

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS JURÍDICAS E ECONÔMICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

IGOR KFURI TRAZZI

**ENERGIA E SUSTENTABILIDADE DO
DESENVOLVIMENTO: BIOCOMBUSTÍVEIS COMO
ALTERNATIVA ENERGÉTICA SUSTENTÁVEL**

**VITÓRIA
2009**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS JURÍDICAS E ECONÔMICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

**ENERGIA E SUSTENTABILIDADE DO
DESENVOLVIMENTO: BIOCOMBUSTÍVEIS COMO
ALTERNATIVA ENERGÉTICA SUSTENTÁVEL**

IGOR KFURI TRAZZI

ORIENTADORA: PROF.^a SONIA MARIA DALCOMUNI

VITÓRIA
2009

**ENERGIA E SUSTENTABILIDADE DO
DESENVOLVIMENTO: BIOCOMBUSTÍVEIS COMO
ALTERNATIVA ENERGÉTICA SUSTENTÁVEL**

IGOR KFURI TRAZZI

Dissertação de Mestrado apresentada ao Corpo Docente do Departamento de Economia da Universidade Federal do Espírito Santo como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Teoria Econômica.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof^a. Dra. Sonia Maria Dalcomuni

Orientadora

Prof. Dr. Rogério Arthmar

Examinador Interno

Prof^a. Dra. Adriana Fiorotti Campos

Examinadora Externa

***"A alegria está na luta, na tentativa, no sofrimento envolvido. Não na vitória propriamente dita".
(Martin Luther King)***

AGRADECIMENTOS

Essa dissertação não seria concluída sem a ajuda de algumas pessoas que fizeram e fazem parte da minha vida.

Primeiro, agradeço a Deus por ter me dado força para vencer os obstáculos que me foram impostos e Ele sabe que não foram poucos.

Aos meus pais, que insistiram em me mostrar que o aprendizado é o único caminho para chegar ao conhecimento e a educação é o instrumento que permite alcançá-la. Às minhas irmãs, que entenderam este compromisso e seguem na mesma direção.

Aos meus queridos professores, que tiveram a paciência e a destreza de ensinar.

Aos meus amigos, grandes incentivadores para a conclusão desta dissertação.

À minha namorada Paula, que soube entender o grande tempo dedicado à conclusão deste trabalho tomando inclusive, boa parte do tempo dedicado a ela.

Aos meus chefes, Carlos Alberto da Silva e Maria José Carvalho Bento que alcançaram a importância do Mestrado para a minha vida profissional e permitiram que concluísse parte das disciplinas em pleno horário de trabalho.

A minha orientadora, Professora Sonia, que reforçou as questões ambientais em minha vida, suscitando reflexões e incentivando minha consciência crítica em prol do desenvolvimento sustentável.

Enfim, agradeço aqueles que de uma forma ou de outra, contribuíram para a minha formação acadêmica e sabem da importância deste curso de Mestrado para mim.

A todos, meu sincero muito obrigado!

SUMÁRIO

RESUMO.....	10
INTRODUÇÃO.....	11
CAPÍTULO 1.....	16
ENERGIA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: ASPECTOS TEÓRICO- CONCEITUAIS.....	16
1.1 - CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO: CONCEITOS E INSERÇÃO NO DEBATE ECONÔMICO.....	17
1.2 - TEORIA ECONÔMICA EVOLUCIONÁRIA E SUAS CONTRIBUIÇÕES.....	23
1.2.1 - <i>Inovação e Tecnologia</i>	24
1.2.2 - <i>Paradigmas e Trajetórias Tecnológicas</i>	29
1.2.3 - <i>Estratégias Tecnológicas Competitivas</i>	31
1.2.4 - <i>Sistema Nacional de Inovação</i>	33
1.3 - DESENVOLVIMENTO E ENERGIA.....	36
1.4 - SUSTENTABILIDADE DO DESENVOLVIMENTO.....	38
1.5 - INOVAÇÃO, REGULAÇÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE.....	41
CAPÍTULO 2.....	47
INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA, DEMANDA POR COMBUSTÍVEL E QUESTÕES DE SUSTENTABILIDADE.....	47
2.1.1 - <i>Vapor, Eletricidade ou Petróleo? Escolha do Padrão Tecnológico do Século XIX</i>	49
2.1.2 - <i>Afirmção Definitiva do Modelo de Combustão Interna</i>	51
2.2 - MOTORIZAÇÃO EM MASSA DE HENRY FORD	52
2.2.1 - <i>Mais Carros, Mais Estradas, Mais Combustível</i>	57
2.2.2 - <i>Americanismo como Dogma</i>	58
2.3 - CRISE NO SISTEMA DE PRODUÇÃO FORDISTA.....	60
2.4 - SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO.....	61
2.4.1 - <i>Breve Histórico</i>	61
2.4.2 - <i>Produção Enxuta</i>	62
2.5 - CONSÓRCIO MODULAR.....	67
2.6 - INDÚSTRIA AUTOMOTIVA MUNDIAL: MULTIPLICAÇÃO DOS AUTOMÓVEIS, AMPLIAÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS E DOS PROBLEMAS AMBIENTAIS.....	68
2.6.1 - <i>Perspectivas de Crescimento</i>	69
2.6.2 - <i>Regulação Ambiental focada na poluição decorrente do uso de combustíveis fósseis</i>	73
2.6.3 - <i>Uso do Petróleo e os Gases do Efeito Estufa</i>	78
2.7 - NOVAS POSSIBILIDADES PARA OS COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS E A REESTRUTURAÇÃO DO SETOR AUTOMOTIVO... 81	81
2.7.1 - <i>Veículos Elétricos</i>	82
2.7.2 - <i>Veículos Híbridos</i>	83
2.7.3 - <i>Células à Hidrogênio</i>	86

2.8 - A RELEVÂNCIA DO PREÇO DO PETRÓLEO E SEUS IMPACTOS SOBRE AS TECNOLOGIAS VERDES.....	87
CAPÍTULO 3.....	89
BIOCOMBUSTÍVEIS NO CONTEXTO DA BUSCA GLOBAL POR FONTES DE ENERGIAS LIMPAS E RENOVÁVEIS.....	89
3.1 – BIOCOMBUSTÍVEIS: ASPECTOS TÉCNICOS, MARCO REGULATÓRIO E ECONOMICIDADE.....	90
3.1.1 – <i>Aspectos Técnicos do Etanol</i>	92
3.1.1.1 - Etanol de Cana-de-Açúcar.....	93
3.1.1.2 - Etanol de Milho.....	95
3.1.1.3- Etanol pela Hidrólise de Resíduos Celulósicos.....	97
3.1.2 – <i>Etanol: Custo e Impactos nos Mercados</i>	99
3.1.3 – <i>Perspectivas para o Mercado de Etanol</i>	106
3.1.4 – <i>Aspectos Institucionais do Etanol</i>	109
3.1.5 – <i>Aspectos Ambientais do Etanol</i>	111
3.2.1 - <i>Biodiesel: Aspectos Técnicos</i>	114
3.2.2 – <i>Biodiesel: Custo e Impacto nos Mercados</i>	120
3.2.3 – <i>Perspectivas para o Mercado de Biodiesel</i>	124
3.2.4 – <i>Aspectos Institucionais do Biodiesel</i>	126
3.2.5 – <i>Aspectos Sociais do Biodiesel</i>	129
3.2.6 – <i>Aspectos Ambientais do Biodiesel</i>	130
3.3 – PREOCUPAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	132
3.3.1 – <i>Concorrência com Produtos Alimentícios</i>	132
3.3.2. – <i>Aceleração do Desmatamento</i>	133
3.3.3 – Disponibilidade de Terras.....	133
3.3.4 – <i>Impacto nos Preços</i>	134
CONCLUSÃO.....	137
REFERÊNCIAS.....	140

