do tempo, condicionado por aspectos estruturais como as preferências do mercado, o conhecimento e as capacitações *path-dependents* das empresas, o *design* dominante e as expectativas de lucro e as normas regulatórias (Ver Seção 3.3.4).

O regime tecnológico do setor automotivo é composto por trajetórias de desenvolvimento tecnológico que fazem com que as atividades inovativas sejam “*seletivas, focalizadas* em direções muito precisas e *cumulativas* na aquisição de capacitações para a solução de problemas” (DOSI, 1988, p.9). Segundo Orsato & Wells (2006), tradicionalmente tais trajetórias são determinadas por três diferentes características – ou também *core technologies* - do automóvel: o monocoque de aço, os motores à combustão interna e a natureza multi-propósito dos veículos (*multi-purpose vehicles*). Do ponto de vista da base de conhecimentos, essas características determinariam os padrões de desenvolvimento incrementais das tecnologias aplicadas aos automóveis e, portanto, as direções em que o progresso técnico avança ao longo do tempo.

O motor a combustão interna é a tecnologia principal (*core technology*) utilizada no automóvel, embora nos primeiros anos esta fosse apenas uma entre outras tecnologias de propulsão possíveis, como o motor elétrico e a vapor. A predominância do motor a combustão está ligada a fatores técnicos e econômicos: em comparação com os elétricos e a vapor, os carros movidos a combustíveis derivados de petróleo (gasolina e diesel) eram mais potentes e possibilitavam maior autonomia. Estes combustíveis também eram significativamente mais baratos e abundantes, pois a indústria petrolífera já havia se desenvolvido em função da produção de querosene para iluminação residencial – que estava sendo substituído rapidamente pelas lâmpadas elétricas. As indústrias automotiva e petrolífera se tornaram cada vez mais interdependentes desde então (ORSATO & WELLS, 2006).

Portanto, desde o início do século XX até meados da década de 2000, os processos inovativos destinados a melhorar os atributos de desempenho dos automóveis – autonomia, potência, nível de ruído, etc. – passavam obrigatoriamente pelo aprimoramento do motor à combustão interna. Desta forma, foram se constituindo os diversos sistemas que o compõem, como o de injeção de combustível, resfriamento do motor, lubrificação, exaustão, transmissão etc. A estrutura do automóvel é determinada em função dessa configuração de propulsão, como a distribuição de peso e a organização dos componentes (motor, sistema de refrigeração, tanque de combustível, habitáculo, rodas, porta-malas, sistema de transmissão).

O monocoque de aço, segunda característica intrínseca dos automóveis modernos, surgiu como uma resposta a um gargalo tecnológico do início da produção de automóveis: a construção do “corpo” do automóvel era custosa e demorada, devido ao número de partes e materiais utilizados. A integração do corpo em um monocoque de aço permitiu trabalhar

melhor o *design* e reduziu custos e tempo de produção dos automóveis (NIEUWENHUIS & WELLS, 2007), criando vantagens para consumidores e fabricantes. A introdução dessa tecnologia definiu a forma como são organizados os processos produtivos das OEMs, exigindo destas pesados investimentos em bens de capital destinados a produzir tais monocoques, como prensas e soldadores automatizados de grande escala.

Por último, o automóvel é projetado para ser multi-propósito, ou seja, deve possuir atributos que permitam sua utilização tanto em ciclos urbanos como para longas viagens, em diversas condições de rodagem e lotação. Essa configuração proporciona vantagens para fabricantes e consumidores. Para os primeiros, permite a um mesmo automóvel atender uma parcela maior da demanda, reduzindo a necessidade de uma gama muito extensa de veículos para diferentes demandas, uma importante vantagem para uma indústria dependente da produção de veículos em larga escala. Para os últimos, permite que um mesmo automóvel sirva para diversas condições de uso com que ele possa eventualmente se deparar. Esse caráter multi-propósito gera restrições ao desenvolvimento das tecnologias aplicadas ao automóvel. Dessa forma, por exemplo, os carros de dois lugares ficam restritos a nichos de mercado como os esportivos, destinados a consumidores que não necessariamente desejam um carro para o transporte da família (estes consumidores, em geral, possuem outro automóvel que cumpre essa função).

Na visão de Dosi (1988) (Ver Capítulo 1), um processo inovativo envolve a solução de determinados problemas, utilizando um *artefato* (o automóvel), heurísticas (o quê melhorar, como melhorar) e *trade-offs* (qual a melhor forma de melhorar, vantagens e desvantagens). Nesse sentido, a resolução desses problemas ou ainda a trajetória de aperfeiçoamentos tecnológicos no setor automotivo deve levar em consideração essas três características ou *core technologies*. Por exemplo, ao se depararem com a necessidade de aumentar a aceleração dos automóveis (problema), os engenheiros pensariam em soluções tendo como tecnologia-base o motor à combustão interna, ou seja, eles pensariam em alguma forma de melhorar a potência ou a relação de marchas do motor à combustão, e não em encontrar formas alternativas de propulsão que pudessem oferecer aceleração maior, como a elétrica.

Outro ponto importante diz respeito à base de conhecimentos do setor utilizada em seus processos de mudança tecnológica. Como foi apresentado ao longo dos capítulos anteriores, o conhecimento utilizado nos processos inovativos possui características que permitem agrupá-lo de acordo com o regime tecnológico do qual ele faz parte, como o nível

de apropriabilidade, cumulatividade, oportunidade e a natureza do conhecimento (tácito ou codificado).

Segundo Breschi & Malerba (1997), a base de conhecimentos do setor automotivo é tradicionalmente caracterizada por altos níveis de apropriabilidade e cumulatividade do conhecimento e níveis médios de oportunidades tecnológicas, além de utilizar conhecimentos de diversas áreas. As atividades inovativas do setor envolveriam uma coordenação sistêmica de elementos tácitos (de difícil reprodução) e codificados (de reprodução fácil), exigindo grandes capacitações das firmas para lidar com os sistemas complexos de desenvolvimento de produto. Essa exigência é, por si, a fonte de apropriabilidade das firmas, pois poucas conseguem cumpri-la. Além disso, haveria alto grau de cumulatividade devido ao fato de que os conhecimentos presentes, utilizados nas inovações adotadas, dependerem de conhecimentos passados, pois, em sua maioria, as inovações se tratam de melhorias incrementais das tecnologias já existentes. Esse fato também faz com que haja oportunidades médias de inovação, restritas ao potencial de melhoria das tecnologias já existentes, que são relativamente maduras.

As (poucas) firmas inovadoras são grandes e se aproveitam de economias de escala e do alto grau de cumulatividade e apropriabilidade do setor, e se distribuiriam em vários graus de concentração geográfica. Mesmo contando com algumas fontes de conhecimento genéricas, obtidas à distância, as fronteiras espaciais do conhecimento seriam basicamente locais devido ao seu importante caráter tácito, que exige proximidade entre os agentes envolvidos.

Nos últimos vinte anos, o regime tecnológico vem passando por mudanças ligadas à introdução das tecnologias ligadas à microeletrônica e *software* e, mais recentemente, às novas tecnologias que permitem reduzir o impacto ambiental da utilização dos automóveis, notadamente as de propulsão.

Em primeiro lugar, as tecnologias ligadas ao paradigma da microeletrônica começaram a ser introduzidas no automóvel ainda nos anos 80, embora apenas nos últimos anos esse processo tenha se intensificado, com a introdução dos sistemas de gerenciamento eletrônico do *powertrain*, direção elétrica, controle de estabilidade, sistemas de navegação e, recentemente, sistemas de segurança que assumem o controle do automóvel em situações de risco como uma batida eminente. A eletrônica “embarcada” ajuda a solucionar diversos problemas dos automóveis – como os relacionados à segurança à eficiência dos motores - e

cria novas áreas de desenvolvimento de inovações, como as relacionadas ao entretenimento à bordo, navegação automática, sistemas de segurança “inteligentes”, entre outros.

Em segundo lugar, a pressão do ambiente (econômico, social, cultural e normativo) em que as firmas do setor automotivo se encontram inseridas se dá, principalmente, no sentido de demandar automóveis mais eficientes e menos poluentes. Os problemas pelos quais os engenheiros se deparam ao desenvolver novos produtos, agora se relacionam - principalmente - a *como desenvolver automóveis mais eficientes e limpos*. Esses problemas envolvem heurísticas como quais inovações poderiam aumentar a economia de combustível e reduzir o nível de emissão de poluentes sem alterar as principais características do automóvel como potência, preço e apelo junto aos consumidores. A resolução desses problemas envolve uma série de *trade-offs* cujo resultado, muitas vezes, é uma incógnita, pois envolve escolhas sobre o desenvolvimento de tecnologias cujas características técnicas, comportamento da demanda e da infra-estrutura de apoio no futuro são extremamente difíceis de prever. A seguir será desenvolvida uma discussão sobre essas tecnologias.

O principal *trade-off* com que as firmas do setor se deparam no momento está relacionado com a tecnologia de propulsão na qual elas devem investir para solucionar o problema apresentado. As alternativas são: 1) continuar desenvolvendo inovações incrementais para as atuais tecnologias de propulsão à combustão interna (diesel e gasolina/etanol) que as tornem mais eficientes; 2) buscar formas alternativas de propulsão, como a elétrica e à célula de hidrogênio 3) investir em soluções mistas, mesclando duas ou mais formas de propulsão, como os veículos híbridos. Além disso, existem ainda tecnologias que podem ser adotadas independentemente da forma de propulsão escolhida, como as relacionadas à substituição de sistemas mecânicos por sistemas eletrônicos e também novos materiais utilizados.

A Tabela 7 apresenta as principais tecnologias em desenvolvimento, seu potencial estimado de redução do consumo de combustível e seus respectivos custos de implementação estimados. Percebe-se que as tecnologias que proporcionam maior redução no consumo (reduções significativas da massa, sistemas de propulsão alternativos) são aqueles que possuem maiores custos de implementação e exigem mais conhecimentos de diferentes áreas. Para reduzir a massa, por exemplo, será necessária a utilização de novos materiais e estruturas, o que exige investimentos em P&D e absorção de conhecimentos de outros setores

(fornecedores de materiais, indústria química, etc.). Cada uma das alternativas tecnológicas envolvidas no *trade-off* apresenta vantagens e desvantagens, que serão apresentadas abaixo.

A primeira alternativa tecnológica que as OEMs dispõem para aumentar a eficiência de seus automóveis é continuar aprimorando os motores à combustão interna através de inovações incrementais. Um dos principais problemas do motor à combustão é a sua ineficiência energética – apenas um quarto da energia contida no combustível é transformado em movimento mecânico, o resto é “desperdiçado” indo para o exaustor e para o sistema de refrigeração, dado que o motor é construído para funcionar em diferentes faixas de torque e velocidade, e não na faixa de torque e velocidade ideal. Os avanços nas tecnologias dos motores à combustão têm focado em eliminar esse “desperdício” através da redução de fricções, aumento da eficiência da combustão através de controle das válvulas, eficiência termal com a redução da perda de energia destinada a gerar calor, avanços na arquitetura e estrutura do motor e em sistemas relacionados como o de transmissão e ignição (NRC, 2010a). Grande parte dessas novas tecnologias refere-se à introdução da microeletrônica avançada substituindo sistemas mecânicos ou aprimorando sistemas eletrônicos antigos, além dos avanços em novos materiais mais leves e/ou resistentes.

Exemplos de tecnologias de redução de fricções são lubrificantes de baixa viscosidade e utilização de materiais e fluídos que impeçam a fricção nos pistões. Quanto à mitigação das perdas na queima do combustível, existem tecnologias de modulação do movimento das válvulas, de controle da injeção de combustível e ar no cilindro (como o comando de válvulas variável) e os sistemas de recirculação de gás do exaustor. A desativação de cilindros para motores de 6 ou mais cilindros e a injeção direta de gasolina são eficientes tecnologias redutoras de perdas de energia por calor. O *downsizing* – redução no tamanho do bloco do motor – e o *turbocharging* – utilização de uma turbina para enriquecer a mistura ar/combustível – são exemplos de mudanças na arquitetura do motor que permitem maior eficiência energética. Quanto aos sistemas de ignição, a principal inovação é o sistema *start-stop* que desliga o veículo em situações de imobilidade como engarrafamentos e o religa automaticamente ao se pisar no acelerador, sendo particularmente importante nos ciclos urbanos nas grandes metrópoles.

TABELA 7– Comparação entre diferentes tecnologias automotivas – redução no consumo de combustível e custo incremental de implementação

Tecnologia	Redução média no consumo de combustível (%)*			Custo incremental de implementação (2008 US\$/veículo)*		
	I4	V6	V8	I4	V6	V8
<i>Redução da fricção no motor</i>	0,5	0,5	0,5	42,0	63,0	84,0
<i>Desativação de cilindros</i>	-	5,0	7,5	-	370,0	388,5
<i>Comando de válvulas variável (VVT - DCP)</i>	2,0	2,3	2,3	35,0	70,0	70,0
<i>DVVL - Discrete Variable Valve Lift</i>	2,3	2,5	3,0	145,0	200,0	280,0
<i>CVVL - Continuously Variable Valve Lift</i>	4,8	5,0	5,3	182,0	300,0	370,0
<i>Injeção direta de gasolina (GDI)</i>	2,3	2,3	2,3	156,0	213,0	323,0
<i>Turbocharging e downsizing</i>	3,5	5,0	5,0	430,0	N/A	658,0
<i>Direção Elétrica</i>	2,0	2,0	2,0	95,0	95,0	95,0
<i>Transmissão do tipo CVT</i>	4,0	4,0	4,0	160,0	253,0	253,0
<i>Transmissão de 6/7 marchas DCT***</i>	7,5	7,5	7,5	193,0	193,0	193,0
<i>Redução da massa total em 1%</i>	0,3	0,3	0,3	41,0	53,0	75,0
<i>Redução da massa total em 5%</i>	3,3	3,3	3,3	239,0	311,0	439,0
<i>Redução da massa total em 10%</i>	6,5	6,5	6,5	572,0	747,0	1054,0
<i>Redução da massa total em 20%</i>	12,0	12,0	12,0	1650,0	1700,0	1750,0
<i>Pneus de baixa resistência à rolagem</i>	2,0	2,0	2,0	35,0	35,0	35,0
<i>Redução do arrasto aerodinâmico</i>	1,5	1,5	1,5	45,0	45,0	45,0
Formas de propulsão alternativas						
<i>Célula de combustível movida a hidrogênio</i>	100,00	100,00	100,00	N/A	N/A	N/A
<i>Elétrico</i>	100,0	100,0	100,0	N/A	N/A	N/A
<i>Diesel</i>	25,0	25,0	-	2393,0	3174,0	-
<i>Diesel Avançado</i>	10,0**	10,0**	30,0	520,0**	683,0**	3903,0
<i>Híbrido - 12v BAS Micro-hybrid</i>	3,0	3,0	3,0	500,0	650,0	800,0
<i>Híbrido - Integrated Starter Generator</i>	34,0	34,0	34,0	2200,0	2500,0	4000,0
<i>Híbrido - Power Split</i>	37,0	37,0	37,0	3385,0	3900,0	5000,0
<i>Híbrido - 2-mode</i>	35,0	35,0	35,0	6500,0	6500,0	6500,0
<i>Híbrido - Plug-in</i>	N/A	N/A	N/A	10000,0	12000,0	17000,0

Notas: *em relação a motores a gasolina convencionais. **em relação a motores a diesel convencionais. ***em relação a veículos dotados de transmissão automática de 4 marchas.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de NRC (2010a).

Os motores a diesel são alternativas mais eficientes aos motores a gasolina, por utilizar misturas mais ricas e heterogêneas no processo de combustão e guardarem maior potencial de desenvolvimento de tecnologias incrementais. Esses motores desenvolvem maior torque e tem menor perda energética quando comparados a motores de tamanho similar movidos à gasolina. A Tabela 8 mostra que, em média, existe uma diferença de 25% entre o mesmo veículo movido a diesel e a gasolina, mas em alguns casos essa diferença pode chegar a quase 35%. Entretanto, é preciso desenvolver melhor o sistema exaustor para que haja redução na emissão de gases poluentes desses motores, como o aprimoramento dos catalisadores, e reduzir o preço desse motor, que em geral é mais caro que o motor à gasolina.

TABELA 8 – Redução no consumo de combustível de veículos a diesel – comparação com versões à gasolina (2009)

Marca	Modelo	Redução no consumo de combustível do veículo a diesel (%)
Audi	<i>A3</i>	30,88
BMW	<i>520</i>	25,00
Dodge	<i>Avenger</i>	20,51
Ford	<i>Fiesta</i>	26,32
Ford	<i>Galaxy</i>	36,73
Honda	<i>Civic</i>	21,21
Honda	<i>CR-V</i>	18,52
Jaguar	<i>XF</i>	29,25
Mercedes	<i>E230</i>	31,18
Mercedes	<i>S350</i>	17,65
Toyota	<i>Yaris</i>	25,00
Toyota	<i>RAV4</i>	24,42
VW	<i>Jetta</i>	28,38
Peugeot	<i>308</i>	28,79
Renault	<i>Laguna</i>	34,62
Audi	<i>A8</i>	21,30
Audi	<i>Q7</i>	18,38
Audi	<i>A6</i>	18,18
Mercedes	<i>Viano</i>	23,53
MÉDIA		25,25

Fonte: NRC (2010a).

O desenvolvimento de inovações incrementais para os motores à combustão interna é a alternativa que requer menos recursos – conhecimento e investimentos – para gerar resultados significativos em termos de aumento da eficiência energética, além de contar com a infra-estrutura já existente e com a demanda consolidada. Entretanto, pela natureza do motor,

é praticamente impossível reduzir seu consumo à zero e o custo marginal para o desenvolvimento de inovações incrementais é crescente, ou seja, à medida que várias dessas inovações forem sendo incorporadas aos motores, as alternativas para desenvolvimentos adicionais vão se esgotando, ficando cada vez mais custoso e complexo desenvolver inovações incrementais (NRC, 2010a). O caráter gradual e rígido das normas de controle de emissões e economia de combustível exigirá das OEMs tecnologias que possam ser continuamente melhoradas. Embora essa escolha possa ser a mais lógica no curto prazo, parece haver um consenso entre as principais montadoras de que é preciso investir no desenvolvimento de tecnologias alternativas que possam ser utilizadas no médio e longo prazo.

A segunda opção para solucionar o problema apresentado é investir em formas de propulsão alternativas ao motor à combustão interna. Os principais exemplos são as células de combustível e os veículos elétricos. O desafio é desenvolvê-las para que se tornem competitivas junto às tecnologias tradicionais, utilizando novos conhecimentos e tecnologias advindos da microeletrônica, *software*, eletroquímica, nanotecnologia, etc.