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Projeções para o crescimento da população mundial 1950-2050.....	21
Figura 2 – Taxa de mortalidade por idade, 1900-2004.....	23
Figura 3 – Consumo de energia, segundo renda per capita dos países. (GJ/Pessoa)....	38
Figura 4 – Efeitos da Regulação Européia Sobre Veículos à Gasolina.....	76
Figura 5 – Efeitos da Regulação Européia Sobre os Veículos à Diesel.....	77
Figura 6 – Variação da Temperatura Global Durante os Séculos.....	79
Figura 7 – Emissão Mundial de CO₂.....	80
Figura 8 – Funcionamento do Sistema Híbrido Toyota.....	85
Figura 9 – Evolução das Exportações Brasileira de Etanol.....	108
Figura 10 – Efeito da Concentração do Biodiesel sobre a Emissão de Gases.....	131

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Número de Habitantes por Veículos 1996-2006..... 69

Tabela 2 – Número de Habitantes por Veículo – Países em Desenvolvimento.....71

RESUMO

O presente trabalho analisa inter-relação entre crescimento econômico, crescimento populacional, os problemas ambientais e sua inserção no debate de desenvolvimento sustentável. Identifica-se em conjunto, a interferência dos organismos institucionais e suas aplicações nas questões econômicas, que envolvem o meio ambiente no conjunto destas discussões. Efetua-se um resgate histórico da constituição e desenvolvimento do setor automobilístico até a atual configuração, com o intuito de conhecer os novos atores envolvidos no processo regulatório, de integração e as projeções do setor, dada nova conjuntura com foco nos problemas ambientais. Em seguida, a avaliação dos biocombustíveis, em especial o etanol e o biodiesel, e seus aspectos econômicos, ambientais e sociais, bem como a abordagem do marco regulatório discutidos e adotados no Brasil. Conclui-se que o Brasil pode ensinar ao mundo como produzir energia através de fontes limpas e renováveis, que minimizam os impactos da emissão de poluentes causados pela “*energia suja*” dos combustíveis fósseis, reestruturando a cadeia energética global e permitindo a continuação do progresso econômico, dada a demanda crescente e continuada de energia no futuro.

INTRODUÇÃO

Esta dissertação objetiva estudar os biocombustíveis como opção de fonte de energia limpa e renovável alternativa aos combustíveis fósseis, estes últimos, base da matriz energética mundial contemporânea.

Mudanças fundamentais estão em curso na economia global. O processo de globalização incide de modo determinante sobre as empresas, que por sua vez, precisam se adequar à nova realidade global. Nas últimas décadas o mundo se tornou exponencialmente rico. Mas o crescimento da riqueza global não aboliu, nem mesmo reduziu a pobreza. Os efeitos adversos causados pela atividade humana é fruto de suas próprias ações na busca pelo progresso e pelo crescimento ilimitado de suas necessidades. As decisões do passado influenciam claramente o futuro, demonstrando que existe uma interdependência temporal e contínua das ações que se colocam à frente das questões ambientais para promover o crescimento econômico. Tudo aplicando em um ambiente de incerto e em constante mudança.

Toda a dinâmica desse sistema é mantida pelo crescimento exponencial da população e pelo aumento da demanda, derivada das necessidades humanas ilimitadas. Por outro lado é reconhecido que as mudanças tecnológicas trazem avanços de todos os tipos, inclusive na redução dos impactos da produção sobre o meio ambiente.

Mas as dificuldades nascem de múltiplos aspectos que a inovação inevitavelmente leva a implicações. Por um lado, as empresas, os setores e os sistemas econômicos; de outra, o conhecimento científico a pesquisa e o desenvolvimento e as dinâmicas do aprendizado; por fim, as interações entre os agentes econômicos e as instituições.

As empresas respondem às regulações com inovações, melhorando a competitividade. A regulação define novas possibilidades de atuação da empresa, determinando seu grau de liberdade para tomar decisões em meio à definição de regras a serem cumpridas.

Argumenta-se que a imposição de padrões ambientais adequados pode estimular as empresas a adotar inovações que reduzem os custos totais de um produto ou aumentem seu valor, melhorando a competitividade das empresas.

Mas apesar dessa dinâmica de regulação crescente, o aumento da poluição em termos absolutos, cresce. Os desastres naturais estão se tornando eventos corriqueiros. Alguns especialistas dizem que “*os desastres naturais são tudo, menos desastres naturais (PENTEADO, 2005)*”. E o maior sonho de consumo da classe média vem sendo considerado um dos maiores vilões do aquecimento do global: o automóvel.

A evolução da mobilidade humana nas cidades está associada ao uso do automóvel como meio de transporte. A indústria automobilística tem um futuro desafiador quanto ao desenvolvimento de novas tecnologias neste próximo século. Encontrar um padrão tecnológico sustentável que permita a produção em massa para uma população cada vez mais consciente é um caminho sem volta e com muitos percalços para serem ultrapassados. O automóvel não é um bem de consumo comum qualquer. Além de dar mobilidade às pessoas, o automóvel oferece a sensação de liberdade e a possibilidade de estar no lugar desejado a qualquer hora, sem quaisquer limitações. O carro rompe barreiras e leva prosperidade aos lugares mais remotos. Talvez por isso o automóvel seja considerado a “*máquina que mudou o mundo*”.

Não é a primeira vez que há indícios de um aquecimento global. Mas esta é a primeira vez que o homem é seu agente causador. E o automóvel vem levando o troféu do maior vilão. Os países em desenvolvimento, em especial a China e a Índia, vem aumentando a produção e o consumo de veículos e preocupando as autoridades ambientais sobre um provável colapso na luta contra o aumento crescente da temperatura ao redor do globo. Afinal, sabe-se que o automóvel produz quase 75% da emissão de CO₂, principal gás que compõe a camada do efeito estufa, maior causador do aquecimento do planeta. Mas as restrições estariam no automóvel ou no combustível por eles utilizados?

Ao longo do século passado o uso do combustível modelou o mundo como conhecemos, impulsionando o crescimento da indústria, do comércio, do transporte, da agricultura. Com isso a população encontrou inéditas condições para se expandir. Entretanto, o uso do petróleo como fonte de energia torna-se cada dia mais inviável. Seja por sua finitude anunciada e iminente escassez, seja pelo caráter altamente poluente ou pelas complicações políticas a que sempre está associado, o petróleo não é mais visto como a fonte de energia que moverá o mundo para sempre.

Note que assim como a teoria econômica, as fábricas não concentraram seus esforços sobre o meio ambiente. Buscou-se a eficiência contínua nas linhas de montagem, redução de custos e aumento da produção.

Ambientalistas conservadores defendem a necessidade de criar meios de transportes alternativos que substituam de vez os automóveis. Outros acham que as tecnologias para se produzir automóveis limpos ainda estão longe de serem colocadas em produção e sugerem o uso de motores mais eficientes e carros menores e mais econômicos. Ainda, alguns acreditam está na hora de uma ruptura permanente que a matriz energética sobre as bases do petróleo e a adoção de tecnologias limpas e longe do motor a combustão interna.

Atualmente o mundo consome 85 (oitenta e cinco) milhões de barris de petróleo por dia. As empresas automobilísticas produzem, em média 70 (setenta) milhões de veículos a cada ano. Três quartos de todos os gases do efeito estufa são emitidos pelos motores da frota de veículos presentes nos EUA, Europa e Ásia somados. Os veículos norte-americanos emitem 480 (quatrocentos e oitenta) gramas a cada quilômetro rodado, o dobro da média européia. A ineficiência dos motores americanos é resultado de inúmeros fatores, dentre eles, o estilo americano de vida. Os carros são pesados, robustos e ineficientes. Aliás, a eficiência dos carros produzidos na linha de montagem hoje é bem parecida daqueles veículos produzidos nos anos 1980. Para se ter uma idéia, o lendário Ford T produzido por Henry Ford no início do século, fazia uma quilometragem/litro maior do que muitos veículos que saem hoje das fábricas.

Ao contrário do que se imagina, o preço internacional da gasolina está bem abaixo dos custos invisíveis que ela nos impõe. As externalidades provocadas por ela, interferem na implantação de tecnologias limpas substitutas e transformam em um poderoso instrumento econômico contra a substituição do petróleo.

O petróleo é o principal foco dos problemas ambientais, não os automóveis. Existem alternativas mais eficientes para abastecer o carro do futuro. A ciência e as tecnologias modernas podem estar a um passo de separar a histórica interdependência entre a indústria automobilística e a indústria do petróleo. Mas as inovações por si só não garantem nenhum resultado. Fazem-se necessárias instituições, que lhes dêem suporte adequado sobretudo dos países mais desenvolvidos, adotando medidas ao desenvolvimento e uso de energia limpa. A indústria do petróleo possui muitos instrumentos para manter seu *lobby* em favor de seus subsídios, que reduzem o preço do combustível e desestimulam a pesquisa de novas tecnologias alternativas aos combustíveis fósseis.

A utilização de biocombustíveis para os transportes, incluindo o etanol, o biodiesel, e vários outros líquidos e combustíveis gasosos, tem potencial para substituir uma quantidade substancial de petróleo em todo o mundo nas próximas décadas, e há uma clara tendência que isto já começou.

E o Brasil tem condições de ensinar ao mundo como produzir energia sustentável em uma matriz de energia limpa e renovável. O sucesso do etanol na matriz energética, conciliando o aumento da produção e da demanda, sem aumentar áreas degradadas trouxe uma posição de destaque na conjuntura internacional, tornando referência mundial na utilização de combustíveis renováveis.

Para a persecução dos objetivos propostos, esta dissertação foi estruturada conforme explicitado a seguir:

O capítulo I dedica-se à identificação de um esboço teórico conceitual que possibilite a inter-relação entre tecnologia e crescimento econômico, numa perspectiva de

“desenvolvimento sustentável”, abordando fatores que envolvem tecnologia, economia e meio ambiente.

O segundo capítulo resgata brevemente o histórico da indústria automobilística mundial, suas transformações tecnológicas e as principais conseqüências sobre o meio ambiente. Enfoca-se em conjunto, a mobilização por parte das instituições e mercado na busca de encontrar soluções tecnológicas que menos agressivas a natureza.

O terceiro capítulo trata dos biocombustíveis, em especial o etanol e biodiesel, como matriz energética substituta aos combustíveis fósseis. Apresentam-se os caminhos desta fonte no Brasil tais como suas perspectivas futuras no que se refere à adoção de um padrão tecnológico e ambientalmente sustentável para o setor de transportes.

Finalizando, apontam-se as principais conclusões deste estudo, como a disseminação de tecnologias limpas e renováveis pode dar ao país condições singulares de modo a nortear estratégias sustentáveis para o setor de transporte da próxima geração de combustíveis.

CAPÍTULO 1

ENERGIA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: ASPECTOS TEÓRICO-CONCEITUAIS

Energia e desenvolvimento são historicamente temas centrais no campo da teoria econômica. Neste capítulo procura-se demonstrar que os modelos de crescimento econômico que têm norteado as estratégias das empresas e organizações têm levado o mundo a um modelo de desenvolvimento insustentável. Por décadas, os recursos naturais foram considerados como mero suporte ao desenvolvimento industrial e utilizados sem uma atenção particular aos seus limites.

As pressões exercidas sobre o meio ambiente são decorrentes do aumento da população e do aumento no nível de consumo. Em outras palavras, o problema está, de fato, em refletir se a produção e consumo são compatíveis com a sustentabilidade de nosso planeta.

Na economia global contemporânea, dois aspectos fundamentais vêm se destacando em termos teóricos, quanto a implementação de ações econômicas por parte dos setores público e privado, quais sejam: a inovação tecnológica e as questões ambientais.

No âmbito dessa dissertação será adotada a teoria evolucionária da mudança técnica como arcabouço teórico conceitual. A teoria evolucionária ou evolucionista neo-shumpeteriana se desenvolve em um ambiente marcado pela incerteza que muitas vezes, impede a ação racional dos agentes econômicos (AZEVEDO, 2004). Não se pretende fazer uma extensa revisão bibliográfica sobre esta abordagem teórica, contudo, serão utilizados alguns conceitos e questões chaves na discussão desta problemática. Dentro desta abordagem o mercado é o ambiente naturalmente usado para selecionar as empresas mais eficientes. A concorrência oferece dinamismo ao sistema, transformando em vencedores aquelas empresas que conseguem utilizar a mudança tecnológica como “mola propulsora” para antever a demanda de mercado.

Esta interdependência temporal dá ao enfoque evolucionário a percepção de que as trajetórias tecnológicas do presente influenciam as trajetórias do futuro, mantendo assim, o fundamento da dinâmica concorrencial.

Resgata-se portanto, no subitem que segue, os conceitos de crescimento e sua inserção no debate econômico.

1.1 - Crescimento e Desenvolvimento: Conceitos e Inserção no Debate Econômico

Nos últimos duzentos anos, o comportamento dominante no sistema econômico tem sido a busca contínua pelo crescimento. A produção apresentou grandes saltos de eficiência. Crescimento econômico é pois, *“um conceito que se refere à capacidade de um sistema econômico de incrementar a disponibilidade de bens e serviços e atender às necessidades de uma população”*. (MILONE, 1987). Em linhas gerais, o crescimento econômico é hoje o indicador mais comum utilizado entre os economistas, governos e organismos internacionais para avaliar o bem-estar de uma população. Entretanto, medir o crescimento e associá-lo ao bem-estar geralmente é muito complexo e controverso. Analogamente, tende-se a homogeneizar o conceito de crescimento econômico como sinônimo de desenvolvimento, embora este último seja um conceito muito mais amplo que pondera a distribuição da riqueza deste crescimento. A noção de desenvolvimento compreende, além de mudanças de caráter quantitativo do produto nacional, aspectos qualitativos relacionados ao crescimento. Os mais imediatos referem-se à forma como seus frutos são distribuídos para a sociedade, através da elevação dos salários e de outras formas de renda, da redução da pobreza, do aumento da produtividade do trabalho e à repartição dos ganhos dele decorrentes, à melhoria das condições de habitação, ao maior acesso à educação e à saúde, aos aumentos do acesso e do tempo de lazer, à melhora da qualidade alimentar e à melhor qualidade de vida em seu todo, envolvendo condições de transporte, segurança e baixos níveis de poluição em suas várias conotações.

A ausência de crescimento traz dificuldades, embora o crescimento por si só não resolve questões que são de cunho social. Foi criado, ao longo de décadas, a falsa ilusão de que

crescer economicamente é o único caminho para construir uma nação sólida e menos desigual. Conforme explicitado, o crescimento foi visto pelas autoridades como um especial recurso para solucionar os problemas socioeconômicos e ainda hoje é confundido como sinônimo de desenvolvimento, progresso, avanço e prosperidade.

Segundo SACHS (2000), as formas de crescimento refletem em diferentes impactos sobre os sistemas econômico, social e ambiental, conforme delineado pelo quadro abaixo:

	Impactos		
	<i>Econômicos</i>	<i>Sociais</i>	<i>Ecológicos</i>
1. Crescimento Desordenado	+	-	-
2. Crescimento Social Benigno	+	+	-
3. Crescimento Ambientalmente Sustentável	+	-	+
4. Desenvolvimento	+	+	+

Quadro 1– Padrões de Crescimento.

Fonte: SACHS (2000, apud BRAGATTO, 2002).

Mas o crescimento econômico constante e ininterrupto esbarra nas limitações físicas e ambientais da terra, desconsiderada pela maior parte das políticas de desenvolvimento econômico adotado pelos países.

Organismos internacionais poderiam agir na perspectiva de conciliação de interesses, entretanto, segundo STIGLITZ (2002), importante expoente da economia institucionalista, o objetivo básico das instituições internacionais está implicitamente em atender a interesses privados ou comerciais/financeiros dos países mais poderosos e dos grandes conglomerados empresariais, “*desvirtuando do propósito pelo qual foram criadas*”.

Especialmente nas últimas três décadas de debates sobre as interações entre crescimento econômico e os limites ambientais, percebe-se que não foi o crescimento que chegou ao limite, mas o padrão tecnológico até então adotado. Ou seja, o crescimento econômico

baseado num padrão tecnológico intensivo no uso de recursos naturais, sobretudo em matérias-primas e energia, pode esbarrar na finitude dos recursos ambientais em provê-los e numa cobrança institucional da sociedade por práticas econômicas menos impactantes ambientalmente.