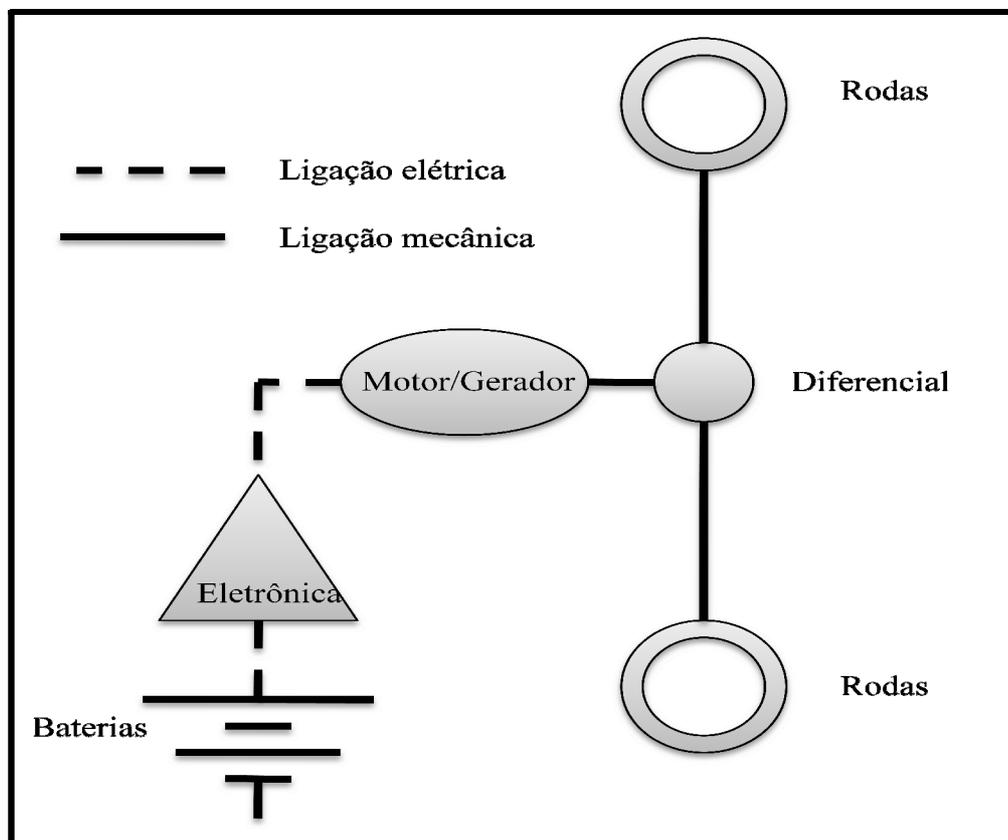
Do ponto de vista da redução da emissão de poluentes, a tecnologia de células de combustível movidas a hidrogênio parece ser a mais eficiente⁴⁵, embora seja também a que possua maiores “gargalos” técnicos que têm impedido sua aplicação comercial, como a falta (mesmo em termos de projeto) de infra-estruturas de produção e distribuição do hidrogênio viáveis comercialmente, pouca confiabilidade e durabilidade dos sistemas de propulsão e elevado peso e volume dos tanques de hidrogênio *onboard*. Por esses motivos, programas como o FreedomCar americano reduziram significativamente os investimentos nessa tecnologia e os projetos das OEMs se restringiram a pequenos experimentos sem compromisso com a viabilidade comercial (NRC, 2010a). Para que o interesse nessa tecnologia se renove, é preciso que haja rupturas tecnológicas (*technological breakthroughs*) e inovações radicais que ofereçam soluções para os problemas apresentados.

A tecnologia de veículos elétricos parece ser uma alternativa mais promissora, entretanto também depende de rupturas tecnológicas para reduzir seus custos de comercialização. Um veículo elétrico funciona através da atuação de um motor que converte energia elétrica (proveniente de reações químicas nas baterias convertidas por um sistema

⁴⁵ Dependendo de como o hidrogênio é produzido. Se for obtido a partir da água, o total de emissões é zero.

eletrônico⁴⁶) em energia mecânica, responsável por colocar o veículo em movimento (Figura 16). A tecnologia de motores elétricos é bem conhecida e aplicada com eficiência em outros produtos como máquinas industriais, trens de alta velocidade, etc. Os principais gargalos tecnológicos para a comercialização em massa de veículos elétricos se referem à adaptação do motor elétrico aos automóveis, o que inclui problemas com o peso e espaço necessário ao *powertrain* elétrico (motor, gerador e sistemas de gerenciamento) e, principalmente quanto às características limitadas das baterias (peso, autonomia, eficiência na transformação da energia química em energia elétrica) e da infra-estrutura de geração e abastecimento de energia elétrica.

FIGURA 16 – Arquitetura do sistema de propulsão elétrico



Fonte: NRC (2010b).

Caso a energia utilizada para abastecer os veículos elétricos venha de fontes limpas, eles podem ser a melhor alternativa para reduzir por completo as emissões de gases nocivos e a dependência do petróleo. No entanto, as baterias ainda precisam desenvolver atributos fundamentais para se tornarem alternativas viáveis. Dentre os principais atributos estão a segurança, custo, autonomia, vida útil, potência específica e tempo de recarga (BCG, 2010).

⁴⁶ Esse sistema é responsável, entre outras funções, por gerenciar o consumo e a geração de energia.

No atual estado de desenvolvimento, existem várias opções de baterias com potencial para serem utilizadas nos veículos elétricos (NiMH; família Li-Ion) e cada uma delas apresenta diferentes graus de desenvolvimento dos atributos citados, *embora nenhuma consiga reuni-los de forma satisfatória*.

O interesse em resolver esses problemas têm feito com que laboratórios de pesquisa de universidades invistam em novos mecanismos eletroquímicos que possam melhorar a performance das baterias no futuro (BCG, 2010). Ainda que tal tecnologia ainda seja bastante incipiente, já existem veículos elétricos no mercado, como o Tesla Roadster e o Nissan Leaf⁴⁷, o que indica que existem chances, mesmo que distantes, dos veículos elétricos serem efetivamente adotados como alternativas aos veículos “convencionais”.

Por último, resta a alternativa das formas de propulsão híbridas, versões intermediárias entre a tecnologia atual (motor à combustão interna) e novas tecnologias (motor elétrico). As vantagens desse sistema são a utilização da infra-estrutura de abastecimento atual (menos no caso dos híbridos do tipo *plug-in*), os investimentos em pesquisa e geração de conhecimentos relativamente reduzidos em relação às tecnologias disruptivas, e os benefícios – aumento potencial da eficiência, simplificação de alguns sistemas como o de transmissão, redução da poluição – em relação ao motor à combustão convencional.

O princípio é a combinação de um motor à combustão interna para geração de movimento mecânico (destinado a mover o veículo e/ou fornecer energia elétrica para recarregar as baterias) e um sistema elétrico (baterias, dispositivos auxiliares, motor e gerador) destinado a converter energia elétrica em energia mecânica⁴⁸ para mover o veículo. Nas diversas configurações de arquitetura possíveis entre esses componentes, o objetivo é maximizar a eficiência de ambos através de diversos padrões de funcionamento que permitem reduzir o tamanho do bloco do motor (*downsizing*).

Os sistemas do tipo paralelo utilizam tanto o motor à combustão quanto o elétrico para a geração de movimento, dividindo a demanda por torque e potência entre esses dois sistemas (Figura 17). Como o motor elétrico não emite poluentes nem consome combustível, existe uma redução considerável nas emissões totais do veículo⁴⁹. O tamanho e as situações de

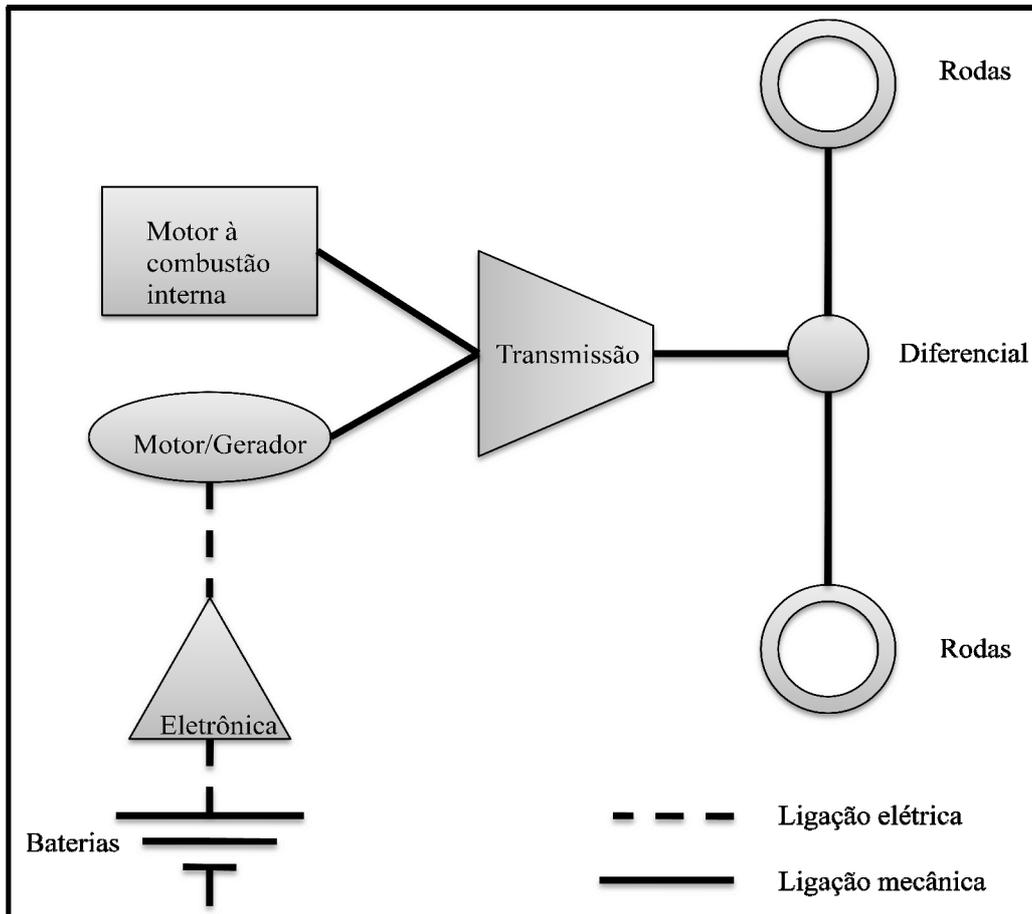
⁴⁷ Entretanto se trata ainda de um nicho ainda muito específico do mercado de automóveis.

⁴⁸ Em algumas configurações, o gerador também pode converter energia mecânica em energia elétrica para recarregar as baterias (durante frenagens ou utilizando a força do motor à combustão interna).

⁴⁹ Entretanto, a redução global das emissões depende também da forma como é gerada a energia elétrica.

atuação do motor elétrico podem variar: ele pode ser utilizado em conjunto com o motor à combustão interna, atuar sozinho apenas em velocidades reduzidas e/ou constantes ou ser responsável pela tração de apenas um eixo. Alguns exemplos de veículos que adotam arquitetura do tipo paralelo são o Honda Insight e a Mercedes Série S.

FIGURA 17 – Arquitetura do sistema de propulsão híbrido em paralelo

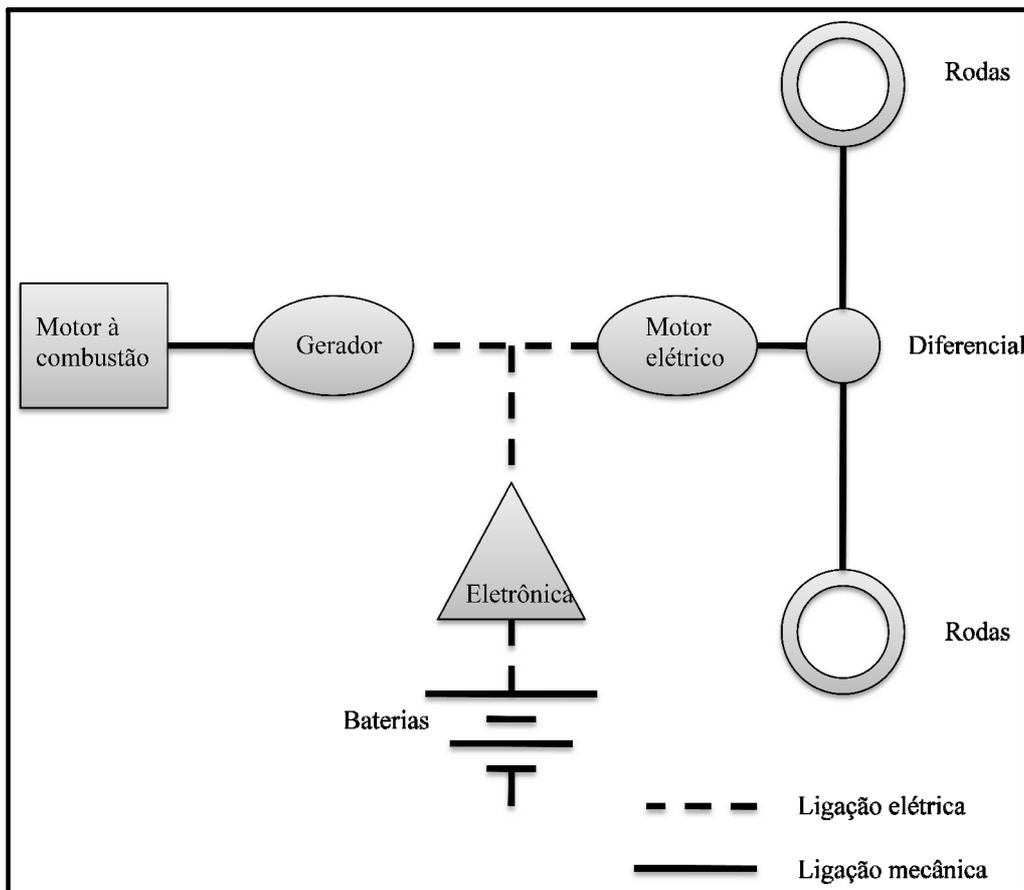


Fonte: NRC (2010b).

O sistema híbrido em série, por sua vez, utiliza apenas o motor elétrico para movimentar o automóvel, enquanto o motor à combustão interna é utilizado apenas para gerar energia para o motor elétrico e recarregar as baterias (Figura 18). Esse sistema permite que o motor à combustão interna trabalhe todo o tempo em condições ideais de potência e torque, pois sua única função é gerar energia em rotações constantes. Dessa forma, sua eficiência é significativamente aumentada. Por ser movimentado apenas por motores elétricos, algumas montadoras consideram que os veículos que utilizam essa arquitetura podem ser chamados de veículos elétricos, como acontece com o Chevrolet Volt⁵⁰.

⁵⁰ Na verdade, existe uma discussão extensa sobre a utilização desse termo. Oficialmente, o Chevrolet Volt foi apresentado como sendo um híbrido com sistema propulsor em série. A GM o apresentou como um veículo “elétrico” por não utilizar o motor à combustão para se movimentar. Entretanto, logo após seu lançamento no

FIGURA 18 – Arquitetura do sistema de propulsão híbrido em série



Fonte: NRC (2010b).

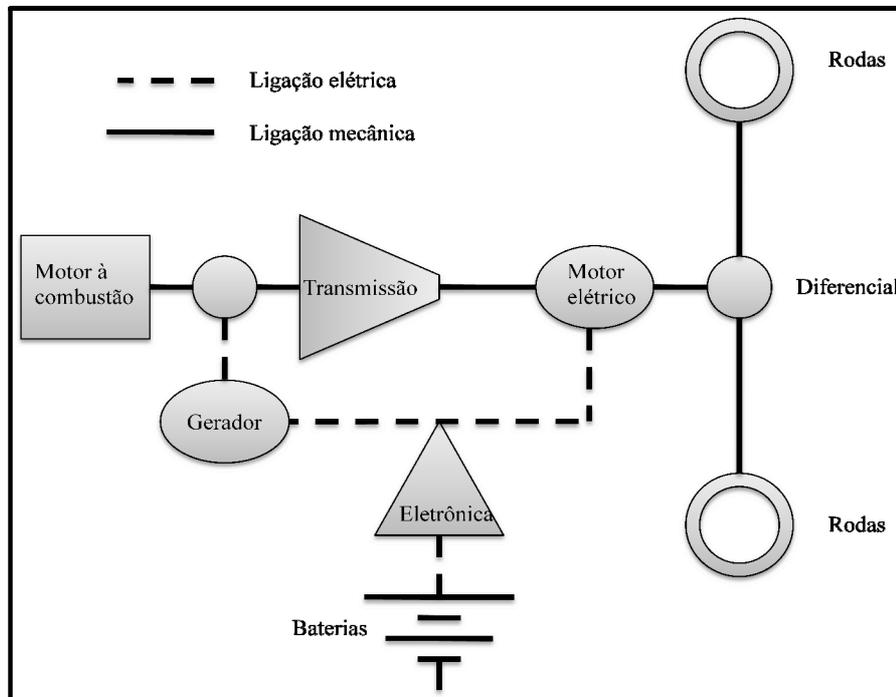
Por último, o sistema *power split* (Figura 19) é uma configuração intermediária que utiliza o motor à combustão tanto para gerar energia elétrica quanto para movimentar o veículo em conjunto com um motor elétrico, dependendo da demanda por torque, potência e velocidade. O exemplo mais notável de utilização dessa arquitetura é o Toyota Prius, símbolo dos híbridos entre os americanos.

Além das diversas configurações de arquitetura, existem também outras diferenças entre os diversos sistemas híbridos. Os motores do tipo *plug-in*, por exemplo, podem ter suas baterias recarregadas via fontes externas como tomadas especiais, assim como acontece com os veículos puramente elétricos. Apesar de serem tecnologias já em processo de introdução comercial em maior escala, ainda existem problemas técnicos que devem ser resolvidos, como a segurança, volume, capacidade de armazenagem e custo das baterias, além da durabilidade dos componentes do sistema. Sistemas complementares também estão sendo desenvolvidos para aumentar a eficiência desses veículos. A GM, em parceria com a Chrysler e a BMW, tem

mercado descobriu-se que, em velocidades elevadas, o veículo passa a utilizar também o motor à combustão interna para se movimentar, portanto ele possui um sistema do tipo *power-split* (DESIGN NEWS, 2010).

desenvolvido um sistema chamado de “2-mode”, que utiliza avanços no sistema de transmissão combinados a uma arquitetura do tipo *power split* para obter maior eficiência dos dois motores (NRC, 2010b).

FIGURA 19 – Arquitetura do sistema de propulsão híbrido tipo *power-split*



Fonte: NRC (2010b).

Até o momento, o *trade-off* entre as diversas formas de propulsão ainda não apresenta solução definitiva, sendo que cada montadora está apostando em uma dessas alternativas: algumas montadoras européias, como a Volkswagen, tem voltado suas pesquisas para o aprimoramento do motor diesel. Toyota, Honda, Mazda, Ford e GM têm apostado nos veículos híbridos. Nissan e Tesla (junto com a Toyota), nos veículos elétricos. Todas, entretanto, continuam a desenvolver inovações incrementais para os veículos à combustão interna convencionais.