Em decorrência desta “miopia econômica”, a reprodução de um modelo econômico envolvido pela necessidade de obtenção do crescimento como único modo de trazer bem-estar, tem sido frontalmente criticado e parece estar em seu limite. O mito do desenvolvimento econômico pelas esferas do aumento da escala produtiva e do consumo levou à ampliação exponencial da exploração dos recursos naturais e lançou o “sinal vermelho” para possíveis rupturas irreversíveis e catástrofes ambientais sem precedentes, com potenciais efeitos deletérios sobre a própria continuidade do desenvolvimento econômico *per se*.

Historicamente, observa-se que a produção industrial tem se elevado mais rapidamente que o aumento da população, resultando em elevação da média no padrão de vida. Desde 1930, a produção industrial aumentou em cerca de 14 vezes (MEADOWS, 2007). Entretanto, acompanhado da elevação média desta riqueza, verificaram-se níveis de pobreza absoluta superiores aos observados no início do século.

Dados sobre o crescimento econômico das últimas cinco décadas (1950-2000) revelam uma alavancagem do PIB mundial em torno de 5 vezes, balizado sobretudo, no crescimento da atividade industrial (que aumentou em torno de 7 vezes), saltando de 6 trilhões de dólares em 1950 para 43 trilhões no ano 2000. Somente neste último ano mencionado, a atividade econômica global foi superior ao conjunto da produção de todo o século XIX. De acordo com PENTEADO (2005):

“A idéia dominante que continua sendo seguida por todos é a salvação social através do crescimento a qualquer custo, como se as leis da economia dominassem as leis da natureza e como se esse crescimento fosse o único meio de trazer bem-estar à humanidade.”

Por conseguinte, as atividades produtivas utilizaram energia derivada fundamentalmente dos combustíveis fósseis o que, por sua vez, levou a ampliação da extração do petróleo e seus derivados em cerca de 6 vezes (PENTEADO, 2005). Os resultados demonstram que a elevação da concentração de dióxido de carbono na atmosfera se elevou de maneira drástica, especialmente porque os resíduos, em sua maior parte, provêm das atividades produtivas que lançam compostos ricos em hidrocarbonetos. Esses compostos desencadeiam graves problemas ambientais, tais como o efeito estufa.

Os economistas ambientais defendem que usar o PIB como indicador econômico é insuficiente, pois sua fórmula de cálculo não considera os custos marginais derivados do “holocausto ambiental e social” causado pelo aumento da produção.

Não somente a concepção atual de riqueza sustenta os convencionais modelos de crescimento econômico. O crescimento da população também pressiona o uso dos recursos ambientais. O aumento populacional faz crescer a demanda de bens e serviços, potencializando a pressão sobre a necessidade de extração de insumos da natureza. Por exemplo, nos países onde as taxas de aumento populacional foram mais elevadas, mais rapidamente as áreas foram convertidas para uso agrícola, pressionando ainda mais a terra e os habitats naturais.

A dimensão de qualquer população varia com o resultado da flutuação de três fatores essenciais: taxa de natalidade, taxa de mortalidade e taxa de emigração/imigração. Quando algum ou todos esses fatores diferem de zero, o tamanho da população se altera. A força primordial da mudança populacional, entretanto, seja num país ou em todo o mundo, é a mudança nas taxas de mortalidade e natalidade.

A **Figura 1** expõe as projeções sobre crescimento da população mundial em termos absolutos. Observe que mesmo as estimativas mais conservadoras consideram que a humanidade crescerá até o ano de 2035, atingindo uma população de quase 8 bilhões de pessoas.

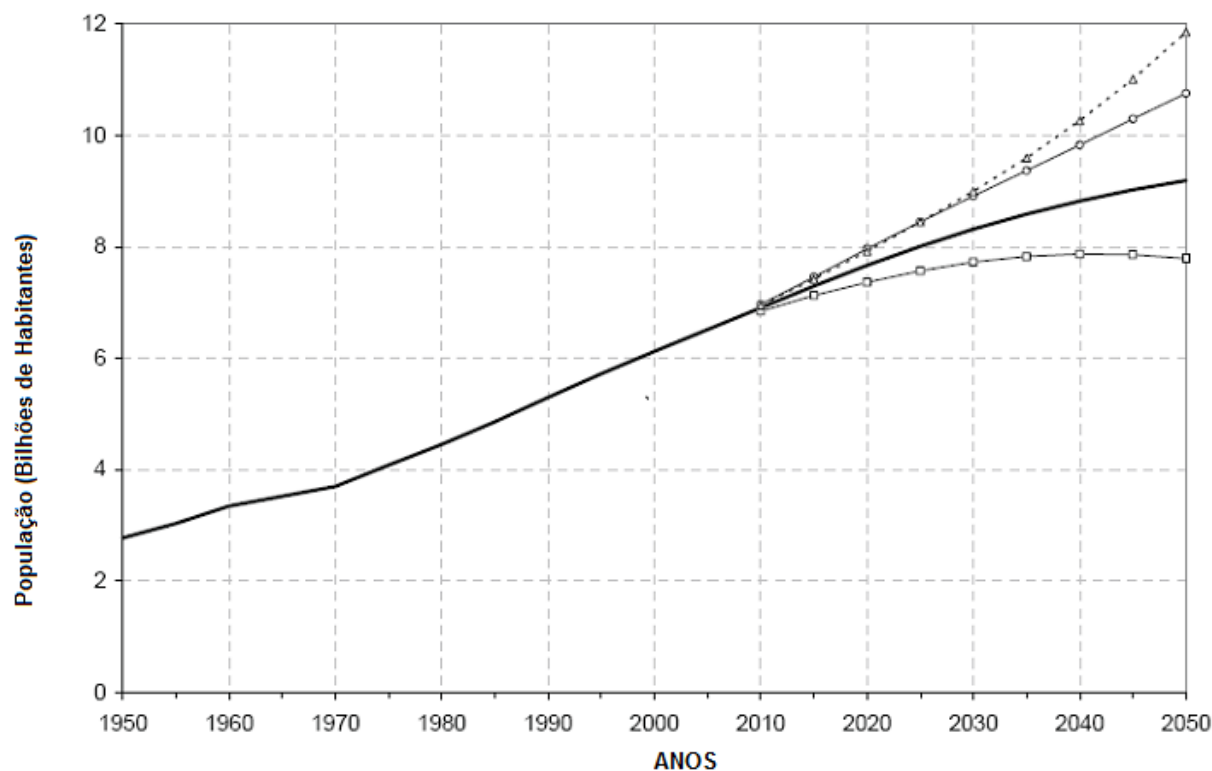


Figura 1 - Projeções para o crescimento da população mundial 1950-2050.

Fonte: UNITED NATIONS, 2008.

Porém, utilizando a estimativa mais pessimista, a trajetória populacional poderá atingir patamares insustentáveis, levando o número de habitantes na Terra a chegar a quase 12 bilhões de habitantes em 2050. De qualquer forma, as projeções apontam para um contínuo aumento da população pelo menos, nas duas próximas décadas.

Em síntese, a busca por recursos naturais e energia vem aumentando de forma exponencial, resultado, sobretudo do crescimento populacional e da expansão das atividades econômicas. Esta medida, ao mesmo tempo, reduzem os recursos oferecidos pela natureza também de maneira exponencial, sem dar o tempo necessário para os recursos naturais se regenerarem.

Embora a taxa de fertilidade¹ tenha apresentado queda ao longo dos anos, esta não foi suficiente para reduzir o crescimento da população mundial, em termos absolutos. Em

¹Refere-se ao número de partos que ocorrem para um indivíduo ou de uma população.

2006, a taxa de fecundidade foi de 1,2 filhos por mulher, em países como a Geórgia e Ucrânia. Por outro lado, a taxa atingiu 8,0 filhos por mulher na África Ocidental, a exemplo da Nigéria (PRB, 2008). Mais de 4 milhões de crianças nasceram nos Estados Unidos e cerca de 27 milhões na Índia. Em todo o mundo, 137 milhões de seres humanos nasceram em 2006, o equivalente a 261 bebês por minuto (PRB, 2008).

Se cada humano que nasce, vivesse nos mesmos padrões de consumo de um britânico comum, durante sua vida seriam necessárias 3,5 geladeiras, 4,8 televisores, 15 computadores², 08 carros, 1895 garrafas de vidro, 8500 quilos de embalagens, 40 mil quilos de lixo, 1 milhão de litros de água para banho, em 78,5 anos de suas vidas³.

A dinâmica do crescimento populacional favorece o sobreuso dos recursos ambientais. Embora a população esteja crescendo mais devagar do que o esperado, as pessoas também estão vivendo mais do que no passado, ou seja, expectativa média de vida nos últimos 100 anos aumentou mesmo com redução das taxas de natalidade e mortalidade. Melhoras no saneamento, cuidados médicos, remédios, abrigo e nutrição, todos levaram a aumentos dramáticos na expectativa de vida, questões que indubitavelmente coloca para economistas e governos o desafio de equacionar a necessidade de ampliação da produção material para fazer face às necessidades de consumo de uma população crescente.

² Em relação aos consumo de recursos naturais, a produção de cada computador necessita de 24 quilos de combustíveis fósseis e 1500 litros de água.

³ Fonte: Documentário Marcas da Humanidade, exibido pelo National Geographic.

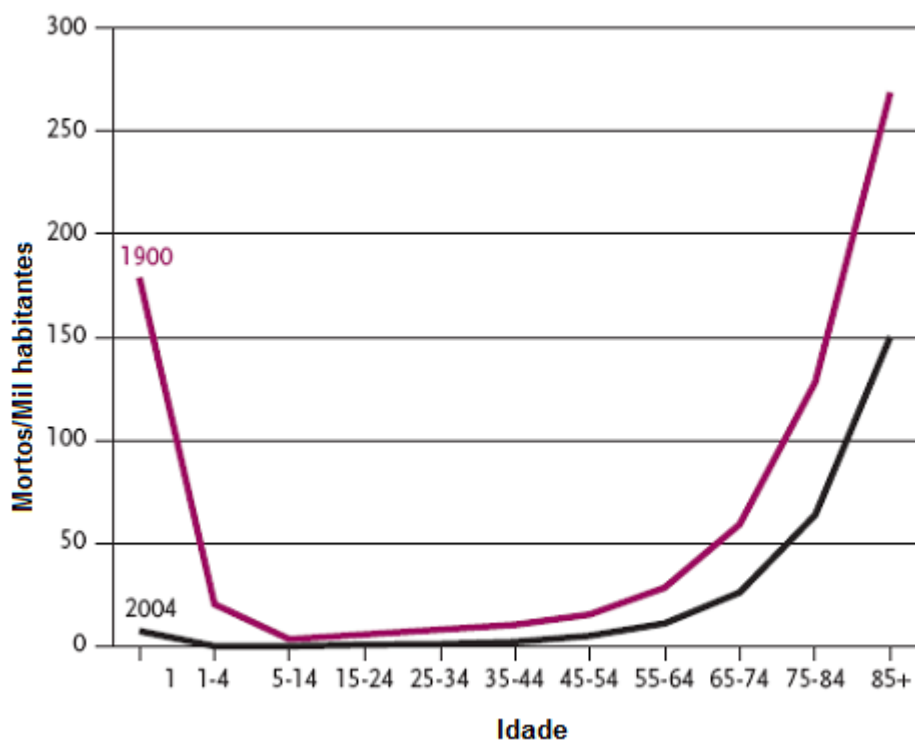


Figura 2 – Taxa de mortalidade por idade, 1900-2004.

Fonte:

O número de pessoas na Terra e a taxa pela qual esse número aumenta impacta dramaticamente sobre os recursos naturais, a disponibilidade de água, solo, terras aráveis, minerais e sobretudo energia.

No item que segue, apresenta-se o arcabouço teórico utilizado como referência a esta dissertação.

1.2 - Teoria Econômica Evolucionária e Suas Contribuições

A teoria evolucionária foca a mudança tecnológica como a “mola propulsora” do desenvolvimento econômico. Os modelos evolucionistas destacam o papel da inovação como instrumento preponderante em seu corpo teórico ao estudo da firma e mercados, na tentativa de dar uma visão dinâmica ao sistema, onde o ambiente influencia decisivamente a seleção pelos agentes das condutas a serem adotadas em cada momento. “A linguagem

evolucionista ou desenvolvimentista tem sido usada por economistas para descrever como a estrutura de uma economia muda ao longo do tempo” (TIGRE, 2005).

A existência de uma relação entre desenvolvimento econômico, mudança técnica e progresso científico determina a atividade inventiva e inovativa. A abordagem evolucionista considera a inovação como um processo cumulativo e dinâmico.

Este referencial teórico surgiu com as idéias desenvolvidas por Schumpeter em várias de suas obras. Para Schumpeter, a inovação é o elemento que possibilita a evolução do sistema capitalista e é através deste processo de transformação que a economia mostra o dinamismo das firmas e mercados na luta pela obtenção de lucros.

Segundo Schumpeter, o entendimento do processo inovativo requer distinção conceitual entre invenção, inovação e difusão. Assim, a invenção pode ser entendida como um novo produto ou processo que ocorre dentro do que se poderia chamar de esfera técnico-científica e ela pode permanecer lá para sempre. Em contraste, a inovação é um fato econômico, é a primeira introdução comercial de uma invenção. Transfere-a da esfera técnico-científica para a esfera econômica, cujo futuro vai ser decidido pelo mercado. Em caso de erro ou falha ela pode desaparecer por um longo período de tempo ou para sempre. Em caso de sucesso ela pode ou permanecer como um fato isolado ou tornar-se economicamente significativa, dependendo do grau de sua apropriabilidade, isto é, seu impacto sobre concorrentes ou sobre outras atividades econômicas. Por sua vez, a difusão é a replicação da inovação no sistema econômico transformando-a num fenômeno socio-econômico.

1.2.1 - Inovação e Tecnologia

Schumpeter criticou aqueles que afirmavam que o crescimento econômico levava a economia ao estado estacionário. Para Schumpeter, inovar é inerente ao sistema econômico como contínua busca por soluções para determinados problemas tecnológicos, substituindo formas antigas por formas novas de produzir e consumir. Novos produtos, novos processos,

novos mecanismos de distribuição, novos empreendedores, novos modelos de negócios (SCHUMPETER, 1982). Portanto, a inovação é a projeção, realização e comercialização da invenção e que se resume em mudanças técnicas e organizacionais que implicam em uma *mudança qualitativa*, determinante para o desenvolvimento econômico no longo prazo.

Essa mudança qualitativa, segundo a visão Schumpeteriana, pode se dar de forma gradual ou contínua. No último caso, ela pode levar a alterações estruturais que mudam completamente a configuração do sistema.

Portanto, essas mudanças internas ao sistema capitalista lhe conferem a característica de contínuo desequilíbrio. Schumpeter não elimina a possibilidade de equilíbrio mas o considera raro para um sistema dinâmico e concorrencial. O processo de seleção é estocástico, ou seja, não existe garantias que os resultados das atividades inovativas serão sempre satisfatórios.

Esse processo de “*destruição criativa*”, segundo Schumpeter, faz o sistema capitalista gerar riqueza e produzir crescimento econômico. “*O capitalismo é então, pela sua própria natureza, uma forma ou método de mudança econômica, e não apenas nunca está, mas nunca pode estar estacionário* (SCHUMPETER, 1982)”. Em outras palavras, a destruição de velhos e o nascimento de novos processos demonstra a endogeneidade do processo inovativo e como revoluciona a estrutura econômica capitalista. A destruição criativa possibilita a geração de movimentos que alteram o estado de equilíbrio do sistema:

O ciclo e todo processo ‘orgânico’ do desenvolvimento capitalista deveria ser explicado por outro fenômeno que não o equilíbrio: pela mutação industrial, se eu puder utilizar o termo biológico, que incessantemente revoluciona a estrutura de dentro, destruindo o antigo e criando o novo. Este processo de ‘Destruição Criadora’ é o fato essencial do capitalismo (SCHUMPETER, 1982).

Todo esse esforço contínuo por parte dos empreendedores em inovar é motivada pela busca incessante em auferir lucro ou ampliar sua participação no mercado. A concorrência em Schumpeter é centrada no lucro monopolista temporário. A busca do lucro, através da

inovação, é fundamental na transformação da situação estática em processo de dinâmica econômica. Motiva as empresas a receberem vantagens caso descubram novas soluções em seus produtos, processos e até mesmo no mercado. Segundo a teoria schumpeteriana, sem o lucro não poderia haver nenhuma acumulação de riqueza e, consecutivamente, nenhum desenvolvimento. A relação lucro-função empresarial-inovação revoluciona a estrutura econômica a partir de dentro (SCHUMPETER, 1982).