Outros *trade-offs* também se colocam quanto às formas secundárias de redução do consumo como a redução do peso, a eficiência aerodinâmica, a adoção de pneus de baixa resistência ao rolamento e o desenvolvimento de combustíveis renováveis. A redução do peso passa pela substituição de materiais, como os que compõem o chassi monobloco de aço, por outros mais leves como alumínio, polímeros e fibra de carbono. Entretanto, este não é um *trade-off* simples: além das questões relativas aos custos (o alumínio e a fibra de carbono são mais caros que o aço), existe também a questão ambiental, pois o alumínio necessita de muito mais energia para ser produzido. Em países onde a matriz energética é composta

predominantemente por usinas termo-elétricas, como nos EUA e na Europa, o acréscimo de energia para a produção adicional de alumínio pode levar a um aumento nos níveis de emissão de gases poluentes por essas usinas, compensando a redução do consumo dos automóveis devido à redução do peso (ORSATO & WELLS, 2007). Por último, o desenvolvimento de combustíveis renováveis como o etanol, o biodiesel e o hidrogênio pode reduzir a dependência de petróleo e as emissões de poluentes. Os processos inovativos compreendem, principalmente, inovações nos processos produtivos (como o etanol celulósico e formas ambiental e economicamente sustentáveis de produzir hidrogênio).

Independente do consenso quanto à melhor solução para esses problemas, o fato é que *o regime tecnológico têm se tornado mais dinâmico* e a base de conhecimentos necessária para os processos de inovação pelas firmas do setor tem passado por algumas transformações. É interessante discutir as mudanças na natureza, nas características e nas trajetórias das inovações no setor que tem alterado essa dinâmica.

Vários pontos indicam que a dinâmica do regime tecnológico do setor é muito diferente daquela de algumas décadas atrás. Em primeiro lugar, o sucesso comercial das novas tecnologias de propulsão necessita de inovações mais “radicais” ou “disruptivas”, principalmente nos sistemas “novos” como as baterias e seus sistemas auxiliares e também as células de combustível, que se encontram ainda em fase muito preliminar de desenvolvimento.

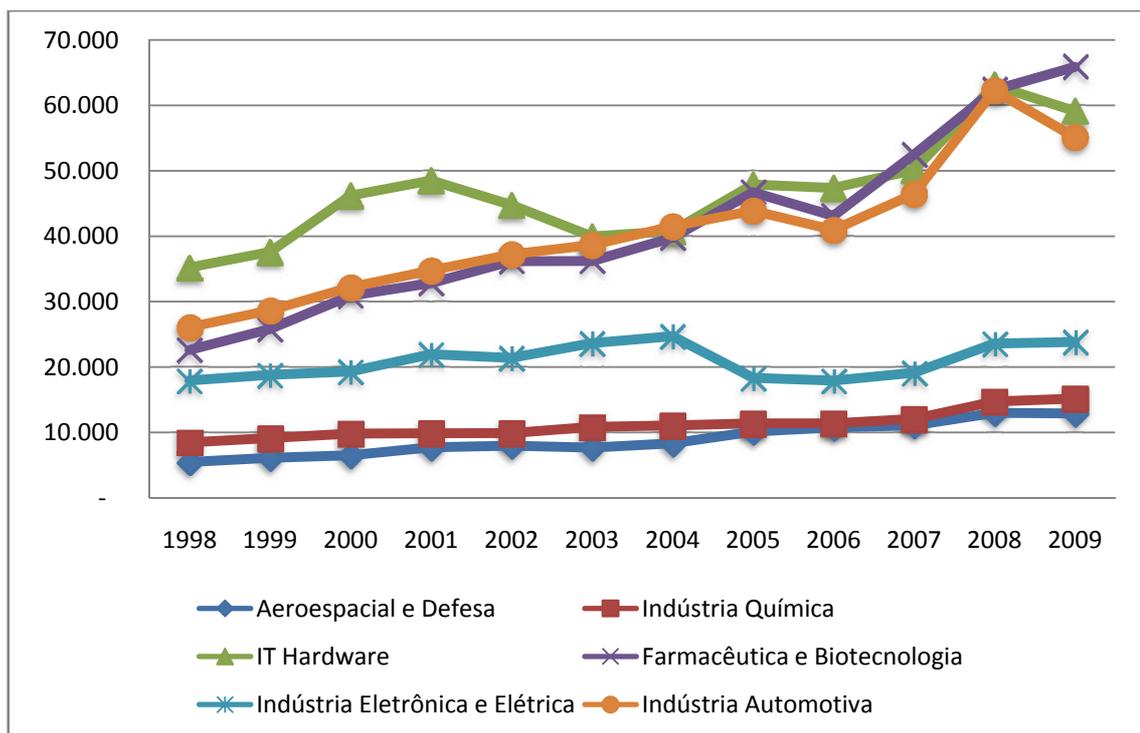
Em segundo lugar, para que tais tecnologias sejam competitivas, é demandado um grande número de inovações incrementais em diversas áreas/componentes, dada a quantidade de problemas a serem resolvidos e a complexidade dos sistemas. Ao contrário do que muitos pensam, as novas tecnologias de propulsão não serão melhoradas *apenas* através de uma ou algumas poucas inovações radicais, mas também através inovações incrementais que, quando tomadas em conjunto, possibilitam ganhos significativos de desempenho e redução de custos, assim como defende Rosenberg (1976).

Portanto, nosso estudo mostra que, para a indústria automotiva, *as características dos processos inovativos hoje são diferentes das de alguns anos atrás*, quando estes se resumiam a aumentos pequenos e esporádicos no desempenho dos sistemas convencionais (motor à combustão) e dos processos produtivos. Hoje, uma inovação envolve resolver problemas muito mais complexos que devem ser solucionados num espaço de tempo muito menor. As firmas sofrem pressão (da demanda, do governo, do mercado) para desenvolver tecnologias

que possam competir – em termos de desempenho e custos – com as convencionais e, mais que isso, que possam *superar suas principais fraquezas*, como a ineficiência energética do motor à combustão. Isso significa desenvolver, *em um curto espaço de tempo*, soluções tecnológicas para problemas (autonomia, desempenho) que foram gradualmente solucionados ao longo de décadas de desenvolvimento nas tecnologias convencionais.

Adicionalmente, como foi apresentado na presente Subseção, grande parte das tecnologias alternativas – principalmente as de propulsão – é significativamente mais complexa do que a convencional e ainda apresenta diversos “gargalos” tecnológicos à espera de soluções. Mesmo as inovações incrementais destinadas a melhorar as tecnologias convencionais também têm se tornado mais complexas, dado que essas tecnologias também tem que superar suas deficiências, inclusive como alternativas viáveis para as firmas no curto prazo.

FIGURA 20 – Evolução dos gastos em P&D* de indústrias selecionadas (Milhões de Euros)



*Entre as 1000 empresas que mais gastaram em P&D, de acordo com o BIS. Os valores se referem ao ano fiscal comumente adotado no hemisfério norte.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BIS – U.K. *Department for Business, Innovation & Skills – R&D Scoreboard*, vários anos.

A análise da trajetória de investimentos em P&D do setor automotivo durante a última década corrobora a visão do presente trabalho de que o regime tecnológico tem se tornado

mais dinâmico e complexo. A Figura 20 mostra o crescimento do investimento em P&D de alguns setores de média-alta e alta tecnologia entre as 1000 empresas que mais investiram em P&D entre 1998 e 2009. Percebe-se claramente a trajetória de crescimento elevado do montante de gastos em P&D do setor automotivo, mesmo quando comparado aos outros setores. Na verdade, apenas a indústria de fármacos e biotecnologia⁵¹ acompanha o crescimento do setor automotivo.

A Tabela 9 mostra também a análise por empresa, para as maiores OEMs – em termos de investimento em P&D. Em 2009, mesmo investindo menos que no ano anterior, a Toyota foi a empresa que mais gastou em P&D (em termos absolutos) no mundo. Quase todas as empresas apresentam crescimento absoluto bastante significativo das atividades de P&D formal durante a última década. GM e Ford apresentam crescimento negativo devido, entre outros motivos, à crise na indústria automotiva americana.

TABELA 9 – Evolução do investimento em P&D de algumas das principais OEMs (1998-2010, em milhões de Euros)

Empresa	Investimento em P&D (€ milhões)												
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Toyota Motor	2326	2551	2362	2490	3085	3484	3838	3727	3485	4006	7357	6014	6667
Volkswagen	1960	2469	2696	2338	2849	2917	2948	2800	2857	3616	5729	5144	6258
General Motors	4907	4224	4100	3851	3603	3184	3386	3903	3372	4069	5564	3758	5190
Honda Motor	1496	1631	1748	1847	2068	2277	2378	2308	2189	2482	4511	3746	4259
Daimler-Chrysler	3240	3739	4130	3867	3957	3925	4006	3881	3526	3590	4290	3700	4852
Ford Motor	3913	4410	4224	4597	4783	4190	3854	4660	3679	3768	5077	3034	3727
Nissan Motor	-	-	1249	1213	1372	1565	1801	1965	1919	2090	3510	3030	3543
BMW	-	-	-	1148	1521	1803	1995	2140	2161	2309	2769	2175	2773
Peugeot (PSA)	1130	1059	950	848	1216	1478	1499	1478	1465	1523	2293	2056	2402
Fiat	826	922	1124	1205	1148	1242	1293	906	798	1279	1920	1503	1936
Renault	1261	1335	1165	1012	1160	1224	1388	1556	1617	1808	2161	1460	1728
Hyundai Motor	-	-	-	420	686	450	976	1362	796	1177	1210	1188	1587
Mazda Motor	-	-	438	398	497	458	446	448	411	484	878	638	783

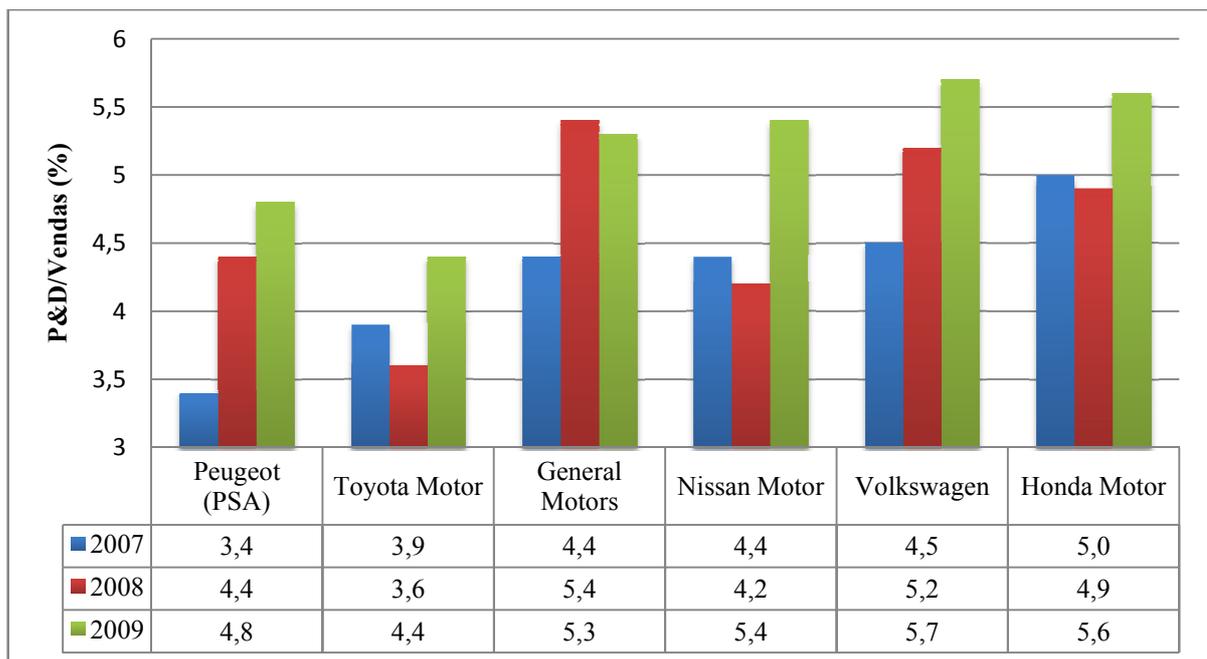
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BIS – U.K. *Department for Business, Innovation & Skills – R&D Scoreboard*, vários anos, e JRC (2011). A série utiliza o ano fiscal comumente utilizado no hemisfério norte (ex: para o ano de 1999, os dados se referem ao período de meados de 1998 a meados de 1999).

A Tabela 9 mostra também que a crise financeira de 2008 reduziu o investimento em P&D de todas as montadoras em 2009, em especial as americanas, mas já em 2010 houve certa recuperação. Ao analisar suas intensidades tecnológicas (P&D sobre o faturamento com

⁵¹ Acreditamos que o desempenho desse setor – bastante amplo - está associado aos investimentos na área de biotecnologia.

vendas, Figura 21), se verifica aumentos constantes e significativos *mesmo após a crise*. Até mesmo a General Motors - uma das montadoras que mais sofreu os efeitos da crise e que teve que ser resgatada pelo governo americano – não reduziu significativamente sua intensidade tecnológica após a crise. Essa tendência oferece fortes indícios de que, atualmente, elevar a intensidade tecnológica não é apenas uma estratégia secundária, mas uma das principais estratégias para manutenção da competitividade das empresas do setor diante da forte pressão pelo desenvolvimento de novas tecnologias.

FIGURA 21 – Evolução da intensidade tecnológica (P&D/Vendas) após a crise de 2008



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BIS – U.K. *Department for Business, Innovation & Skills – R&D Scoreboard*, vários anos. Utiliza-se o ano fiscal do hemisfério norte como referência.

Outro importante sinalizador de que o regime tecnológico da indústria automotiva tem se tornado mais dinâmico são os dados de patentes: em 2010, a indústria automotiva foi a segunda em termos de número de patentes, com 12% do total (Tabela 10), acima de indústrias de alta tecnologia como Semicondutores, Aeroespacial, Telecomunicações e Farmacêutica.

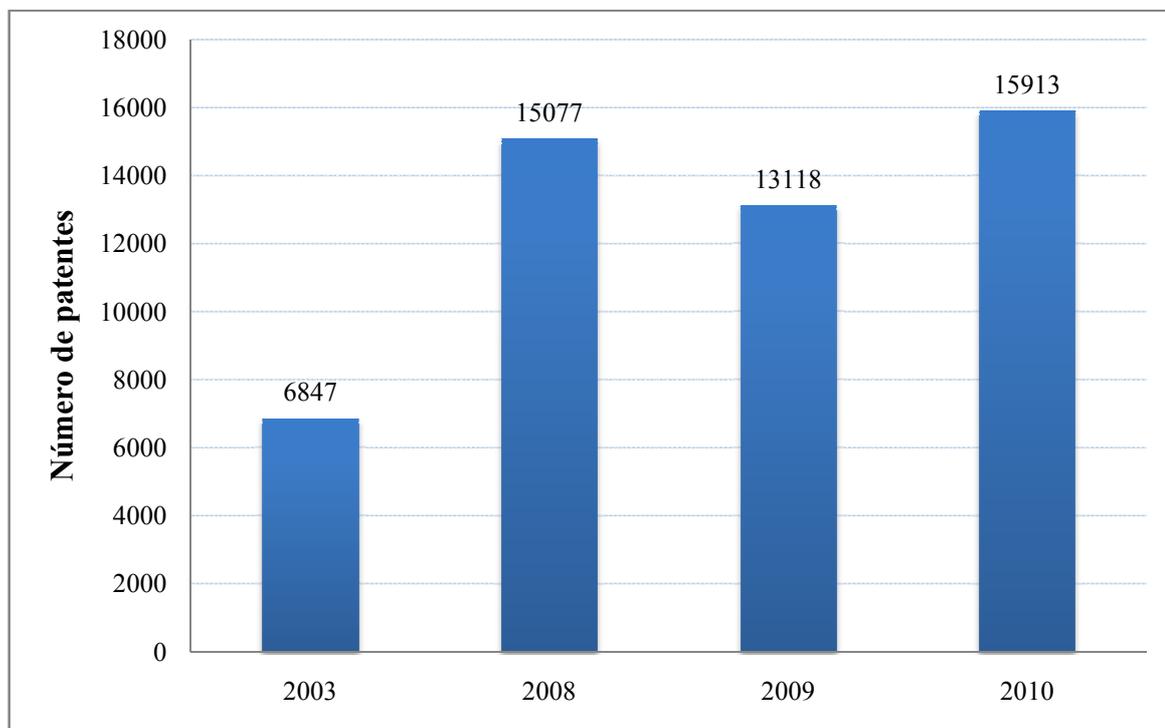
O número bastante elevado de patentes sinaliza o comprometimento das empresas do setor com o desenvolvimento de inovações, particularmente aquelas destinadas a melhorar – incremental ou radicalmente – as novas tecnologias de propulsão. Analisando a composição das patentes da indústria automotiva, percebe-se que o número de patentes relacionadas às novas formas de propulsão – elétricos, híbridos e movidos a células de combustível – corresponde a 16% do total de patentes depositadas pela indústria automotiva em 2010.

TABELA 10 – Patentes em indústrias selecionadas - 2010

Setor	Patentes	Porcentagem do total
<i>Computadores e periféricos</i>	212.622	28%
<i>Automóveis</i>	88.867	12%
<i>Telecomunicações</i>	87.920	11%
<i>Semicondutores</i>	86.479	11%
<i>Farmacêutica</i>	59.350	8%
<i>Utensílios médicos</i>	52.117	7%
<i>Petróleo e Engenharia Química</i>	42.304	5%
<i>Aplicações domésticas</i>	36.816	5%
<i>Alimentos, Tabaco e Fermentação</i>	36.048	5%
<i>Aeroespacial</i>	32.622	4%
<i>Agroquímica e Agricultura</i>	22.726	3%
<i>Cosméticos</i>	6.438	1%

Fonte: Thomson Reuters (2011).

Vale mencionar o crescimento do número dessas patentes ao longo da última década (Figura 22) foi bastante expressivo e se manteve mesmo após a crise em 2008, prova do grande interesse que as empresas do setor possuem em desenvolver tais tecnologias em um curto espaço de tempo.

FIGURA 22 – Crescimento do número de patentes (USPTO) em tecnologias de propulsão alternativas

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de Thomson Reuters (2011).

Se considerarmos também as patentes relacionadas ao controle da poluição, pode-se dizer que, atualmente, um quarto das inovações protegidas por patentes são diretamente ligadas ao desenvolvimento de propulsores alternativos e redução da poluição dos motores convencionais (Tabela 11). Além disso, as inovações referentes aos outros campos também estão ligadas às mudanças recentes na indústria automotiva, como a introdução da microeletrônica e a divisão dos componentes por sistemas, de responsabilidade dos fornecedores (Ver Seção 3.3.1).