Deste modo, as firmas conseguem obter essas vantagens sob a forma de lucro, caso tenham conhecimentos tecnológicos para inovar. A capacidade tecnológica é o domínio, a destreza, a habilidade sobre a tecnologia adquirida em suas atividades econômicas. O processo de difusão tecnológica tende a reduzir os lucros extraordinários advindos da inovação (DOSI, *apud* MAY, 2003). No entanto, as firmas resistem à perda dos lucros extras ou à ameaça de perda buscando outras inovações.

Neste contexto, a introdução de uma inovação, desde que seja absorvida pelo mercado, implicará em um novo dinamismo para economia. Os lucros advindos dessa inovação contribuem para acirrar a competição capitalista, atraindo imitadores. Nesse primeiro momento, elevam-se as taxas de investimento, nível de emprego e crescimento da economia.

Em um segundo momento, a oportunidade de realização de altos lucros na área associada à inovação é reduzida, haja vista a tendência de aumento de oferta que ocorrerá nessa ocasião. Neste caso, acirra-se a concorrência de preços à medida que o processo de inovação se generaliza e os frutos da introdução do novo método não aparecem nas mãos dos indivíduos na magnitude que esperavam quando o introduziram.

A inovação tecnológica é um processo dinâmico e constante, e é influenciada, de fato, por vários fatores, desde a interação entre os pesquisadores até a questão mais formal da própria estrutura organizacional, ambiente econômico, político, social, etc. Igualmente é influenciada por um ambiente de incentivo à pesquisa nas estruturas formais de P&D, isto é, as instituições (tanto públicas quanto privadas). As inovações são só viáveis se existir, de fato, a interação entre estruturas sociais e institucionais

bem definidas dentro de um conceito pro-inovação das tecnologias, força impulsionadora da economia (TIGRE, 2005).

Vários outros aprofundamentos tratam a questão da inovação e do progresso técnico após as propostas de Schumpeter. Nelson & Winter (1982), evidenciam que a utilização da estratégia tecnológica de cada firma tende a produzir vencedores e perdedores, já que algumas firmas tirarão proveito das oportunidades tecnológicas mais do que outras. O instrumental analítico dado por Nelson & Winter é inspirado na teoria darwiniana de seleção natural das espécies. Utilizando uma analogia biológica, as firmas (assim como as espécies) passam por um processo de mudança tecnológica (mutações genéticas) em um ambiente marcado pela competição (meio ambiente, competição pela sobrevivência), ou seja, as firmas buscam incessantemente introduzir inovações em seus produtos e processos o que por sua vez seriam submetidos a mecanismos de seleção inerentes à concorrência e ao mercado (POSSAS, 1989 *apud* GRASSI, 2001).

Neste entendimento, a racionalidade otimizadora é substituída por uma racionalidade limitada em que os indivíduos aplicam rotinas⁴ na tentativa de solucionar seus problemas técnicos. O mercado tem o papel de selecionar as rotinas mais eficientes através da concorrência entre os agentes.

Outras abordagens tentam englobar a Economia a todo o núcleo teórico darwiniano, considerando universal seus princípios de seleção, variação e hereditariedade e não somente fazendo uma analogia. Esta visão, sobretudo aplicada por Hoggson, possui algumas críticas, no qual não detalha-se aqui neste trabalho. Sob um ponto de vista importante na visão desta concepção teórica está em considerar a ação humana nos ambientes sócio-econômicos envolvem cognição, desejos e intuição e portanto um novo modelo de racionalidade. Segundo VERCELLI (1991):

⁴ Rotinas, segundo Nelson & Winter, são ações preestabelecidas voltadas para a consecução de um determinado problema.

*“As formas de racionalidade consideradas até este ponto (substantiva e limitada) referem-se todas a uma dada estrutura do ambiente que cerca o agente, e nesse sentido podem ser interpretadas como variantes da racionalidade adaptativa. Até agora ignoramos um aspecto específico da racionalidade humana que a distingue da animal. Todos os seres são dotados de certo grau de racionalidade adaptativa; a este respeito, a diferença entre eles é mais quantitativa que qualitativa. A diferença qualitativa real está na capacidade humana de modificar conscientemente o ambiente. Isso requer o exercício de uma forma de racionalidade que transcende a forma adaptativa que descrevemos antes – uma racionalidade voltada a selecionar as condições adequadas para a ação. Chamo a essa forma de **racionalidade criativa**, uma vez que ela pretende modificar a estrutura do sistema econômico ou as das condições ambientais que o afetam”.*

Os primeiros passos na busca de identificar quais são as motivações da inovação, levaram a Rosemberg (*apud* BRAGATTO, 2002) a sistematizar a definição de *demand pull* e *technology push*. O modelo “*demand push*” (empurrão da demanda) considera que a força motriz da mudança técnica está centrada na demanda que incentiva a busca por novos produtos e novas técnicas, pelo mercado. Em outras palavras, o tamanho, a taxa de crescimento do mercado, a elasticidade-renda da população, sinaliza o mercado a encontrar oportunidades tecnológicas necessárias ao atendimento da própria procura.

Os modelos de *demand pull* são contrários à noção de *technology-push* (*empurrão da tecnologia*). Significa dizer que as forças dos mercados não encorajam a inovação. Evoluções na ciência e tecnologia ocorrem de fora da economia e portanto são exógenas ao sistema.

Diferentemente daquilo definido por Rosemberg, Dosi não classificava os dois modelos como antagônicos ou simplesmente de caráter reativo⁵. Para ele, as firmas buscam continuamente inovar identificando as oportunidades que as favoreçam em seus nichos de mercado:

⁵ A reação aos preços da demanda (*demand pull*) traria novas oportunidades para que a tecnologia, de maneira exógena, provocasse as mudanças técnicas necessárias.

O progresso técnico é amplamente dirigido endogenamente por um processo competitivo no qual as firmas tentam continuamente melhorar suas tecnologias e artefatos básicos. Quer os sinais de mercado mudem, quer não, as firmas tentam aperfeiçoar seus produtos e processos por mecanismos de busca por tentativa e erro, e por imitação dos resultados já alcançados por outras firmas, motivadas pela fronteira competitiva que se espera que as inovações ofereçam. (DOSI, 1984, p. 22).

Portanto, embora existam situações onde uma ou outra teoria possa aparentemente prevalecer, as abordagens *technology push* e *demand pull* devem ser consideradas simultâneas e complementares no estudo da teoria econômica da inovação. (DALCOMUNI, 2005).

1.2.2 – Paradigmas e Trajetórias Tecnológicas

Porém, toda ordem dinâmica no processo inovativo foi fundamentada pelo economista italiano Giovanni Dosi. *O progresso tecnológico costuma trilhar um determinado caminho, que serve de orientação para as empresas no que se refere às decisões relativas à inovação* (GRASSI, 2001). Para DOSI (1984), existe uma ordem dinâmica no progresso tecnológico que segue o percurso das trajetórias e dos paradigmas tecnológicos.

Em cada momento histórico, a comunidade científica tende a reconhecer-se dentro de um determinado conjunto de teorias, aquilo que KUHN (2000), chama de “*paradigma*”. Tais noções, adaptadas por DOSI (1988) que se propôs a entender as condições sob as quais as inovações emergem e se modificam. Para tanto, desenvolveu o conceito de paradigmas e trajetórias tecnológicas. Assim, aproveitando-se desta definição de paradigma científico aplicado por KUHN como “*realizações científicas universalmente reconhecidas que durante algum tempo, fornecem problemas e soluções modelares para uma comunidade de praticantes de uma ciência*”, DOSI emoldurou conceitos mais abrangentes sobre paradigma e trajetória tecnológica:

Um “paradigma tecnológico pode ser definido como um padrão de solução de problemas tecno-econômicos selecionados, baseados em princípios altamente

selecionados e derivados das ciências naturais, juntamente com regras específicas que buscam adquirir conhecimento novo e salvaguardá-lo, quando possível da difusão rápida aos concorrentes” (DOSI, 1988).

O paradigma tecnológico seria um novo ponto de partida pelo qual as firmas deveriam se posicionar, independente de sua escala e participação no mercado. O formidável é que as empresas que não se encaixam neste novo paradigma tecnológico estão fardadas a desaparecerem. Os paradigmas nascem e extinguem-se progressivamente, em direções precisas, num processo contínuo de melhorias.

As grandes revoluções tecnológicas que transformam a estrutura e o funcionamento do sistema econômico nascem a partir da introdução de novos paradigmas que sejam capazes de juntarem um grande número de inovações promovendo a superação dos paradigmas anteriores. São exemplos de mudanças paradigmáticas: o motor a combustão interna, energia vinda da eletricidade, os computadores, entre outros, que modificaram completamente a estrutura do sistema econômico. Portanto, o novo paradigma impõe restrições tecnológicas ao mesmo tempo em que cria novas oportunidades, elimina produtos e processos e cria novos produtos e processos. Em síntese, o velho paradigma é gradualmente sobreposto pelo novo.

No entanto, a introdução de um paradigma tecnológico não é facilmente observável pelas empresas, especialmente nos estágios iniciais desta mudança. Algumas delas podem ficar enraizadas ao paradigma em desuso, gerando aquilo que chamamos de efeito *lock-in*.

Os paradigmas tecnológicos implicam em transformações intrínsecas, cumulativas e também de constantes melhorias. DOSI (1984) convencionou como Trajetória Tecnológica:

“(…) como resultante do modo ou padrão de realizar a formulação e solução de problemas específicos no interior do próprio paradigma”(CARIO, 1995).

As trajetórias tecnológicas podem ser definidas como desdobramentos próprios no interior de um paradigma tecnológico. A trajetória é o percurso por onde evolui o paradigma. Ela dá orientação às estratégias das firmas e podem definir sua estrutura. São considerados alguns exemplos de trajetória tecnológicas: injeção eletrônica, direção hidráulica, telefonia celular, entre outros. Essas novas oportunidades de produção são resultado de um evolutivo processo de aprendizado a partir da interação de rotinas estabelecidas com experiências adquiridas.

Portanto, a história da firma é importante para os processos inovativos, ou seja, o dinamismo de todo este processo dependerá das capacitações dinâmicas de cada firma, mostrando uma inter-relação ao longo de sua história produtiva. Este processo é conhecido como *path dependence*.

1.2.3 - Estratégias Tecnológicas Competitivas

As empresas são responsáveis pela adoção de estratégias dinâmicas, tecnológicas e competitivas na tentativa de superar a própria sobrevivência no mercado, cada dia mais seletivo.

Desta forma, FREEMAN (1988) destaca que as inovações podem ser divididas em duas vertentes: *incrementais* ou *radicais*. A inovação incremental representa a introdução de qualquer tipo de melhoria em um produto ou processo dentro da empresa e sem alterar sua estrutura industrial. Já as inovações radicais, referem-se à introdução de um novo produto, processo ou forma de organização das empresas ou setores, podendo causar impactos significativos na economia desde a redução de custos ou aumento de produtividade dos produtos já existentes, até mesmo modificando todo o padrão tecnológico por meio de sua difusão sistêmica, dando início a novas indústrias, setores ou mercados (LASTRES e ABAGLI, 1999). Estas e algumas outras inovações radicais impulsionaram a formação de padrões de crescimento, com a conformação de paradigmas tecno-econômicos (FREEMAN, 1988). De outra forma, o paradigma tecno-econômico, refere-se a “*adoção de*

conjunto de elementos técnicos, organizacionais e institucionais, combinados, que alteram significativamente os mercados e a estrutura de produção”(SANDRONI, 2005).

Para FREEMAN (1988), o paradigma tecno-econômico possui três fases distintas: Primeiramente, o paradigma se apresenta com características de abertura, oferecendo espaços ao dinamismo das pequenas empresas e a experimentação de inúmeras soluções tecnológicas; A segunda fase, seleciona as empresas vencedoras, determinando “*standards*” (padrões) no qual o paradigma tecnológico amadurece; Na terceira, as vantagens e os elementos de produtividade implícitos nas empresas vencedoras, decaem e neste ponto o ciclo tende a estabilizar a espera de uma nova revolução.

FREEMAN (1988) sistematizou as estratégias de concorrência adotadas pelas firmas através de mudanças tecnológica, de mercado e como esses avanços dos concorrentes pressionam as firmas a inovar. Basicamente, na análise de Freeman, as estratégias podem ser *ofensivas* ou *imitativas*.

A estratégia ofensiva consiste em alcançar a liderança técnica ou de mercado em frente a seus concorrentes, através da introdução de novos produtos ou processos. Na prática, a quantidade de firmas que adotam este tipo de estratégia é muito pequena já que envolvem áreas específicas dentro da empresa, intensivos em pesquisa e tecnologia, trabalhando com experimentos focados no longo prazo. As empresas inseridas neste contexto, buscam liderar seus mercados ou conseguir uma vantagem competitiva sobre seus concorrentes, lançando novidades no mercado. No entanto, as empresas sabem que adotar uma estratégia dominante envolve alto risco pois, mesmo amparados com diversos estudos para minimizá-los, não se sabe qual será a reação da demanda após sua introdução do produto no mercado.

A segunda estratégia é nominada “*defensiva*” ou “*imitativa*”. É uma estratégia adotada por empresas objetivam permanecerem no mercado, oferecendo um produto semelhante ao existente. Na concepção de Freeman (1988), imitar a estratégia não significa fazer somente uma cópia fiel dos produtos e processos daqueles dominantes. Eles buscam desenvolver imitações dos produtos a fim de criarem seus próprios mercados.

1.2.4 – Sistema Nacional de Inovação

A capacidade de aprendizado, criação e uso de competências, segundo Freeman, são afetados diretamente pelo papel das instituições, que precisam estar direcionadas ao desenvolvimento tecnológico e científico, desenvolvendo também novas formas de comportamento, políticas, regras de acordo com suas especificidades. Diante disto, os processos inovativos são incorporados no nível da firma, ampliando sua possibilidade através das relações entre a empresa e as organizações.

A análise das instituições, sob a ótica evolucionista envolve mudanças na estrutura econômica de forma complexa e criativa, em função das alterações no paradigma tecno-econômico vigente. Essa visão sistêmica dos fenômenos inovativos é configurada como *Sistemas Nacionais de Inovação*. Pode ser considerada atualmente como o modelo mais completo sobre o conceito de progresso tecnológico. Ele é fruto de um processo de interação entre todos os elementos importantes para a compreensão da atividade de inovação e produção das firmas. O Sistema Nacional de Inovação é composto por instituições e organizações que cooperam entre si na tentativa de desenvolver habilidades dentro das firmas ou fora delas. Abrange universidades, centro de pesquisas, laboratórios de P&D e entidades públicas e privadas que de alguma forma contribuem o êxito do desenvolvimento, difusão e utilização das inovações.

As instituições promovem um conjunto de hábitos, rotinas, regras preestabelecidas, normas, leis que regulam as relações entre indivíduos, grupos ou organizações. FREEMAN (1988) apresenta essas organizações como “*estruturas formais com propósitos definidos, como empresas, organizações políticas, centro de pesquisas, entre outros*”. Neste aspecto, o processo inovativo reflete a interação entre os agentes e não somente dentro das empresas.

Neste sentido, a interação entre a tecnologia e as células institucionais são capazes de definir trajetórias de crescimento dinâmicas e escolhidas *ex-ante*, que garantam a qualidade desta interação e a qualidade do crescimento econômico.