TABELA 11 – Análise da composição das patentes do setor automotivo

	Participação no total do setor (%)	Volume de patentes (2010)	Variação em relação a 2009
<i>Tecnologias de propulsão alternativas</i>	16%	15913	21%
<i>Sistemas de Navegação</i>	13%	1206	-3%
<i>Sistemas de Transmissão</i>	12%	11577	0%
<i>Segurança</i>	11%	10263	-3%
<i>Controle de Poluição</i>	9%	8376	-2%
<i>Assentos, cintos de segurança e Airbags</i>	8%	7769	3%
<i>Sistemas de direção</i>	7%	6327	-4%
<i>Sistemas de suspensão</i>	6%	5924	-1%
<i>Sistemas de segurança</i>	6%	5752	-1%
<i>Design de motores</i>	5%	5336	-4%
<i>Sistemas de freio</i>	4%	3908	-4%
<i>Sistemas de entretenimento</i>	3%	3052	-6%

Fonte: Thomson Reuters (2011).

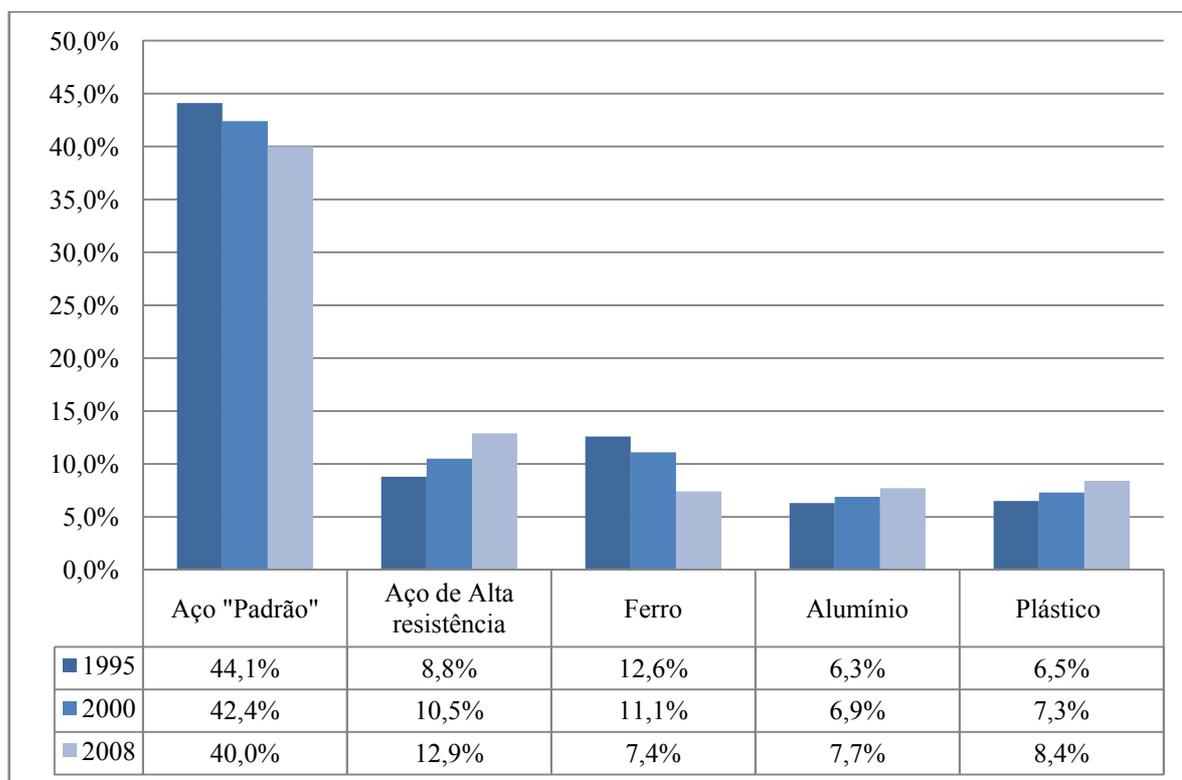
O aumento da intensidade tecnológica, do montante de investimentos em P&D e do número de patentes em tecnologias de propulsão alternativas e sistemas são indicadores quantitativos de que *o setor está se tornando mais intensivo em tecnologia*, e isso se deve à complexidade, ao pouco tempo disponível e ao custo para o desenvolvimento das novas tecnologias. São fortes indícios de que os processos inovativos no setor estão cada vez mais *complexos e dinâmicos*.

É possível afirmar que, para se adequar às exigências da demanda e serem competitivas com as tecnologias atuais (ver Seção 3.3.2), as novas tecnologias têm que “avançar” as fases do ciclo de vida tecnológico (UTTERBACK & ABERNATHY, 1975; Ver Capítulo 1) com uma rapidez muito maior do que nos desenvolvimentos tecnológicos anteriores. As empresas do setor precisam desenvolver, *simultaneamente*, inovações de

produto e de processo para que as novas tecnologias de produto possam rapidamente passar da fase de maximização do desempenho para a minimização dos custos e os processos utilizados para a fabricação dos veículos que possuem essas novas tecnologias possam rapidamente passar da fase descoordenada para uma fase mais segmentada. Esse desafio envolve pesados investimentos em P&D e cooperação entre as OEMs, fornecedores e outras organizações.

O predomínio das trajetórias “convencionais” (ORSATO & WELLS, 2007) tem sido questionado com o desenvolvimento das tecnologias alternativas. O motor à combustão interna, por exemplo, parece não mais dominar por completo a trajetória de desenvolvimento do sistema de propulsão graças ao desenvolvimento e difusão de novas tecnologias alternativas como a dos motores híbridos e elétricos. Da mesma forma, as fabricantes têm pesquisado alternativas ao aço para o desenvolvimento do chassi, como o alumínio, a fibra de carbono e os polímeros. Apesar dos avanços nos últimos anos na utilização desses materiais, o aço “convencional” ainda representa 40% do peso dos automóveis, em média (Figura 23).

FIGURA 23 – Composição do peso de um automóvel médio por material (%)



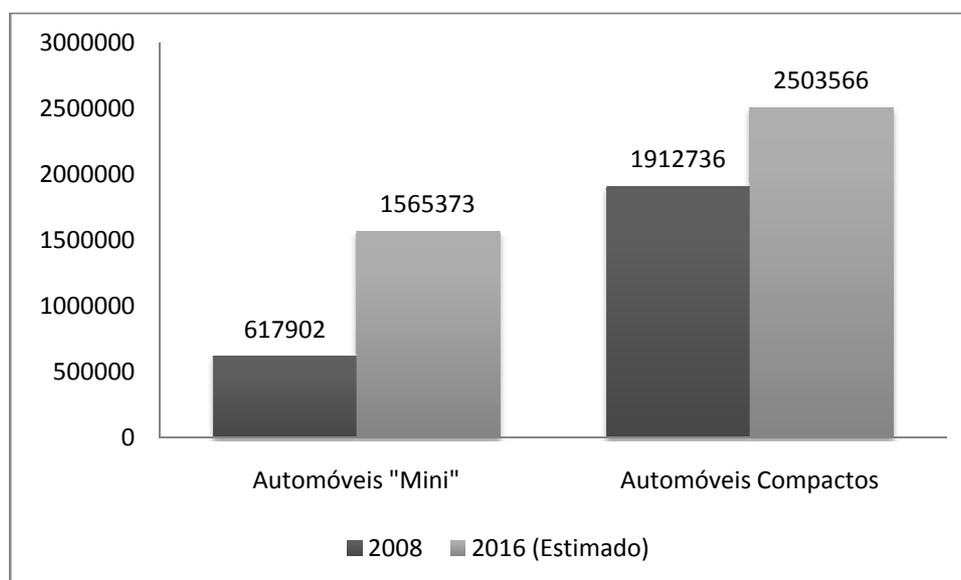
Fonte: Ward's Communications (2009).

A necessidade de redução do peso dos automóveis para aumentar a economia de combustível tem levado os fabricantes a investir em carros menores, como os carros mini e

compactos. Esses veículos são essencialmente urbanos - utilizados nos pequenos trajetos percorridos pela grande maioria dos consumidores diariamente - e pouco adaptados para a utilização em longas viagens com muitos passageiros e bagagem. Ainda assim, a Figura 24 mostra estimativas de grande crescimento nas vendas desses veículos nos próximos anos. Ao mesmo tempo, o número de SUVs, representantes extremos da natureza multi-propósito, tendem a se reduzir nos próximos anos (Figura 25).

Em nome da economia e da redução consumo, cada vez mais consumidores abrem mão de ter um veículo realmente multi-propósito e o poder dessa trajetória em influenciar o desenvolvimento de produto estaria se *enfraquecendo*. Entretanto, essa mudança ainda é limitada: as atuais baterias dos veículos elétricos podem fornecer autonomia (100 milhas) para a maioria dos trajetos cotidianos, mas o consumidor reluta em comprar um veículo com uma autonomia comparativamente tão pequena à dos veículos “convencionais”, o que força as firmas a perseguir, via inovações em baterias e sistemas elétricos, aumentos na autonomia dos veículos híbridos e elétricos para que possam ser utilizados também em viagens longas. Além disso, o preço dos híbridos é maior, dado que ele possui dois motores (um à combustão e um elétrico), fora o preço das baterias, o que faz com que as empresas tenham que perseguir também reduções nos custos desses sistemas.

FIGURA 24 – Estimativas de aumento nas vendas de automóveis mini e compactos nos EUA

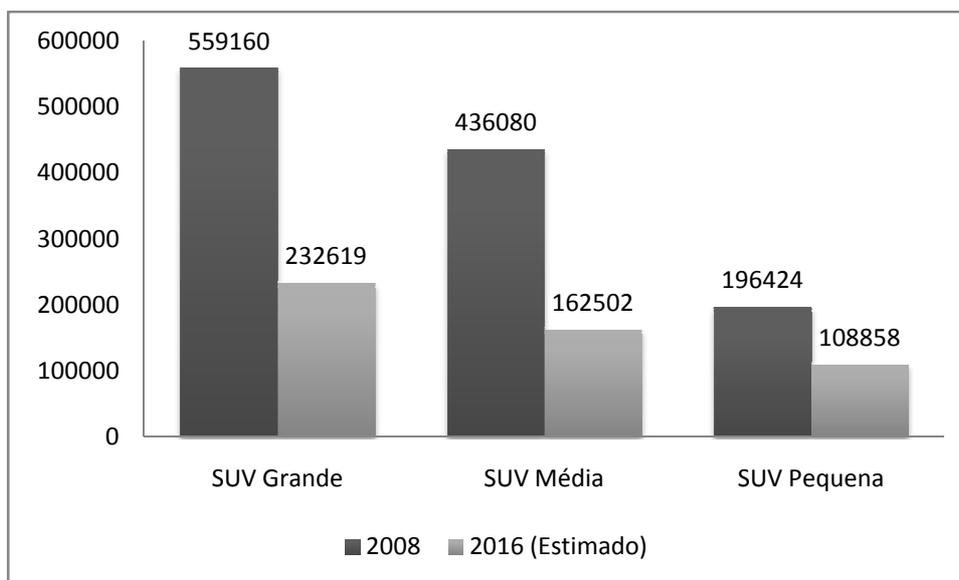


Fonte: Elaboração própria a partir de dados da EPA (2010).

A convivência entre diversas tecnologias alternativas e convencionais ampliou a base de conhecimentos necessária aos processos inovativos do setor. Revisando a taxonomia de

Breschi & Malerba (1997) apresentada no começo da seção, é possível perceber como a base de conhecimentos do setor tem evoluído graças às mudanças no ambiente em que as firmas estão inseridas: em primeiro lugar, o caráter incipiente e complexo das tecnologias alternativas destinadas a reduzir o consumo e aumentar a eficiência dos automóveis, bem como a introdução de tecnologias advindas da microeletrônica e *software*, tem elevado significativamente as oportunidades tecnológicas. A complexidade dessas tecnologias exige das firmas o domínio de conhecimentos de diversas áreas como eletroquímica, microeletrônica avançada, engenharia de materiais, engenharia elétrica, nanotecnologia, software, entre outras, além de capacitações organizacionais que permitam aos engenheiros e administradores ter visão periférica para enxergar oportunidades de aplicação de tecnologias advindas dessas diversas áreas nos automóveis (SOFKA *et al.*, 2008).

FIGURA 25 – Estimativas de redução nas vendas de SUVs nos EUA



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da EPA (2010).

A natureza mais complexa dos processos inovativos também tem contribuído para aumentar o nível de apropriabilidade, uma vez que agora são exigidas capacitações ainda maiores para reconhecer, filtrar e utilizar os inúmeros conhecimentos requeridos nos processos inovativos destinados a desenvolver as tecnologias alternativas. A necessidade de diversos conhecimentos novos ampliou as fronteiras setoriais do conhecimento, já que as firmas agora demandam conhecimentos que não se encontram dentro das fronteiras das OEMs, incorporando os fornecedores e empresas de outros setores (Ver Seção 3.3.1).

A Tabela 12 apresenta de forma resumida as principais transformações ocorridas no regime tecnológico do setor automotivo nos últimos anos. No momento atual, as mudanças na demanda e instituições têm feito com que o direcionamento do desenvolvimento das tecnologias para fins específicos (eficiência energética e redução da emissão de poluentes), modifique certas características do regime tecnológico como as trajetórias naturais, a base de conhecimentos e a dinâmica das inovações incrementais.

TABELA 12 – Síntese das mudanças no regime tecnológico automotivo

	1950s-1990s:	2000s - Hoje:
<i>Trajetoórias naturais</i>	As trajetórias naturais que guiam o desenvolvimento tecnológico são determinadas por três características intrínsecas ao veículo: o motor à combustão interna, o monobloco de aço e a natureza multi-propósito	A influência das três características se reduz, entram em cena novas trajetórias determinadas pela economia de combustível, redução da emissão de poluentes e introdução gradual da microeletrônica nos automóveis
<i>Características das Inovações de Produto</i>	Eram pouco complexas, em geral destinadas a melhorar o desempenho de tecnologias maduras. Desenvolvimento de produto acontecia de forma bastante gradual. O investimento em inovação de produto era uma estratégia secundária para a grande maioria das OEMs, que se concentravam principalmente no aprimoramento dos processos produtivos	São complexas, envolvem o melhoramento de tecnologias “novas” ou incipientes num curto espaço de tempo, utilizando para isso de uma extensa base de conhecimentos, e possuem uma importância crucial para a competitividade das firmas do setor
<i>Base de conhecimento</i>	Caracterizada por níveis médios de oportunidades, níveis altos de cumulatividade e apropriabilidade, coordenação sistêmica entre conhecimentos tácitos e codificados. Firmas inovadoras são grandes e poucas. Fronteiras do conhecimento são locais e basicamente restritas às OEMs	Caracterizada por níveis mais altos de oportunidades, apropriabilidade e coordenação sistêmica e níveis médios de cumulatividade. Surgem algumas pequenas firmas inovadoras em novas tecnologias (baterias, sistemas eletrônicos, motores elétricos, etc.). As fronteiras do conhecimento se movem ligeiramente para fora, em busca de conhecimentos para o desenvolvimento das novas tecnologias entre fornecedores e empresas de outros setores

Fonte: Elaboração própria.

O principal fenômeno tem sido o aumento da complexidade do desenvolvimento – mesmo que incremental – das tecnologias alternativas àquelas estabelecidas como *padrão* desde o início da indústria automotiva e dos processos produtivos associados a essas

tecnologias, auxiliado pelos desenvolvimentos tecnológicos obtidos pela microeletrônica que agora são incorporados aos automóveis. Essa complexidade exige das firmas capacitações tecnológicas e organizacionais novas, como a capacidade de desenvolver produtos utilizando cada vez mais conhecimento, e também capacitações organizacionais para lidar com automóveis de tecnologias tão diferentes quanto os elétricos e híbridos.

Portanto, o regime tecnológico que caracteriza o sistema setorial de inovação da indústria automobilística, tradicionalmente caracterizado pela introdução de inovações incrementais de produto e processo (*creative accumulation*), tem se mostrado mais dinâmico com a intensificação da concorrência e o surgimento de oportunidades tecnológicas associadas “(...) aos avanços na tecnologia do motor a combustão interna, às novas tecnologias da micro-eletrônica, de materiais, de informação e, mais recentemente, às emergentes – e inovadoras – técnicas de propulsão dos autoveículos” (CARVALHO, 2008, p. 13).

3.3.4 - Instituições

Segundo North (1990), as instituições podem ser divididas em duas categorias: as do tipo *hard* e *soft*. As primeiras são instituições formais que estimulam (ou restringem) os esforços inovativos dos atores do sistema, como os instrumentos políticos. As segundas são as normas implícitas que regem o comportamento dos atores e da demanda, como as regras sociais, o espírito empresarial, a atmosfera cultural, aversão ao risco, etc.

O automóvel é um produto naturalmente caro. Na ausência de qualquer regulação ou estímulo institucional, fabricantes e consumidores tomam suas decisões de produção e consumo baseados em custos e preços, respectivamente. Para as novas tecnologias, isso pode significar falhas no sistema de inovação, pois estas - pelo menos em suas fases iniciais de desenvolvimento - são mais caras de produzir e conseqüentemente geram produtos mais caros aos consumidores. Sem nenhuma contrapartida institucional que “force” os fabricantes a desenvolver e produzir e os consumidores a comprar tais automóveis, essas tecnologias não serão viáveis economicamente. Este é o papel das principais instituições do tipo *hard*.

As principais instituições do tipo *hard* são as instituições políticas, que representam as diversas formas pelas quais os formuladores de políticas influenciam direta e indiretamente nos processos de inovação dos diversos setores da economia. São exemplos de instituições políticas as leis de inovação e proteção da propriedade intelectual e incentivos fiscais

relacionados às atividades inovativas pelas firmas, além de normas e padrões técnicos, impostos, tarifas alfandegárias, leis e políticas ligadas à competitividade e infra-estrutura etc. De maneira geral, são instituições formais baseadas em fundamentos legais, criadas conscientemente pelos *policy makers* em diversos níveis (nacional, regional, setorial, local).

Esses instrumentos têm como objetivo principal corrigir as “falhas no sistema” que bloqueiam os fluxos de conhecimento e tecnologia, e reduzem a eficiência do sistema de inovação. Essas “falhas” podem surgir devido à falta de coordenação e complementaridade entre os atores (*network failures*), pela falta de capacitações fundamentais pelas firmas inovadoras (*capability failures*) (ARNOLD, 2004) ou pelo surgimento de uma nova tecnologia que exige um ambiente mais complexo para se desenvolver. Como consequência, elas podem criar ineficiências no processamento do conhecimento, levando a processos de seleção que primam por opções tecnológicas, práticas organizacionais e firmas inadequadas (OLTRA & SAINT JEAN, 2009; BACH & MATT, 2005).

Quanto às instituições de caráter nacional e regional, os programas de incentivo à inovação visam construir ambientes favoráveis à atividade inovativa e reduzir as incertezas inerentes a esses processos, principalmente em relação aos riscos do investimento em P&D (que não tem retorno financeiro garantido) e apropriabilidade dos conhecimentos gerados pelas firmas inovadoras através de regulações e programas de pesquisa estratégica. Esses programas podem ser restritos a um determinado país ou região e possuem certo grau de formalidade e legalidade - embora algumas vezes se constituam apenas de diretrizes mais genéricas, sem um plano de ação claramente definido - e estão no topo da hierarquia de medidas tomadas para fomentar a inovação. A partir das diretrizes estabelecidas, são utilizados instrumentos para se atingir os objetivos desses programas.

Na Tabela 13, são mostrados alguns dos principais programas de incentivo à inovação implementados nos últimos anos pelos países da Tríade e também por alguns países em desenvolvimento.

TABELA 13– Principais Programas Nacionais e Regionais de Ciência, Tecnologia e Política Inovativa de Países e Regiões Seleccionadas

	Nome	Duração
Alemanha	<i>High-Tech Strategy 2020</i>	2020
Brasil	Plano de Ação para a Ciência, Tecnologia e Inovação (PACTI)	2007-2010
	Programa de Desenvolvimento Produtivo (PDP)	Desde 2008
Coréia do Sul	<i>2nd S&T Basic Plan - "577 Initiative"</i>	2008-2012
	<i>National Strategy and Five Year Plan for Green Growth</i>	2009-2013
China	<i>Medium- and Long-term Programme for Science and Technology Development</i>	2006-2020
Estados Unidos	<i>A Strategy for American Innovation: Driving Towards Sustainable Growth and Quality</i>	Desde 2009
	<i>American Recovery and Reinvestment Act (ARR)</i>	2009-2013
França	<i>National Strategy for Research and Innovation</i>	Desde 2009
Itália	<i>National Research Plan</i>	2010-2012
	<i>Industry 2015</i>	2006-2015
	<i>Strategy for the Internationalisation of the Italian Research</i>	2010-2015
	<i>Research Infrastructures of Excellence for Italy - The Italian Roadmap 2010</i>	2010-2012
Japão	<i>New Growth Strategy</i>	2009-2020
Reino Unido	<i>Science and Innovation Investment Framework</i>	2004-2014
	<i>Innovation Nation White Paper</i>	2008
União Européia	<i>7th Framework Programme of European Community for Research, Technological Development and Demonstration Activities (FP7)</i>	2007-2013
	<i>Competitiveness and Innovation Framework Programme (CIP)</i>	2007-2013

Fonte: Adaptação de OCDE (2010).

De um modo geral, as iniciativas desses programas podem ser agrupadas em esferas de atuação comum, que giram em torno dos seguintes objetivos:

- *Estabelecimento de metas de investimento em P&D*, medido através da proporção de investimentos em P&D sobre o total do PIB (GERD). Para alcançar as metas propostas, são

lançadas linhas de financiamento e subvenção econômica para atividades inovativas das firmas que contam com a participação dos governos e organizações como bancos e agências de fomento a atividades inovativas (*Agence de l'innovation industrielle* na França, FINEP no Brasil etc.).

TABELA 14 – Meta de Investimento Bruto em Pesquisa e Desenvolvimento (GERD) para países selecionados

	GERD em 2008 do PIB)	Meta para o GERD (em % do PIB)
<i>Alemanha</i>	2,64%	3,0%
<i>Brasil</i>	1,09%	0,65%*
<i>Coréia do Sul</i>	3,37%	5,0%
<i>China</i>	1,54%	2,5%
<i>Estados Unidos</i>	2,77%	3,0%
<i>França</i>	2,02%	3,0%
<i>Itália</i>	1,19%	2,4%
<i>Japão</i>	3,42%	4,0%
<i>Reino Unido</i>	1,77%	2,5%
<i>União Européia</i>	1,81%	3,0%

*Para o setor empresarial.

Fonte: Adaptação de OCDE (2010).

- *Incentivos fiscais para atividades inovativas*: esse objetivo, intrinsecamente ligado ao primeiro, prevê a redução da carga tributária incidente sobre as atividades de P&D e atividades de apoio como forma de incentivar o investimento em capacitação científica e tecnológica pelas firmas, bem como o estreitamento da relação entre empresas e pesquisadores. Os incentivos fiscais reduzem o custo marginal das atividades de P&D (PWC, 2010) incidindo sobre o trabalho, os custos operacionais e o capital, podendo ainda incidir sobre os custos de financiamento dessas atividades⁵² e sobre o valor do bem final para o consumidor. A utilização de cada uma dessas modalidades depende das falhas do sistema que se apresentam em cada caso.

Numa situação na qual as firmas de um determinado país necessitam de muito capital para empreender atividades inovativas (caso dos países em desenvolvimento, que não possuem um grande estoque de capital para esse fim), os *policy makers* podem fazer uso de incentivos fiscais sobre a aquisição de capital, reduzindo assim seu custo marginal. Da mesma

⁵² PwC (2010) faz referência aos incentivos fiscais dados aos investimentos *venture capital*, destinados a aumentar o volume de investimentos dessa natureza, extremamente importantes num cenário de maior complexidade e incerteza tecnológica.

forma, num país onde o sistema financeiro ainda é pouco desenvolvido, incentivos fiscais incidentes sobre os investimentos de *venture capital* podem facilitar o financiamento das atividades inovativas das micro e pequenas empresas, que podem ainda receber suporte financeiro direto através de organizações de fomento às atividades de P&D.

- *Investimento no desenvolvimento de tecnologias-chave*: As tecnologias-chave são aquelas “portadoras de futuro”, ou seja, as quais podem solucionar os principais gargalos tecnológicos da sociedade nos campos da energia limpa, nutrição e saúde, mobilidade, segurança e comunicação, entre outros. Em geral, as principais tecnologias-chave atuais são a biotecnologia, nanotecnologia, nano-eletrônica, tecnologias ópticas, de materiais, de produção, de comunicação e informação, entre outras. Algumas dessas tecnologias, ainda numa fase bem preliminar de desenvolvimento, podem gerar inovações em diversos setores. A nanotecnologia, por exemplo, tem sido considerada a próxima tecnologia “*general purpose*”,

(...) oferecendo escopo significativo para melhoramentos das tecnologias existentes, uma grande variedade de usos em diversas áreas de aplicação e indústrias, gerando e dependendo do desenvolvimento de tecnologias e inovações complementares (PALMBERG *et al.*, 2009). (...) Nano-sistemas e processos produtivos atômicamente precisos tem grande potencial de aplicação em tecnologias que incluem tratamentos precisos do câncer, materiais “inteligentes” e células de combustível com alta autonomia e densidade energética (OCDE, 2010, p. 39)[Tradução nossa].

- *Reforçar a estrutura das universidades e institutos de pesquisa públicos*: Alguns países têm reformado a governança das entidades públicas de pesquisa, aumentando sua eficiência e resposta às demandas da sociedade (OCDE, 2010), permitindo que elas possam ter autonomia em relação à gestão de recursos humanos e fundos. Existem ainda esforços no sentido de melhorar a infra-estrutura dessas organizações através de mecanismos específicos de financiamento que garantam a sustentabilidade financeira das mesmas, tanto para pesquisas de curto quanto de longo prazo. As universidades ainda são encorajadas a buscar estratégias de internacionalização, atraindo pesquisadores de outros países e mandando seus pesquisadores para estudar em outras organizações.

- *Aumento da eficiência das leis de propriedade intelectual*: As leis de proteção da propriedade intelectual são componentes cruciais para os processos inovativos das firmas. Um sistema de proteção fraco desestimula as firmas a inovarem graças à baixa apropriabilidade tecnológica: como visto no Capítulo 1, as condições de apropriabilidade das inovações são

estímulos fundamentais aos investimentos em P&D (DOSI, 1988). Nesse sentido, se as firmas não encontram um forte aparato legal que assegure que suas inovações estarão protegidas de eventuais imitadores, existe pouco incentivo para que elas possam empreender grandes quantidades de recursos nessas atividades. Os custos – em termos de tempo e dinheiro - do processo de patenteamento também podem ser empecilhos à atividade inovativa das firmas, principalmente as pequenas. Portanto, o fortalecimento das leis de propriedade intelectual é um dos objetivos principais dos programas apresentados, garantindo a apropriabilidade das inovações pelas firmas através da redução da burocracia, dos custos de patenteamento e do fortalecimento das punições em caso de imitação não autorizada.

-*Políticas “demand-side”*: Essas políticas têm como principal foco ações pelo lado da demanda, gerando interesse por produtos que contenham novas tecnologias, mas que correm o risco de não ser economicamente rentáveis devido a falhas no sistema. As principais políticas de demanda são os contratos públicos, o desenvolvimento de mercados líderes, as regulações e os padrões e esquemas de precificação.

Os contratos públicos são instrumentos particularmente efetivos de estímulo ao consumo de bens e serviços inovadores, pois consistem no direcionamento de parte significativa da demanda – referente às empresas e organizações públicas – para aqueles produtos que encontrem dificuldades em se ajustar às preferências da demanda privada ou que necessitem de desenvolvimentos tecnológicos adicionais. Segundo Edquist & Hommen (2000), os contratos públicos podem ser definidos como a compra futura de “produtos ainda não existentes cujo *design* e produção requerem desenvolvimentos tecnológicos adicionais” (p. 5). As especificações funcionais dos produtos (características, desempenho) são predefinidas pelo governo e seu desenvolvimento cabe às empresas do setor (SOFKA *et al.*, 2008). Dessa forma, o governo estimula a oferta de novas tecnologias via especificações funcionais e cabe às empresas do setor realizar os esforços inovativos. A certeza de uma demanda garantida (do governo) é um estímulo adicional ao desenvolvimento de novas tecnologias.

Os mercados líderes são aqueles nos quais são observados os primeiros esforços de difusão de inovações e de onde ocorre a difusão para outros mercados. O estímulo à criação e ao fortalecimento de mercados líderes cria atmosferas nas quais a inovação é um dos componentes principais na definição das preferências dos consumidores, direcionando as estratégias das empresas para atividades com maior intensidade tecnológica.

A estandardização e a padronização direcionam o desenvolvimento de tecnologias que atendam as necessidades da sociedade por meio da criação de normas específicas para a comercialização de produtos e serviços. Por último, a precificação é um instrumento adotado para estimular a demanda privada via subsídios aos produtores (fixação de preços) e aos consumidores (pacotes de descontos) para determinados produtos.

Para que os objetivos das autoridades sejam alcançados, é preciso que haja alinhamento entre os vários instrumentos políticos existentes (OCDE, 2010). Por exemplo, as políticas *supply-side* têm de estar alinhadas às *demand-side*, de modo que uma complemente a outra e melhore o funcionamento do sistema setorial de inovação como um todo. Da mesma forma, as políticas setoriais devem estar alinhadas às políticas mais “gerais”.

Após a exposição dos instrumentos políticos de uma forma geral, resta a discussão de como estes afetam o sistema setorial de inovação do setor automotivo. Partindo dos efeitos indiretos, o estímulo ao desenvolvimento de tecnologias-chave, principalmente as relacionadas à mobilidade e energias limpas, passa diretamente pelas inovações desenvolvidas dentro do sistema de inovação do setor automotivo. Assim, o fortalecimento desse sistema torna-se crucial para que os objetivos dos programas nacionais e regionais de incentivo à inovação sejam cumpridos. França, Reino Unido, Estados Unidos, Austrália e Coréia do Sul são alguns dos países que lançaram programas específicos para aumentar os gastos em P&D específicos para tecnologias automotivas (OCDE, 2009).

Adicionalmente, esses programas - destinados a elevar a capacidade inovativa dos países e regiões - podem ampliar o número de tecnologias disponíveis para serem utilizadas nos automóveis. Um exemplo é o desenvolvimento da nanotecnologia que, como dito anteriormente, tem potencial para se tornar uma tecnologia de propósito geral, cujo escopo de aplicação pode facilmente se estender para a indústria automotiva.

O desenvolvimento de leis específicas para a transferência de tecnologia estrangeira também tem ajudado as OEMs domésticas no desenvolvimento de capacitações tecnológicas, especialmente em países em desenvolvimento. A China é um caso notável, pois, durante as décadas de 1990 e 2000, o governo chinês impôs uma condição para que as multinacionais pudessem atuar no vasto mercado chinês: elas deveriam constituir *joint-ventures* com empresas estatais e dividir sua tecnologia avançada com as parceiras chinesas (CARVALHO *et al.*, 2010). Essa medida incentivou as empresas automotivas chinesas a intensificar seu

conteúdo tecnológico – primeiro através de absorção de tecnologia das parceiras e depois através de P&D interna.

Um segundo ponto diz respeito às mudanças de gestão e de financiamento de universidades e centros de pesquisa públicos: a necessidade atual de desenvolver tecnologias novas e complexas para resolver o problema do consumo excessivo de combustível e dos efeitos nocivos ao meio ambiente é dependente de pesquisa “aplicada” e da geração de novos conhecimentos, o que torna atrativo para as empresas do setor automotivo buscar parcerias com universidades e centros de pesquisa públicos para reduzir os custos das pesquisas. Com estruturas de governança que estimulam esses acordos e canais adicionais de financiamento, essas organizações podem auxiliar sobremaneira o desenvolvimento de tecnologias limpas, por exemplo, em parceria com as montadoras e fornecedores.

Quanto aos instrumentos políticos de caráter setorial, destacam-se, pelo lado da oferta, a criação de linhas de crédito, normas e regulações, programas de construção de infraestrutura de suporte a novas tecnologias e, pelo lado da demanda, incentivos à aquisição de veículos eficientes e contratos públicos.

A criação de linhas de crédito se intensificou principalmente após a crise de 2008, na qual grande parte das montadoras ocidentais passou por dificuldades financeiras. Muitos governos exigiram - em troca da ajuda via crédito ou aquisição parcial das firmas - que os veículos produzidos se tornassem mais eficientes e menos poluentes, gerando um estímulo “forçado” ao investimento em novas tecnologias de propulsão (OCDE, 2009).

Os pacotes de estímulo à demanda, que incluem subsídios e contratos públicos, por outro lado, buscam corrigir falhas no sistema apresentadas na Subseção 3.3.2, como a inércia nos hábitos de consumo dos consumidores e o “prêmio” (custo adicional) associado à aquisição de veículos limpos, que dificultam a venda de veículos híbridos e elétricos. Nesse sentido, por exemplo, o governo americano oferece um crédito de US\$ 7.500 para a compra de veículos híbridos do tipo plug-in e elétricos, o governo do Reino Unido pretende oferecer um crédito de £ 5.000 e o Japão oferece redução de impostos para carros *eco-friendly*. Na União Européia, os governos têm oferecido créditos ou redução de impostos para que os consumidores possam trocar seus veículos antigos (com 8 anos ou mais) por veículos novos - mais eficientes, embora não sejam “limpos”. No Brasil, o governo implantou uma redução nos impostos sobre os carros *flex* em 2009 e pretende reduzir os impostos dos carros *flex* mais eficientes a partir de 2012.

Quanto aos contratos públicos, vários países têm estabelecido regras para aquisição de veículos por parte de empresas públicas e governos. Na União Européia, as organizações públicas devem, por lei, considerar o desempenho ambiental (eficiência energética e níveis de poluição) como critério de escolha ao adquirir veículos para suas frotas. Nos EUA, a Seção 141 do EISA (*Energy Independence and Security Act*) de 2007 determinou que todas as agências federais reponham suas frotas com veículos de baixa emissão de poluentes (OCDE, 2009).

Os programas de construção de infra-estrutura para veículos híbridos e elétricos também buscam corrigir falhas no sistema, especificamente a falta de pontos de recarga, de troca de baterias e de manutenção que possibilitem aos consumidores utilizar seus veículos de propulsão alternativa de forma semelhante aos veículos “tradicionais”. O governo alemão, por exemplo, irá investir nos próximos anos US\$ 700 milhões em planos de desenvolvimento de estações de recarga para veículos elétricos. Os EUA e a China pretendem desenvolver conjuntamente projetos de infra-estrutura para esses veículos, enquanto o Reino Unido pretende investir £ 20 milhões para a criação de uma rede de estações de recarga e projetos experimentais, além de implementar 25 mil pontos de recarga em Londres. Em Israel, o governo tem construído uma infra-estrutura que inclui 500 mil estações de recarga e 200 centros para troca de baterias.

Entretanto, o problema dos investimentos em infra-estrutura é mais complexo do que aparentemente parece. Isso porque, mesmo se houvesse infra-estrutura de abastecimento e demanda por automóveis híbridos e elétricos, estes continuariam poluindo o ambiente de forma indireta, pois as fontes de energia utilizadas para o fornecimento de energia para tais veículos são, atualmente, baseadas na queima de combustíveis fósseis (como as usinas termo-elétricas). Além disso, um aumento tão significativo na utilização da estrutura de abastecimento de energia poderia causar panes ou insuficiência, dado que tal estrutura foi construída para um determinado nível de consumo. Nesse sentido, a adoção em massa de veículos limpos como o elétrico e o híbrido (do tipo *plug-in*) inclui, necessariamente, investimentos em fontes de geração de energia limpa (eólica, solar, hidrelétrica etc.) e aumento da estrutura de abastecimento de energia elétrica.

Por último, vale destacar a criação de normas de emissão de poluentes e economia de combustível, como as criadas pela União Européia e Estados Unidos. Diversos países têm adotado alguma dessas normas como referência para controlar as emissões de poluentes dos

veículos vendidos em seus territórios (Tabela 15). Em geral, elas estabelecem quantidades máximas para a emissão de gases e partículas poluentes - como o óxido nitroso, monóxido de carbono, dióxido de carbono, metano e outros hidrocarbonetos – e para a economia de combustível (milhas ou quilômetros por litro de combustível) levando em consideração um tempo de vida para o automóvel (ex: 100 mil km ou 10 anos de uso). A meta é reduzir a emissão e o consumo através de normas rígidas, porém de aplicação gradual, de forma que os fabricantes tenham tempo suficiente para desenvolver e aplicar novas tecnologias limpas em seus veículos.

TABELA 15– Principais instituições (leis, normas, diretivas) de controle da emissão de poluentes e economia de combustível – Países e regiões selecionadas

País	Regulação	Base	Órgão Responsável
EUA	CAFE/1976 e revisões posteriores; <i>Clean Air Act</i> /1990; EISA/2007; Normas estabelecidas pelo EPA (Tier I e II)	Base própria	EPA (emissão de poluentes); DOT (economia de combustível)
EUA - Califórnia e outros Estados	<i>California Bill</i> AB 1493/2002; Normas estabelecidas pelo CARB (LEV I, II e III)	Base própria	CARB - California Air Resources Board
Brasil	CONAMA 8/93; 315/2002/; 354/2004; 403/2008; 415/2008	Normas europeias	IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
Japão	<i>Energy Conservation Law</i> /1976 e revisões posteriores	Base própria	Governo Japonês
União Européia	Diretiva 70/220/EEC e revisões posteriores até 2004; Regulação 715/2007 a partir de 2007; Regulação 443/2009	Base própria	Comissão Européia
China	Regulação GB 14761/1993; GB 17691/2005	Normas europeias	<i>State Environmental Protection Administration (SEPA)</i>
Índia	<i>National Auto Fuel Policy</i> /2003	Normas europeias	<i>Standing Committee on Implementation of Emission Legislation (SCOEL)</i> ; Governo Indiano (Bharat)
Rússia	ECE R83.02-05; ECE R49.02-04	Normas europeias	Governo Russo

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de diversas fontes.

As normas de emissão da União Européia, sumarizadas na Tabela 16, foram sancionadas através de diversas diretivas e compreendem um período de 22 anos nos quais os fabricantes europeus devem reduzir consideravelmente suas emissões de gases poluentes. Países como China, Índia, Rússia, Turquia utilizam as normas europeias como referência para

formular suas políticas de controle de emissão de poluentes pelos automóveis, ainda que de forma “defasada”⁵³. A norma brasileira, PROCONVE, também se baseia na norma europeia, embora seja menos rígida, pois não inclui restrições quanto ao número de partículas por milhão e também é ligeiramente defasada em relação às normas europeias.

Quanto às normas de emissão de dióxido de carbono (CO₂), diretamente proporcionais à economia de combustível, a Comissão Europeia e três associações de construtores de automóveis (ACEA – *European Automobile Manufacturers Association*, JAMA – *Japanese Automobile Manufacturers Association* e KAMA – *Korean Automobile Manufacturers Association*) chegaram a um acordo voluntário em 1998-99, estabelecendo uma meta de emissões de 140g/km em 2008-2009. Entretanto, como essa meta não foi cumprida, a comissão optou por criar normas de emissões de, no máximo, 130g/km até 2015 e 95g/km até 2020 para automóveis de passeio. Os fabricantes que não se adequarem podem ser penalizados em até € 95,00 por veículo para cada g/km excedente.

TABELA 16 – Normas de emissão de poluentes em veículos de passeio movidos à gasolina – União Europeia

Estágio	Ano de implementação	CO	HC	HC + NOx	NOx	PM
<i>Euro I</i>	1992	2,72	-	0,97	-	-
<i>Euro II</i>	1996	2,20	-	0,50	-	-
<i>Euro III</i>	2000	2,30	0,2	-	0,15	-
<i>Euro IV</i>	2005	1,00	0,1	-	0,08	-
<i>Euro V</i>	2009	1,00	0,1	-	0,06	0,005
<i>Euro VI</i>	2014	1,00	0,1	-	0,06	0,005

*Em gramas por quilômetro rodado (g/km).

Legenda: CO = Monóxido de Carbono; HC: Hidrocarbonetos, incluindo metano (CH₄); NO_x = Óxido nítrico; PM = Material Particulado.

Fonte: Comissão Europeia – www.ec.europa.eu.

Atualmente existem duas normas de controle de emissão de poluentes em vigor nos EUA (Tabela 17): uma formulada pela EPA – *U. S. Environmental Protection Agency*, de abrangência nacional, e outra formulada pelo CARB – *California Air Resources Board* do Estado da Califórnia e adotada em alguns outros Estados americanos (os chamados *CARB States*). A primeira compreendeu, até o momento, duas fases distintas divididas em *tiers*, o primeiro valendo de 1994 a 2003 e o segundo de 2004 a 2009, sendo que, na segunda, foram formulados dez diferentes padrões (*bins*) para a emissão de poluentes, que vão de *Bin 10*

⁵³ Ambos adotaram a norma Euro IV apenas em 2010.

(mais poluente) à *Bin 1* (menos poluente). No final de 2008, os *bins* 9 e 10 foram retirados, o que significa que todos os automóveis e caminhões leves devem agora ser classificados abaixo desses padrões.

TABELA 17 - Normas de emissão de poluentes em veículos de passeio e caminhões leves (Picapes, SUVs, Vans e Minivans) movidos à gasolina – EUA (EPA e CARB)

Limites de emissão na vida útil do automóvel (100-120.000 milhas rodadas)							
Classificação	Ano Modelo	NOx	NMOG	CO	PM	HCHO	Escore de poluição do ar**
U.S. EPA							
Tier 1							
<i>LDV</i>	1994-2003	0,600	0,310	4,200	0,100	-	1
Tier 2							
<i>Bin 1</i>	2004+	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	10
<i>Bin 2</i>	2004+	0,020	0,010	2,100	0,010	0,004	9
<i>Bin 3</i>	2004+	0,030	0,055	2,100	0,010	0,011	8
<i>Bin 4</i>	2004+	0,040	0,070	2,100	0,010	0,011	7
<i>Bin 5</i>	2004+	0,070	0,090	4,200	0,010	0,018	6
<i>Bin 6</i>	2004+	0,100	0,090	4,200	0,010	0,018	5
<i>Bin 7</i>	2004+	0,150	0,090	4,200	0,020	0,018	4
<i>Bin 8</i>	2004+	0,200	0,125	4,200	0,020	0,018	3
<i>Bin 9</i>	2004-2008	0,300	0,090	4,200	0,060	0,018	2
<i>Bin 10</i>	2004-2008	0,600	0,156	4,200	0,080	0,018	1
CARB							
Programa LEV I							
<i>ULEV I</i>	2001-2006	0,300	0,055	2,100	n/a	0,011	3
<i>LEV I</i>	2001-2006	0,300	0,090	4,200	n/a	0,018	2
<i>TLEV I</i>	2001-2003	0,600	0,156	4,200	n/a	0,018	1
Programa LEV II							
<i>ZEV</i>	2004+	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	10
<i>PZEV</i>	2004+	0,020	0,010	1,000	0,010	0,004	9,5
<i>SULEV II</i>	2004+	0,020	0,010	1,000	0,010	0,004	9
<i>ULEV II</i>	2004+	0,070	0,055	2,100	0,010	0,011	7
<i>LEV</i>	2004+	0,070	0,090	4,200	0,010	0,018	6
<i>LEV II</i>	2004+	0,100	0,090	4,200	0,010	0,018	5

*Em gramas por milha rodada

** O escore desenvolvido pela EPA permite comparar efetivamente o nível de poluição de ar de cada padrão adotado e vai de 1 a 10, sendo 1 o mais poluidor e 10 não emite gases e partículas nocivas ao meio ambiente.

Legenda: NOx = óxido nitroso; NMOG = Gases orgânicos exceto Metanol; CO = Monóxido de Carbono; PM = Material Particulado; HCHO = Formaldeído; TLEV = Transitional Low Emission Vehicle; LEV = Low Emission Vehicle; ULEV = Ultra Low Emission Vehicle; SULEV = Super Ultra Low Vehicle; PZEV = Partial Zero Emission Vehicle; ZEV = Zero Emission Vehicle.

Fonte: EPA - U.S. Environmental Protection Agency.

A norma do Estado da Califórnia é mais rígida do que a da EPA e foi dividida em três programas de redução gradual das emissões, o LEV I, LEV II e LEV III (a partir de 2014). Em 2009, o presidente americano Barack Obama anunciou que, a partir de 2016, as normas nacionais seguirão o padrão das normas da Califórnia, o que indica que haverá um controle maior nos níveis de emissão americanos.

Além das normas de emissão de poluentes, o DOT (*U. S. Department of Transport*) também mantém normas para a economia de combustível através do CAFE (*Corporate Average Fuel Economy*), visando a redução das emissões de dióxido de carbono (CO₂), gás responsável pelo aumento do efeito estufa. A meta se manteve inalterada desde 1990 (27,5 milhas por galão *em média*, para veículos de passeio), mas, em 2009, houve uma revisão, estabelecendo que, até 2016, a média de economia de combustível deverá aumentar para 35,7 milhas por galão, ou um aumento médio de 8 milhas por galão para cada automóvel de passeio. Os fabricantes que não se enquadram nas metas estabelecidas pelo CAFE podem ter que pagar multas de cerca de US\$ 50 por veículo para cada milha por galão excedente. Entretanto, estes podem até fabricar automóveis mais poluentes, desde que, na média, a emissão de seus veículos se mantenha dentro das metas do CAFE. Isso explica porque as grandes montadoras americanas fabricavam automóveis pequenos no início dos anos 2000 mesmo tendo prejuízo com sua produção: esses veículos compensavam as altas emissões dos SUVs fabricados.

TABELA 18 – Metas de economia de combustível estabelecidas pela CAFE

Ano/Modelo	Meta (milhas/galão)
<i>1990-2010</i>	27,5
<i>2012</i>	31,2
<i>2013</i>	32,8
<i>2014</i>	34,0
<i>2015</i>	34,8
<i>2016</i>	35,7

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da EPA (2010).

Portanto, o aumento no número de normas e padrões de emissão de poluentes e economia de combustível na última década, bem como o endurecimento das metas a serem alcançadas, são importantes estímulos ao desenvolvimento de tecnologias de propulsão alternativas bem como ao melhoramento dos motores à combustão interna, que por sua vez alteram a dinâmica do sistema de inovação do setor automotivo. Graças ao aumento da rigidez

das normas da CAFE nos EUA, estima-se que as montadoras gastarão cerca de US\$ 52 bilhões em pesquisa, desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias entre 2012 e 2016 para adequarem seus veículos às normas estabelecidas (Tabela 19). As normas de emissões e economia de combustível não afetam diretamente as escolhas dos consumidores, mas agem sobre a oferta, tornando mais custoso para os fabricantes construir veículos ineficientes. Seu caráter gradual faz com que os fabricantes tenham tempo suficiente para desenvolver e adaptar novas tecnologias aos seus veículos, ainda que esse processo seja, em grande parte, incerto.

TABELA 19 – Estimativa de gastos incrementais das OEMs e fornecedores em tecnologia para adaptação às metas da CAFE (US\$ Bilhões)

	2012	2013	2014	2015	2016	Total
<i>Carros de Passeio</i>	4,1	5,4	6,9	8,2	9,5	34,2
<i>Caminhões Leves</i>	1,8	2,5	3,7	4,3	5,4	17,6
<i>Soma</i>	5,9	7,9	10,6	12,5	14,9	51,8

Fonte: EPA (2010).

As mudanças nas instituições do tipo *soft* (NORTH, 1990), retratadas também ao longo do trabalho nas outras dimensões do SSI, apontam para alterações nas “regras implícitas” de comportamento dos agentes do sistema: em primeiro lugar, existe uma tendência das firmas e dos países quanto ao aumento dos gastos em P&D e atividades inovativas, criando uma atmosfera de valorização do conhecimento e da inovação nas empresas e na sociedade em geral. Em segundo lugar, o aumento da preocupação com o meio ambiente e com o caráter poluidor do automóvel e com a sua eficiência vem influenciando crescentemente as decisões dos consumidores (Ver Subseção 3.3.2) e, conseqüentemente, das firmas do setor (OEMs e fornecedores), que agora buscam investir mais em tecnologias limpas e eficientes (Ver Subseção 3.3.3). Em terceiro lugar, as formas de interação entre os atores (OEMs concorrentes, fornecedores, governos, universidades e centros de pesquisa) também têm se alterado como consequência do aumento da complexidade das tecnologias envolvidas (introdução da microeletrônica, novos materiais, criação de novos sistemas) e das restrições de investimentos.

As mudanças nas instituições do tipo *soft* influenciam a evolução das instituições do tipo *hard* e vice-versa: as instituições políticas (do tipo *hard*) são responsáveis por corrigir falhas no sistema que impedem o desenvolvimento dos processos inovativos e/ou a adoção de inovações nos automóveis, além de direcionar as atividades de P&D para os fins que mais

contribuam para resolver os problemas que se colocam para a sociedade. Para atingir esse objetivo, elas constantemente direcionam, alteram e restringem as regras implícitas de comportamento dos agentes do sistema (demanda, fabricantes).

No passado, as instituições influenciaram o modo como os automóveis eram desenvolvidos: nos EUA, por exemplo, os incentivos governamentais à construção de estradas largas e planas e o combustível subsidiado influenciaram no desenvolvimento do automóvel americano do pós-guerra - grande, potente e ineficiente. Atualmente, as decisões políticas também podem afetar o desenvolvimento dos automóveis das próximas décadas alterando as decisões de consumidores e fabricantes e, indiretamente, pelos programas nacionais que estimulam os gastos em pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias que podem ser incorporadas no sistema de inovação automotivo, como a nanotecnologia e a engenharia de materiais. Além disso, em alguns países, a influência política de algumas indústrias pode ser um empecilho à adoção de veículos limpos ao impedir ou abrandar o funcionamento das instituições políticas, como o *lobby* exercido nos EUA pela indústria petrolífera.

Olhando sob outro ponto de vista, é possível ver também como as instituições *hard* têm evoluído ao longo das últimas duas décadas como consequência de mudanças nas instituições do tipo *soft*: os programas nacionais e regionais de incentivo à inovação retratados na presente subseção são resultado do consenso dos atores de que os investimentos na geração de conhecimentos científicos e inovações tecnológicas são indutores do crescimento econômico. Atualmente, investir em P&D *não é apenas uma estratégia secundária*, mas uma das principais estratégias para se manter competitivo no mercado.

Em segundo lugar, as instituições *hard* específicas ao setor automotivo também têm evoluído para acompanhar as principais mudanças no ambiente setorial e corrigir falhas no sistema decorrentes das alterações (e/ou da inércia) nas instituições *soft*: a crescente rigidez nas normas de emissões e economia de combustível só pôde ser colocada em prática devido aos avanços nas tecnologias aplicadas aos automóveis e é resultado das alterações no comportamento dos atores, além de serem estímulos à demanda e à oferta para que novas tecnologias sejam colocadas no mercado. O aparecimento de instituições destinadas a garantir o investimento público em infra-estrutura compatível com as novas tecnologias de propulsão, por exemplo, soluciona um problema do tipo “*chicken and egg*” no qual as montadoras hesitam em colocar veículos “limpos” no mercado porque não existe infra-estrutura de apoio e

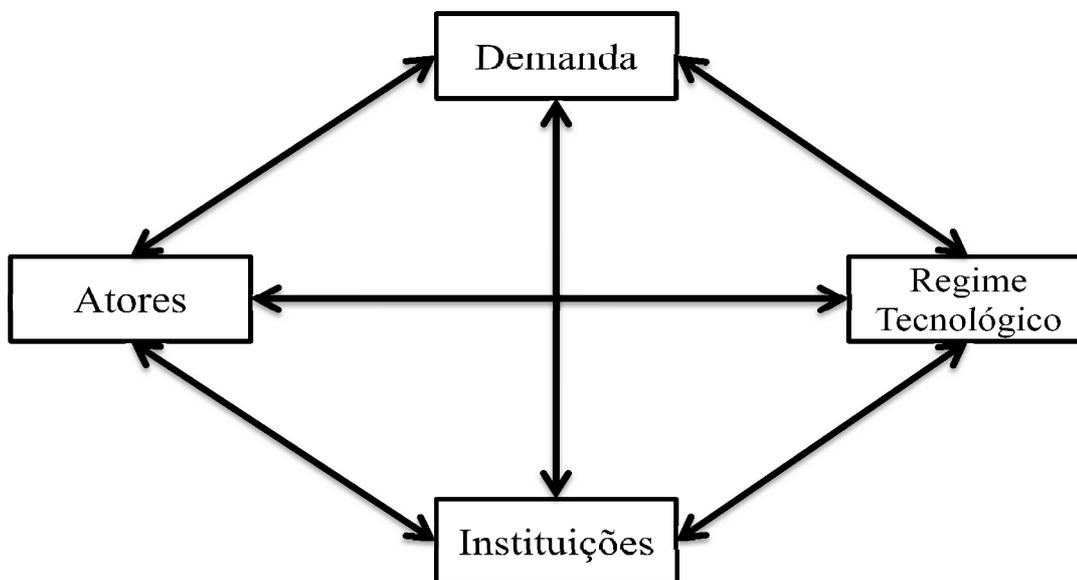
os agentes privados hesitam em construir tal infra-estrutura pelo número reduzido de veículos “limpos” no mercado.

Por último, a potencial adoção em massa de veículos elétricos e híbridos exigirá também regulações específicas, como normas para a emissão de poluentes das usinas elétricas movidas a combustíveis fósseis e leis que incentivem a construção de fontes limpas de energia ou ainda quanto ao destino das baterias descartadas⁵⁴, que poluem o meio ambiente.

3.4 - A Análise Multidimensional

A análise multidimensional é o último item da metodologia utilizada no presente trabalho. Através dessa análise, será possível perceber como cada dimensão afeta e é afetada pelas outras. A Figura 26 mostra as relações de interdependência entre as dimensões do sistema. Todas essas relações acontecem simultaneamente, ou seja, não existe uma relação de causalidade na qual a evolução de uma das dimensões “puxa” ou “inicia” a evolução das outras. De fato, o que se verifica é a *coevolução* das diferentes dimensões.

FIGURA 26 - O Sistema Setorial de Inovação



Fonte: Elaboração própria.

A análise conjunta das dimensões relativas às dimensões dos **atores**, da **demanda**, do **regime tecnológico**, e das **instituições** permite perceber como as dimensões se interligam e co-evoluem.

⁵⁴ Uma ideia é deixar o controle desse descarte a cargo das próprias montadoras, o que por um lado pode encarecer o valor do automóvel, mas por outro pode incentivar a pesquisa para baterias mais duráveis e/ou reutilizáveis.

Nosso estudo percebe alterações no comportamento dos consumidores (demanda) e dos governos (via instituições políticas como as normas de emissão), refletindo a preocupação da sociedade com o caráter poluidor e ineficiente do automóvel, que vêm impondo aos fabricantes que produzam automóveis mais eficientes e “limpos”, características que as tecnologias atuais (motor à combustão interna) dificilmente conseguirão atingir apenas com inovações incrementais, já que se trata de um conjunto de tecnologias maduras cujo desenvolvimento incremental possui custos marginais crescentes. Entretanto, como o preço dos automóveis “limpos” dotados de novas tecnologias ainda é bastante alto e seu desempenho é fraco comparado aos veículos convencionais, a demanda ainda reluta em adquiri-los.

As empresas do setor, pressionadas pelas normas de emissão, têm direcionado seus esforços inovativos para melhorar o consumo e reduzir a poluição dos automóveis, auxiliados pela absorção de tecnologias de outros setores, dentre os quais destacamos a micro-eletrônica e novos materiais e sistemas como as baterias de Ni-MH e Li-Ion, que foram desenvolvidas ao longo dos anos 1990 e 2000 para aplicações em celulares, notebooks e outros equipamentos eletrônicos e agora viabilizam – parcialmente - o desenvolvimento de veículos híbridos e elétricos. As firmas também direcionam seus esforços para o desenvolvimento de processos inovadores que reduzam os custos de produção e comercialização dos veículos dotados dessas novas tecnologias.

Nesse sentido, o regime tecnológico que caracteriza o sistema setorial de inovação da indústria automobilística, tradicionalmente caracterizado pela introdução de inovações incrementais de produto e processo (*creative accumulation*), tem se mostrado mais dinâmico com o surgimento de oportunidades tecnológicas associadas “(...) aos avanços na tecnologia do motor a combustão interna, às novas tecnologias da micro-eletrônica, de materiais, de informação e, mais recentemente, às emergentes – e inovadoras – técnicas de propulsão dos autoveículos” (CARVALHO, 2008, p. 13). Entretanto, existem “gargalos” tecnológicos que não são facilmente solucionáveis e que dificultam a comercialização das novas tecnologias.

Portanto existe uma relação cada vez mais instável entre a demanda do mercado e o desenvolvimento dos veículos – no sentido de as empresas do setor não conseguirem acompanhar as mudanças nos valores e expectativas dos consumidores – que gera uma pressão por inovações tecnológicas mais “radicais”. Para conseguir desenvolver as novas tecnologias – significativamente mais complexas - e ir ao encontro das expectativas da demanda e das instituições, num contexto de fortes pressões sobre os custos de desenvolvimento dos automóveis, as OEMs repassam cada vez mais o desenvolvimento de

produto para seus fornecedores de primeiro nível, que necessitam investir mais em P&D e absorção de conhecimentos, e buscam parcerias com outros atores como governos, universidades e até mesmo concorrentes (como nos programas FreedomCAR e EUCAR). Essas mudanças permitem às OEMs dividir os custos e os riscos inerentes aos processos inovativos mais complexos.

Os governos também vêm auxiliando o desenvolvimento de novas tecnologias através das instituições políticas como: diretrizes e metas nacionais de investimento em P&D, contratos públicos, incentivo à construção de infra-estrutura de suporte às novas tecnologias, entre outras. Estas medidas reduzem os riscos e os custos do desenvolvimento dessas tecnologias e criam uma demanda inicial para os automóveis “limpos”. As normas de emissões são estímulos “forçados” às OEMs para que se engajem em processos inovativos complexos que possibilitem reduzir o consumo e as emissões de poluentes dos automóveis. Portanto, as instituições buscam solucionar as falhas do sistema – pelo lado da oferta e da demanda - que impedem o desenvolvimento de tecnologias “superiores” como a de veículos híbridos e elétricos.

Nossa análise permite afirmar que o SSI do setor automotivo *está se tornando significativamente mais dinâmico e complexo*. Apesar do reconhecimento de que existem diferenças entre os países no que se refere à demanda e atuação governamental e entre o próprio comportamento individual dos atores, a análise empreendida no presente trabalho – a nível mundial – permite concluir que:

1) As fronteiras setoriais do conhecimento têm se expandido, pois o sistema conta com a participação de um número crescente de atores nos processos inovativos, como fornecedores, universidades e governo. A base de conhecimentos das empresas do setor utiliza conhecimentos significativamente mais complexos e advindos de diferentes campos da ciência. As OEMs e também os fornecedores necessitam de capacitações tecnológicas e organizacionais cada vez maiores para continuar inseridas nesse ambiente cada vez mais complexo;

2) Em grande parte dos países da Tríade e em alguns países emergentes, o sistema tem lançado mão de instituições políticas para resolver suas principais “falhas” que poderiam eventualmente impedir essa dinamização, como leis e normas de emissão, além de contrados de demanda pública para a compra de veículos limpos;

3) As expectativas e valores da demanda (em maior ou menor grau, dependendo do país) e as normas impostas ao setor impõem desafios às empresas que só poderão ser

superados com inovações (de produto e de processo, incrementais e radicais) que superam muito – em quantidade e qualidade – as que o sistema estava habituado a realizar.

Esses fatores contribuem para a visão de que está em curso um processo de “desamadurecimento” (*de-maturity*) (ALBERNATHY *et al.* 1983) no regime tecnológico do setor. Segundo Albernathy & Clark (1984), tecnologias maduras são fruto de períodos de inovações regulares, que por sua vez dependem de uma relação estável entre as preferências do consumidor e o *design* do produto. Durante esse período de regularidade inovativa aparecem os *designs dominantes*, características básicas do produto, que são melhoradas - mas não substituídas - com o tempo. Essa era a situação da indústria automotiva há pouco tempo atrás: as preferências do consumidor eram plenamente atendidas pelo *design* de produto, o que levava a inovações regulares (no motor à combustão interna, por exemplo) e maturidade tecnológica.

Segundo os autores, três tipos de mudanças podem desencadear os processos de rejuvenescimento no regime tecnológico. A primeira diz respeito ao aparecimento de novas tecnologias e/ou aplicações de tecnologias existentes que não podem ser aplicadas ao *design* dominante. A segunda são as mudanças nas preferências dos consumidores, que desestabilizam a relação demanda-*design*, impondo requerimentos que não podem ser alcançados apenas com inovações incrementais pautadas no *design* dominante. A terceira são mudanças institucionais, como requerimentos ou normas técnicas impostas pelo governo e órgãos regulatórios. Como pode ser analisado pelas mudanças nas dimensões do regime tecnológico, demanda e instituições, todos esses fatores estão presentes no contexto atual.

Os dados de P&D e patentes (*proxys* da intensidade inovativa) e as análises qualitativas apresentadas ao longo do trabalho corroboram essas conclusões. Acreditamos que este movimento de dinamização do sistema e “desamadurecimento” do regime tecnológico ainda é incipiente e poderá ser bem maior no futuro, quando as normas forem mais rígidas, os “novos” valores dos consumidores forem incorporados em suas decisões de consumo e quando houver avanços tecnológicos significativos (aumento do desempenho e redução dos custos de produção) nas novas tecnologias.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como apresentado no Capítulo 1, existem vários modelos que se ocupam em explicar a natureza e a dinâmica dos processos de mudança tecnológica, como o modelo linear, o modelo interativo, o modelo de inovação aberta, o modelo evolucionário, entre outros. Cada um desses modelos se ocupa em explicar algum aspecto desses processos, como as etapas do desenvolvimento de produto ou a interação entre a estrutura do mercado e a inovação.

O modelo apresentado no Capítulo 2 considera que os processos inovativos são fruto das interações *sistêmicas* entre diversos atores firma e não-firma, usuários e produtores, cujas relações são permeadas por instituições (leis, normas, procedimentos usuais, padrões de comportamento). A base de conhecimentos e o regime tecnológico também determinam e são determinados por essas complexas relações. Dessa forma, se constrói o *Sistema Setorial de Inovação*. Embora essa abordagem ainda tenha suas simplificações, ela oferece um panorama bastante realista da dinâmica e da natureza dos processos inovativos.

O nosso trabalho buscou desenvolver uma metodologia de análise qualitativa de Sistemas Setoriais de Inovação aplicável a estudos de caso em setores complexos como o automotivo. A teoria de SSI é bastante recente e ainda sofre limitações conceituais que limitam sua aplicabilidade. Muitas das idéias de seu criador, Franco Malerba, continuam vagas e sujeitas a diversas interpretações que distorcem e alteram o conceito, impedindo ainda que estudos sobre diferentes setores – baseados em diferentes interpretações sobre a metodologia – possam ser comparáveis. Nossa metodologia buscou seguir a metodologia original de Malerba (2002), discutindo cada uma das diferentes dimensões e realizando uma análise multidimensional que captasse suas interações sistêmicas e sua co-evolução.

O setor automotivo tem passado por várias mudanças nos últimos anos que têm alterado a dinâmica de seu SSI, como o aumento na incorporação da microeletrônica nos automóveis e – em especial nos últimos anos da década de 2000 – pelo investimento em novas tecnologias de propulsão, que tem alterado o regime tecnológico e a base de conhecimentos utilizada no sistema de inovação. Além disso, detectamos mudanças nas relações entre os atores do sistema, especialmente entre OEMs e fornecedores de nível 1, que agora dividem a responsabilidade sobre o desenvolvimento do automóvel, e alterações nas expectativas e valores subjetivos dos consumidores. A demanda vem valorizando automóveis mais “limpos” e eficientes, ainda que esta mudança não tenha influenciado tanto - até o momento – as decisões de consumo devido ao alto preço desses automóveis. Por último, nota-

se o aparecimento e/ou fortalecimento de instituições destinadas a solucionar as principais “falhas” do sistema, como as políticas de incentivo à inovação e as normas de emissão de poluentes e economia de combustível. Entretanto, uma falha persiste: a demanda ainda permanece relutante em adquirir os novos automóveis. Faltam mudanças institucionais mais fortes direcionadas para a solução dessa falha, como incentivos fiscais e crédito para a aquisição de automóveis limpos, bem como incentivos para o investimento em inovações de processo que possam reduzir o custo desses automóveis. As poucas iniciativas nesse sentido ainda são bastante incipientes e não têm o poder de estimular fortemente uma mudança de atitude real por parte dos consumidores.

Todas essas mudanças, embora pertencentes a diferentes dimensões do sistema, evoluem em conjunto. A análise multidimensional mostrou algumas das principais interligações entre esses movimentos. Dessa forma, percebemos que as alterações no comportamento da demanda e das instituições tem levado a mudanças profundas no regime tecnológico e na base de conhecimentos. Essas mudanças explicam as alterações nas relações e no comportamento dos atores, como entre as OEMs e fornecedoras nível 1. Por último, as próprias mudanças no regime tecnológico e nas relações dos atores alteram o comportamento da demanda e das instituições. Novas leis e normas são criadas com base nas expectativas de desenvolvimento de tecnologias, que são determinadas pelo regime tecnológico. As expectativas da demanda também se alteram com o surgimento de novas alternativas tecnológicas.

O processo inovativo, visto pela ótica do SSI, funciona como um mecanismo no qual alterações num elemento provocam reações em todos os outros elementos e, portanto, no sistema como um todo. A análise multidimensional e a análise das dimensões provam que esse processo não é composto somente por uma relação linear da demanda para o desenvolvimento tecnológico (*demand pull*) nem por uma relação linear do desenvolvimento tecnológico para a demanda (*technologic push*) mas por um conjunto de várias relações que evoluem de forma *simultânea* e *contínua*.

O trabalho conclui que o Sistema Setorial de Inovação do setor automotivo tem se tornado significativamente mais *dinâmico* e *complexo*. As fronteiras setoriais do conhecimento têm se expandido para além das OEMs, o número de atores envolvidos nos processos inovativos aumentou graças à elevação da participação dos fornecedores de primeiro nível, governos e universidades. A tecnologia, as expectativas e valores da demanda

e as normas impostas ao setor são crescentemente complexas, exigindo das firmas capacitações tecnológicas e organizacionais superiores, impondo desafios às empresas que só poderão ser superados com inovações (incrementais e radicais) que superam muito – em quantidade e qualidade – as que o sistema estava habituado a realizar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AAM – *Alliance of Automobile Manufacturers* (EUA). Website: <http://www.autoalliance.org>.

ABRAMOVITZ, M. (1956). “Resource and Output Trends in the United States Since 1870. *American Economic Review*, v. 46, pp. 5-23.

ACEA – *Association des Constructeurs Européens d’Automobiles*. Website: <http://www.acea.be>.

ADNER, R., (2003). “When are technologies disruptive: a demand-based view of the emergence of competition”. *Strategic Management Journal* 23 (8), p. 667–688.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP/SPP). Website: <http://www.anp.gov.br/>.

Agência Paulista de Promoção de Investimentos e Competitividade (Investe São Paulo). Boletim sobre o setor automobilístico. Disponível em: <http://www.investimentos.sp.gov.br/setores/automotivo>.

ABERNATHY, W. J. & CLARK, K. B. (1984). “Innovation: Mapping the winds of creative destruction”. *Research Policy*, 14, p. 3-22.

ABERNATHY, W. J.; CLARK, K. B. & KANTROW, A. M. (1983). *Industrial Renaissance*. Basic Books: New York.

ANFAVEA (2010). *Anuário da Indústria Automobilística Brasileira*. São Paulo: Anfavea.

ARNOLD, E. (2004). “Evaluating research and innovation policy: A systems world needs systems evaluations”. *Research Evaluation*, 13(1), 3-17.

ARROW, K. (1962). “Economic welfare and the allocation of resources for invention”. In National Bureau of Economic Research, *The rate and direction of inventive activity*, Princeton: Princeton University Press.

BACH, L. & MATT, M. (2005) “From economic foundations to S&T policy tools: a comparative analysis of the dominant paradigms”. In P. Llerena and M. Matt, *Innovation policy in a knowledge-based economy*, Springer-Verlag.

BAILEY, D; de RUYTER, A.; MICHIE, J. & TYLER, P. (2010). “Global Restructuring and the auto industry”. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 3, p. 311-318.

BALCONI, M.; BRUSONI, S. & ORSENIGO, L. (2010). “In defense of the linear model: An essay”. *Research Policy* 39 (2010), pp. 1-13.

BALLESTERO-ALVAREZ, M. E. (1990). *Organização, Sistemas e Métodos*. São Paulo: McGraw-Hill.

BERTALANFFY, L. Von (1975). *Teoria Geral dos Sistemas – 2ª Edição*. Petrópolis: Vozes.

- BIS - Department for Business Innovation & Skills., (2010). *The 2009 R&D Scoreboard the top 1,000 UK and 1,000 Global Companies by R&D Investment Company Data*.
- BNDES (2008). O novo ciclo de investimentos do setor automotivo brasileiro. Informe Setorial do BNDES, Julho/2008, nº 7. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br>.
- BOSTON CONSULTING GROUP (2010). "Batteries for Electric Cars: Challenges, Oportunities, and the Outlook 2020". BCG Report.
- BRESCHI, S. & MALERBA, F. (1997). "Sectoral Innovation Systems: technological regimes, Schumpeterian dynamics and spatial boundaries". In Edquist, C. (ed.) (1997), *Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations*. London and Washington: Pinter/Cassell Academic.
- BUSH, V. (1945). *Science: The endless frontier: A report to the President*. Washington, DC: US Government Printing Office.
- CARLSSON, B. & ELIASSON, G. (1994). "The Nature and Importance of Economic Competence," *Industrial and Corporate Change*, 3 (1), pp. 687-711.
- CARLSSON, B.; JACOBSSON, S.; HOLMÉN, M. & RICKNE, A. (1999). "Innovation Systems: Analytical and Methodological Issues". DRUID's Conference on National Innovation Systems, Industrial Dynamics and Innovation Policy, Rebuild, June 9-12, 1999.
- CARVALHO, E. G. de (2002). "A comparative study on product and R&D strategies of majors Assemblers of Brazilian Car Industry". Artigo apresentado no 10º Encontro Internacional do GERPISA, Paris, 2002.
- CARVALHO, E. G. de, (2003a). *Globalização e Estratégias Competitivas na Indústria Automobilística: uma abordagem a partir das principais montadoras instaladas no Brasil*. Campinas: IE/UNICAMP (Tese de doutorado).
- CARVALHO, E. G. de (2003b). "Internationalization of research and development, creation of local competencies in the product development, and the recent performance of the main assemblers of the Brazilian Car Industry". Artigo apresentado no 11º Encontro Internacional do GERPISA, Paris, 2003.
- CARVALHO, E. G. de (2008). "Inovação Tecnológica na Indústria Automobilística: características e evolução recente". *Economia e Sociedade*, Campinas, v. 17, n. 3 (34), pp. 429-461, (dez. 2008).
- CARVALHO, E. G. de & PINHO, M. (2009). "Indústria Automobilística: Nota Técnica Final". Projeto de pesquisa "Perspectivas de Investimento no Brasil", IE/UFRJ e UNICAMP.
- CARVALHO, E. G.; FARIA, L. G. D.; MORCEIRO, P.; FRANÇA, M. (2010). "The Effects of the Crisis on the Auto Assemblers Investment Strategies in Brazil and China". Paper presented at 18th GERPISA International Colloquium, Berlin/Wolfsburg, June 2010.
- CASSIOLATO, J. E. (1992). *The Role of User-Producer Relations in Innovation and Diffusion of New Technologies: Lessons from Brazil*. Tese de Doutorado, SPRU, University of Sussex.
- CASTELLACCI, F. (2008). "Technological paradigms, regimes and trajectories: Manufacturing and service industries in a new taxonomy of sectoral patterns of innovation". *Research Policy* Volume 37, Issues 6-7, July 2008, pp. 978-994.
- CCFA – *Comité des Constructeurs Français D'Automobiles*. Website: <http://www.ccfa.fr>.
- CHESBROUGH, H., VANHAVERBEKE, W. & WEST, J. (Eds.) (2006). *Open Innovation: researching a new paradigm*. Oxford University Press.

- CHRISTENSEN, C.M., (1997). *The Innovators Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail*. Harvard Business School Press, Boston, MA.
- CLARK, K. B. & FUJIMOTO, T. (1991). *Product Development Performance: Strategy, organization and management in the world auto industry*. Harvard Business School Press: Boston, MA.
- CLARK, K.B., (1989). "Project scope and project performance: the effect of parts strategy and supplier involvement on product development". *Management Science* 35, p. 1247–1263.
- COHEN, W. & R. LEVIN (1989). "Empirical Studies of Innovation and Market Structure". in: Schmalensee & Willig (eds.), *Handbook of Industrial Organization*. New York: Elsevier Science.
- COHEN, W. & LEVINTHAL, D. A. (1990). "Absorptive Capacity: A new perspective on Learning and Innovation". *Administrative Science Quarterly*, Vol. 35, n. 1, Special Issue: Technology, Organizations, and Innovation, pp. 180-152.
- Comissão Européia. Website: www.ec.europa.eu.
- COOKE, P.; GOMEZ URANGE & EXTEBARRIA (1997). "Regional Innovation Systems: Institucional and Organizational dimensions. *Research Policy*, nº 4-5, pp. 475-493.
- COONEY, S. & YACOBUCCI, B. D. (2005). "U.S. Automotive Industry: Policy Overview and Recent History". *U.S. Congressional Research Service - Report for the Congress*.
- DAVIS, S.C.; DIEGEL, S.W. & BOUNDY, R.G. (2010). *Transportation Energy Data Book: Edition 29*. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN.
- De NEGRI, F.; BAHIA, L.; TURCHI, L. & De NEGRI, J. A. (2008). "Determinantes da Acumulação de Conhecimento para Inovação Tecnológica nos Setores Industriais no Brasil – Setor Automotivo". Série Estudos Setoriais de Inovação – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial.
- Design News. Website: <http://www.designnews.com>.
- DOSI, G. (1988). "Sources, Procedures, and Microeconomic Effects of Innovation". *Journal of Economic Literature*, Vol. 26 (3), pp. 1120-1171.
- DOSI, G. (2006). *Mudança técnica e transformação industrial: a teoria e uma aplicação à indústria dos semicondutores*. Campinas: Ed. Unicamp.
- DOSI, G., SILVERBERG, G. & ORSENIGO, L. (1988). "Innovation, Diversity and Diffusion: A Self-Organisation Model". *The Economic Journal*, Vol. 98, No. 393 (Dec. 1988), pp. 1032-1054.
- DOSI, G.; PAVITT, K.; SOETE, L., (1990). *The Economic of Technical Change and International Trade*. Harvester/Wheatsheaf Press.
- EALEY, L.A. & TROYANO-BERMUDEZ, L., (2003). "The automotive industry: a 30,000-mile checkup". *The McKinsey Quarterly* 4, p. 27–30.
- EDQUIST, C. & L. HOMMEN (2000). "Public Technology Procurement and Innovation Theory". In: C. Edquist, L. Hommen and L. Tsipouri (eds.), *'Public Technology Procurement and Innovation', Economics of Science, Technology and Innovation*.
- EDQUIST, C. (2001). "The Systems of Innovation Approach and Innovation Policy: An account of the state of art". Lead paper presented at the DRUID Conference, Aalborg, June 12-15, 2001, under theme F: "National Systems of Innovation, Institutions and Public Policies".
- EDQUIST, C. (ed.) (1997). *Systems of Innovation - Technologies, Institutions and Organizations*. London and Washington: Pinter/Cassell Academic.

- EUCAR – *European Council for Automotive R&D. Website:* <http://www.eucar.be>.
- EUCAR (2009). *The Automotive Industry – Focus on future R&D Challenges. EUCAR 2009 Report.*
- EUROSTAT (2004). *Fourth Community Innovation Surveys (CIS4).* Período de Referência: 2002-2004. Disponível em: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>.
- EVANGELISTA, R. (2000). Sectoral Patterns of Technological Change in Services. *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 9. pp. 183-221, 2000.
- FAJERBERG, J. (2003). “Innovation: A guide to the literature”. Report for TEARI project.
- FENABRAVE – Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores. *Website:* <http://www.fenabrave.org.br>.
- FREEMAN, C. (1986). *The diffusion of technical innovations and changes of techno-economic paradigm.* Cambridge University Press.
- FREEMAN, C. (1987). *Technology policy and economic performance: lessons from Japan.* London/New York: Frances Printer Publishers.
- FREEMAN, C. & PEREZ, C. (1986). “The Diffusion of Technical Innovation and Changes of Techno-Economic Paradigm”. Paper apresentado à Conferência sobre Difusão de Inovações, Veneza, 18-22 março 1986. *mimeo.*
- FREEMAN, C. & SOETE, L. (1997). *The Economics of Industrial Innovation, 3rd Edition.* Cambridge, MA: MIT Press Books.
- FREYSSNET, M. (2009). “Prévisions démenties et changements inattendus. Le Monde qui a changé la machine”. In: FREYSSNET, M. (ed.) (2009). *The Second Automobile Revolution. Trajectories of the World Carmakers in the 21st century.* Palgrave Macmillan: Basingstoke and New York.
- FURNAS, C.C. (Ed.) (1948). *Research in Industry. Its Organization and Management.* D. Van Nostrand Company Inc., New York.
- GODIN, B., (2006). “The linear model of innovation: the historical construction of an analytical framework”. *Science Technology & Human Values*, 31 (6), 639–667.
- GODIN, B., (2008). “The Linear Model of Innovation (II): Maurice Holland and the Research Cycle”. Project on the Intellectual History of Innovation. Working Paper No.3.
- HICKS, J. (1932). *Theory of Wages.* London: Macmillan.
- HOLLAND, M. (1928). *Industrial Explorers.* New York: Harper & Brothers Publishers.
- HUMPHREY, J. & MEMEDOVIC, O. (2003). “The global automotive industry value chain: what prospects for upgrading by developing countries”. Sectoral Studies Series, UNIDO.
- IBGE (2008). Manual de Orientações de Preenchimento da Pesquisa de Inovação Tecnológica (PINTEC). Disponível em: <http://www.pintec.ibge.gov.br>.
- IBGE. Pesquisa de Inovação Tecnológica (PINTEC), Anos Base: 2003, 2005 e 2008.
- J. D. POWER (2010). “Drive Green 2020: More hope than reality? A special Report by J.D Power and Associates. November, 2010. The McGraw-Hill Companies.
- JAMA – *Japan Automobile Manufacturers Association, Inc. Website:* <http://www.japanauto.com>.

JRC - European Commission Joint Research Centre. *The 2011 EU Industrial R&D Investment Scoreboard*.

KAMIEN, M. & SCHWARTZ N. (1982). *Market Structure and Innovation*, Cambridge University Press, Cambridge.

KLEVORICK, A.; LEVIN, R.; NELSON, R. & WINTER, S., (1995). “On the sources and significance of inter-industry differences in technological opportunities”. *Research Policy* 24 (2), pp. 185–205.

KLINE, S. J. & ROSENBERG, N., (1986). “An Overview of Innovation”. In LANDAU, R. & ROSENBERG, N. (ed.) (1986), *The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth*. Washington: National Academy Press.

KLINE, S.J., (1985). “Innovation is not a linear process”. *Research Management* 28 (2), 36–45.

KPMG (2009). “Issues Monitor: December 2009, Volume Five

KUPFER, D. (1996). “Uma Abordagem Neo-schumpeteriana da Competitividade Industrial”. *Ensaio FEE*. Ano 17, No. 1, pp. 355-372, 1996.

LIST, F. (1891). *The National System of Political Economy*. London: Longman.

LUCAS Jr., 1988. R. E. (1988). “On the Mechanics of Economic Development”. *Journal of Monetary Economics*, vol. 22, pp. 3-42.

LUNDEVALL, B.-Å. (ed.) (1992). *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*. London: Pinter.

LUNG, Y. (2003). “The Challenges of the European Automotive Industry at the beginning of the 21st Century”. Auto Industry Symposium: The 2003 RIETI – Hosei – MIT-IMPV Meeting, Friday, September 12, 2003.

MACDUFFIE, J. P. & HELPER, S. (2006). “Collaboration in Supply Chains with and without trust”. In: HECKSCHER, C. & ADLER, P. (eds.) (2006). *The Corporation as a Collaborative Community: Organization in the Knowledge-Based Economy*. Oxford: Oxford University Press.

MACLAURIN, W.R., (1950). “The process of technological innovation: the launching of a new scientific industry”. *The American Economic Review* 40, 90–112.

MALERBA, F. (2002). “Sectoral Systems of Innovation and Production”. *Research Policy* 31 (2002), pp. 247-264.

MALERBA, F. (2003). “Sectoral Systems and Innovation and Technology Policy”. *Revista Brasileira de Inovação*, vol. 2, nº 2 (2003), pp. 329-375.

MALERBA, F. (ed.) (2004). *Sectoral Systems of Innovation: concepts, issues and analyses of six major sectors in Europe*. Cambridge: Cambridge University Press.

MALERBA, F. (2005). “Innovation and the evolution of industries”. *Journal of Evolutionary Economics*, 16:3-23.

MALERBA, F. (2007). “Innovation and the dynamics and evolution of industries: Progress and Challenges”. *International Journal of Industrial Organization*, 25 (2007), p. 675-699.

- MALERBA, F. & MANI, S. (2009). *Sectoral Systems of Innovation and Production in Developing Countries: actors, structure and evolution*. Edward Elgar Publishing.
- MALERBA, F., ORSENIGO, L. & BRESCHI, S. (2000). "Technological Regimes and Schumpeterian Patterns of Innovation". *The Economic Journal*, Vol. 110, N° 463 (Apr., 2000), pp. 388-410.
- MANSFIELD, E. (1969), *The Economics of Technological Change*, Longmans, London.
- MANSFIELD, E. (1982), "Technology Transfer, Innovation and Public Policy" in: D. Sahal (ed.), *The Transfer of Innovation and Public Policy*, D.C. Heath, Lexington.
- MANSFIELD, E. (1991). "Academic research and industrial innovation". *Research Policy* 20 (1991), pp. 1-12.
- MARQUES, R. A. & OLIVEIRA, L. G. de (2006). "Sectoral System of Innovation in Brazil: Reflections about linkages and the accumulation of technological capabilities experienced by SME suppliers to the aeronautic industry". Paper presented at GLOBELICS Conference India, October 04-07, 2006.
- MARSILI, O. (2001). *The Anatomy and Evolution of Industries: Technological Change and Industrial Dynamics*. United Kingdom: Edward Elgar Publishing.
- MAXTON, G.P. & WORMALD, J., (2004). *Time for a Model Change: Re-Engineering the Global Automotive Industry*. Cambridge University Press.
- McKELVEY, M. (1997). "Using Evolutionary Theory to Define Systems of Innovation". In: EDQUIST, C. (ed.) (1997), *Systems of Innovation - Technologies, Institutions and Organizations*. London and Washington: Pinter/Cassell Academic.
- MEADE, J.E. (1961). *A Neo-Classical Theory of Economic Growth*. Westport, Conn: Greenwood.
- MOAVENZADEH, J. (2006). "Offshoring Automotive Engineering: Globalization and footprint strategy in the motor vehicle industry". National Academy of Engineering discussion paper.
- MOWERY, D. & ROSENBERG, N. (1979). "The influence of market demand upon innovation: a critical review of some recent empirical studies". *Research Policy* 8 (1979), pp. 107 -153.
- MOWERY, D. & ROSENBERG, N. (1999). *Trajetórias da Inovação – A mudança tecnológica nos Estados Unidos da América no Século XX*. Campinas: Editora da UNICAMP.
- NELSON, R. (1959), "The Simple Economics of Basic Scientific Research", *Journal of Political Economy*, Vol. 67, 297-306.
- NELSON, R. (ed.) (1993). *National Innovation Systems: a comparative analysis*. New York, Oxford: Oxford University.
- NELSON, R. (2006). "Economic Development from the Perspective of Evolutionary Economic Theory". Working Papers in Technology Governance and Economic Dynamics no.2, The Other Cannon Foundation, Tallinn University of Technology: Norway, Tallinn.
- NELSON, R.R., & WINTER, S.G. (1974), "Neoclassical vs Evolutionary Theories of Economic Growth: Critique and Prospectus", *Economic Journal*, Vol. 84, 886-905.
- NELSON, R. & WINTER, S. (1977). "In Search of a Useful Theory of Innovations". *Research Policy*, v.6, n.1, pp. 36-76.

- NELSON, R. & WINTER, S. (1982). *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- NIEUWENHUIS, P. & WELLS, P. (2007). "The all-steel body as a cornerstone to the foundation of the mass production car industry". *Industrial and Corporate Change*, Vol. 16, n. 2, p. 183-211.
- NORTH, D.C., (1990). *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*. Cambridge University Press, Cambridge, New York.
- NRC, (2010a). *Assessment of Technologies for Improving Light Duty Vehicle Fuel Economy*, National Research Council. National Academies Press. Disponível em: <http://www.nap.edu/catalog/12924.html>.
- NRC, (2010b). *Review of the Research Program of the FreedomCAR and Fuel Partnership: Third Report*. National Research Council. National Academies Press. Disponível em: <http://www.nap.edu/catalog/12939.html>.
- OCDE (2005a). *Oslo Manual – 3rd edition*. Disponível em: <http://www.oecd.org/dataoecd/35/61/2367580.pdf>.
- OCDE (2005b). R&D Expenditure in Industry Database (ANBERD), STAN Structural Analysis Database.
- OCDE (2009). *Policy Responses to the Economic Crisis: Investing in Innovation for Long-Term Growth*. OECD Publishing.
- OCDE (2010). *OECD Science, Technology and Industry Outlook*. OECD Publishing.
- OICA – *Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles*. Website: <http://www.oica.net>.
- OLIVER WYMAN (2007). *Car Innovation 2015: A comprehensive study on innovation in the automotive industry*. Oliver Wyman Report.
- OLTRA, V. & SAINT JEAN, M. (2008). "Sectoral systems of environmental innovation: An application to the French automotive industry". DIME Working Papers on Environmental Innovation, nº 4. Disponível em: <http://www.dime-eu.org/wp25/wp>.
- ORSATO, R. J. & WELLS, P. (2007). "U-turn: the rise and demise of the automobile industry". *Journal of Cleaner Production* 15 (2007), pp. 994-1006.
- PAVITT, K. (1984). "Padrões Setoriais de Mudança Tecnológica: Rumo a uma Taxonomia e uma Teoria". Tradução: José Ricardo Fujidji. Originalmente publicado em: *Research Policy*, Amsterdã, vol. 13, No 6 (Dez. 1984), pp. 343-373.
- PENEDER, M. e KANIOVSKI, S. (2001). "On The Structural Dimension Of Competitive Strategy". WIFO Working Papers, No. 145 (Abr, 2001).
- PEREZ, C. (1985) "Microelectronics, long waves and world structural change: New perspectives for developing countries", *World Development*, Vol.13, No.3, pp. 441-463.
- PEREZ, C. (1986) "Las nuevas Tecnologías: Una visión de conjunto". in C. Ominami, (ed.) *La Tercera Revolución Industrial: Aspectos Internacionales del Actual Viraje Tecnológico*, RIAL, Buenos Aires: Grupo Editor Latinoamericano.
- POL, E., CARROLL, P. e ROBERTSON, P. (2002). A New Technology for Economic Sectors with a View to Policy Implication. *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 11, pp. 61-76, 2002.
- PORTER, M. E. (1990). *The Competitive Advantage of Nations*. London: Macmillan.

- POSSAS, M. L. (1988). “Em Direção a um Paradigma Microdinâmico: A Abordagem Neo-Schumpeteriana”. Texto para discussão apresentado em seminário interno no IE/Unicamp em Maio de 1988.
- POWELL, W. (1987). “Hybrid Organizational Arrangements: New Form or Transitional Development?” *California Management Review*. Fall: 67-87.
- PwC (2010). “Government’s Many Roles in Fostering Innovation”. PwC Report, January, 2010.
- ROLANG BERGER STRATEGY CONSULTANTS (2009). “Automotive Innovation Made in BRIC – Emerging players with their own approach to automotive R&D”. Automotive Competence Center Special, 01/2009.
- ROMER, P. (1986). “Increasing returns and long-run growth”. *Journal of Political Economy*, vol. 94, nº 5, pp. 1002-1037.
- ROMER, P. (1990). “Endogenous Technological Change”. *Journal of Political Economy*, vol. 98, pp. 71-102.
- ROSENBERG, N. (1976). *Perspectives on Technology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- ROSENBERG, N. (1982). *Por dentro da caixa preta*. Campinas: Editora Unicamp.
- ROTHWELL, R. (1994). “Towards the Fifth-generation Innovation Process”. *International Marketing Review*, vol. 11, n. 1, pp. 7-31.
- RUGMAN, A. M. & COLLINSON, S. (2004). “The Regional Nature of the World’s Automotive Sector”. *European Management Journal*, Vol. 22, n. 5, p. 471-482.
- RUTTAN, V. W. (1959). “Usher and Schumpeter on Invention, Innovation, and Technological Change”. *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 73, No. 4 (Nov., 1959), pp. 596-606.
- SAHAL, D., (1985). "Technology Guide-Posts and Innovation Avenues", *Research Policy*, 14: 61-82.
- SALTER, W. E. G. (1966). *Productivity and Technical Change*, 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press.
- SAMUELSON, P. (1986). *Fundamentos da Análise Econômica*. Coleção Os Economistas. São Paulo: Nova cultural.
- SAVIOTTI, P. P. (1997). “Innovation Systems and Evolutionary Theories”. In: EDQUIST, C. (ed.) (1997), *Systems of Innovation - Technologies, Institutions and Organizations*. London and Washington: Pinter/Cassell Academic.
- SCHMOOKLER, J. (1966). *Invention and Economic Growth*. Cambridge: Harvard University Press.
- SCHUMPETER, J. A. (1934). *Teoria do Desenvolvimento Econômico*. Coleção Os Economistas. São Paulo: Abril Cultural.
- SCHUMPETER, J. A. (1956). *Capitalismo, Socialismo e Democracia*. Rio de Janeiro: Editora Fundo de Cultura.
- SOFTKA, W.; GRIMPE, C.; LEHEYDA, N.; RAMMER, C. & SCHMIELE, A. (2008). “Sectoral Innovation Systems in Europe: monitoring, analyzing trends and identifying challenges – Automotive Sector”. Sector Report, Europe INNOVA.

- SOLOW, R. M. (1956). "A Contribution to the Theory of Economic Growth". *Quarterly Journal of Economics*. Vol. 70 (1) pp. 65-94.
- SOLOW, R. M. (1957). "Technical Change and the Aggregate Production Function. *Review of Economics and Statistics*, v. 39, pp. 312-320.
- STOKES, D. E. (2005). *O quadrante de Pasteur: a ciência básica e a inovação tecnológica*. Campinas: Ed. Unicamp.
- STOPFORD, J. (1995). "Competing Globally for Resources". *Transnational Corporations* nº 4, pp. 34-57.
- STURGEON, T. & FLORIDA, R. (1999). "The World that Change the Machine: Globalization and Jobs in the Automotive Industry". Final Report, IMVP.
- STURGEON, T. J.; MEMEDOVIC, O.; VAN BIESEBROECK, J. & GEREFFI, G. (2009). "Globalisation of the automotive industry: main features and trends. *International Journal of Technological Learning, Innovation and Development*, Vol. 2, p. 7-24.
- SWAN, T.W. (1956). "Economic Growth and Capital Accumulation", *Economic Record*, Vol. 32 (2), pp. 334-361.
- TANG, R. (2009). "The Rise of China's Auto Industry and its Impact on the U.S. Motor Vehicle Industry". Congressional Research Service Report for U.S. Congress, Nov./2009.
- TAYLOR, F.W. (1978). *Princípios da administração científica*. São Paulo: Atlas.
- THOMSON REUTERS (2010). Auto industry innovation: patent data shows R&D on alternative power, vehicle security systems and navigation systems growing fastest, 2003-2009. Thomson Reuters Report, August 2009.
- THOMSON REUTERS (2011). *Derwent World Patent Index – 2010 State of Innovation Report*.
- United States Department of Energy (DOE). Website: <http://www.energy.gov/>.
- United States Department of Transportation (DOT). Website: <http://www.dot.gov/>.
- United States Energy Information Administration (EIA). Website: <http://www.eia.gov/>.
- United States Environmental Protection Agency (EPA). Website: <http://www.epa.gov/>.
- UTTERBACK, J. M. & ABERNATHY, W. J. (1975). "A dynamic model of process and product innovation" *Omega*, Volume 3, Issue 6, December 1975, pp. 639-656.
- VDA – *Verband der Automobilindustrie E. V.* (Alemanha). Website: <http://www.vda.de>.
- VERNON, R. (1966). "International investment and international trade in the product cycle". *The Quarterly Journal of Economics* Vol. 80, No. 2 (May, 1966), pp. 190-207.
- VICKERY, G. (1996) *Globalisation in the Automobile Industry*. OCDE (ed.) Globalisation of Industry. Paris: OCDE.
- VIOTTI, E. B. (2002). "National Learning Systems – A new approach on technological change in late industrializing economies and evidences from the cases of Brasil and South Korea". *Technological Forecasting & Social Change*, vol. 69, pp. 653-680.
- VON HIPPEL, E., (1988). *The Sources of Innovation*. Oxford University Press, Oxford.

VON ZEDTWITZ, M. & GASSMANN, O., (2002). “Managing Customer Oriented Research”. *International Journal of Technology Management*, Vol. 24, No 2/3, 2002, pp. 165-193.

WALRAS, L. (1988). *Compêndio dos elementos de economia política pura*. Coleção Os Economistas. São Paulo: Nova Cultural.

Ward’s Communications (2009). Ward’s Motor Vehicle Data 2009. Website: www.wardsauto.com.

WELLS, P. & RAWLINSON, M. (1994). *The New European Industry*. New York: Macmillan.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. & ROOS, D. (1992). *A máquina que mudou o mundo*. Rio de Janeiro: Campus.

WTO – World Trade Organization. Website: <http://www.wto.org/>.