Freeman resgatou a teoria das ondas tecnológicas desenvolvida por Schumpeter, apresentando os setores que mais evoluíram durante a trajetória do capitalismo, unificando o entendimento da evolução do capitalismo às ondas de crescimento e depressão de longo prazo. Conforme ilustração no Quadro 2:

Quadro 2 – Ondas Longas de Desenvolvimento da Economia Mundial

Ondas	Período	Descrição	Principais atividades	Fatores-chave	Setores crescendo rapidamente
1. ^a	1770/80 a 1830/40	Mecanização	Têxtil, corantes, tecidos, máquinas têxteis, manufatura do ferro, energia motora – água	Algodão e ferro	Máquinas a vapor
2. ^a	1830/40 a 1880/90	Máquina a vapor e ferrovias	Máquinas a vapor, barco a vapor, máquinas e ferramentas de ferro, equipamentos para ferrovias	Carvão e transporte	Aço, eletricidade, gás, corantes químicos, engenharia pesada
3. ^a	1880/90 a 1930/40	Engenharia elétrica e engenharia pesada	Engenharia elétrica, máquinas elétricas, cabos e fios, engenharia pesada, armamentos, navios em aço, química pesada, corantes sintéticos.	Aço	Automóveis, aviação, rádio, alumínio, bens de consumo duráveis, petróleo, plásticos.
4. ^a	1930/40 a 1980/90	Produção em massa (Fordismo)	Automóveis, tratores, tanques, armamentos, aviões, bens de consumo duráveis, materiais sintéticos, petroquímicos, rodovias, aeroportos e linhas aéreas	Energia (petróleo)	Eletrônica, telecomunicações, computadores
5. ^a	1980 a ?	Informação e comunicação	Computadores, eletrônicos, software, equipamentos telecomunicações, fibras óticas, robótica, banco de dados, serviços de informação, cerâmica (novos materiais)	Micro-eletrônica	Biotecnologia de 3. ^a geração, atividades espaciais, química fina

Fonte: DALCOMUNI, 2000.

Portanto, o processo de aprendizagem, a capacidade de inovação depende não somente das empresas *mas também de um conjunto de fatores institucionais e políticos, da estrutura que a firma pertence no mercado e características sociais* (POSSAS, 1999).

1.3 – Desenvolvimento e Energia

No debate atual das mudanças ambientais globais, o crescimento populacional e o atual padrão de consumo têm sido objeto de grandes discussões no que toca seu papel no desenvolvimento dos países. E a base de todo esse desenvolvimento passa inevitavelmente pelo consumo de energia e suas implicações sobre as atividades produtivas. Para o atual modelo econômico, o desenvolvimento e consumo de energia caminham juntos, ressaltando uma relação quantitativa entre esses conceitos.

A energia sempre se constituiu num insumo decisivo ao desenvolvimento econômico. No atual contexto que as discussões sobre a matriz energética e seus impactos no desenvolvimento, especialmente pela geração de gases do efeito estufa e sua relação com o aquecimento global.

Os combustíveis possuem características diferenciadas, segundo seu poder calorífico, densidade, facilidade de armazenamento e transporte, sua versatilidade de utilização. O petróleo e seus derivados foram por muito tempo superiores aos demais combustíveis e por isso que atualmente são responsáveis pelo fornecimento de três quartos da energia consumida no mundo (PENTEADO, 2005). Assim, a substituição do carvão na matriz energética mundial pelo petróleo se deu pela virtude de sua qualidade e não pela escassez de carvão. Tal como o carvão substituiu a lenha na maioria das suas aplicações desde o início da Revolução Industrial.

Além de não serem renováveis, a queima de combustíveis fósseis produz em larga medida, a emissão de inúmeros compostos poluentes na atmosfera que tem causado um aumento da temperatura média da terra nos últimos anos. Estima-se ainda que, mantido esse mesmo padrão, o planeta poderá sofrer um aumento entre 1,3 e 5,9 °C até o final deste século (IPCC, 2008). Este fenômeno global pode desencadear diversos problemas climáticos que vão do degelo acentuado ao descontrole atmosférico extremo, afetando os ecossistemas existentes de diversas formas.

Os dados dos países mostram que existe uma relação direta entre demanda por energia e aumento da riqueza de uma população. O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é um indicador econômico-social composto por variantes como a expectativa de vida, grau de instrução e padrão de consumo. Observa-se que, à medida que a renda se eleva, a curva de consumo de energia sobe até uma determinada curvatura e atingindo seu ponto de máximo, onde a sensibilidade desta demanda não mais incidirá positivamente sobre a renda.

De acordo com BORGES (2007), avaliando a correlação entre a demanda por energia e *renda per capita* entre os países é possível chegar aos seguintes resultados:

- Em países com *renda per capita* de até 3 mil dólares/ano, a demanda por energia tem um crescimento explosivo, em função do consumo de bens industriais e da conquista da mobilidade pessoal;
- Entre 3 e 10 mil dólares/ano, o crescimento da demanda por energia diminui à medida que o consumo por bens industriais decresce;
- Entre 10 e 15 mil dólares/ano o consumo de energia cresce mais vagorosamente do que a renda pois as necessidades por bens de consumo são supridas e a industrialização mais madura do país se equilibra, prevalecendo a atividade de serviços;
- Acima de 25 mil dólares/ano o crescimento econômico exige poucas necessidades incrementais de energia à medida que a atividade econômica atinge seu grau de maturidade.

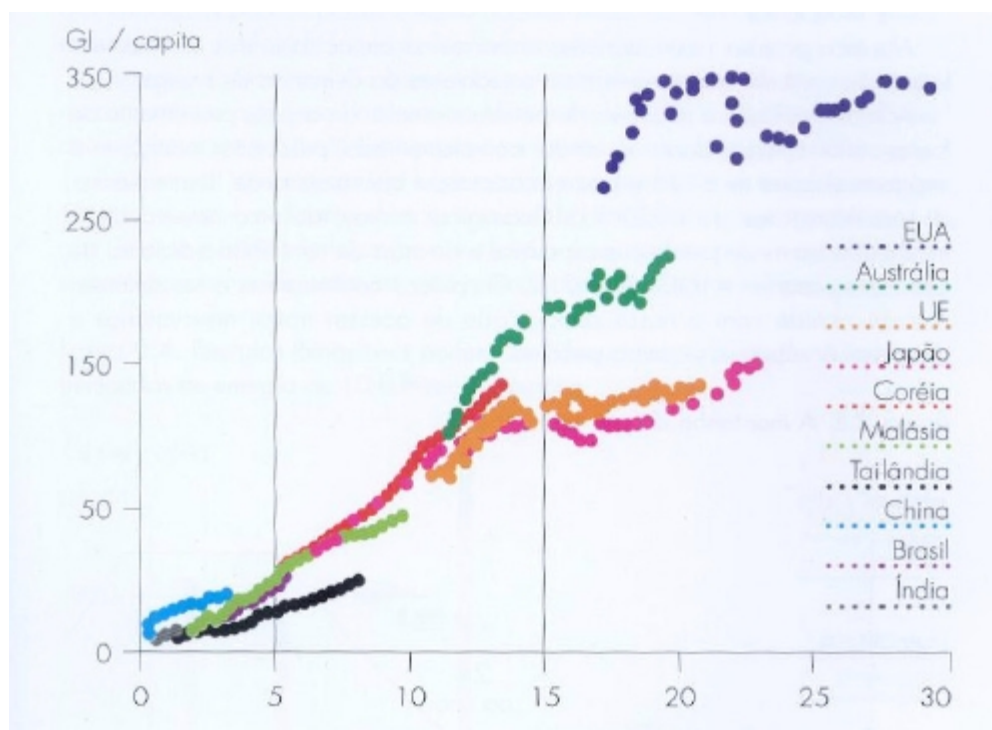


Figura 3 – Consumo de energia, segundo renda per capita dos países. (GJ/Pessoa)

Fonte: BORGES, 2007.

Por conta desta correlação com o desenvolvimento econômico, a adoção de energias renováveis tem sido o caminho buscado pelas empresas para dar soluções a estes problemas.

1.4 - Sustentabilidade do Desenvolvimento

Os materiais e a quantidade de energia utilizada pela população e para dar estrutura ao capital são extraídos de alguma forma do planeta e seus impactos não desaparecem quando seu uso econômico é concluído. Os materiais são reciclados ou se tornam resíduos e poluentes. A energia se dissipa sob a forma de calor não aproveitado. Neste contexto, os fluxos que atravessam o sistema econômico, sempre acarretam algum impacto, em maior ou menor grau. As pessoas sempre precisarão de algum alimento, água, ar limpo, vários tipos de materiais para se desenvolver, produzir, gerar capital e renda. Os equipamentos e máquinas produtivas necessitam de energia, água, ar e diversos tipos de materiais para dar a produção de bens e serviços.

Atualmente, existem limites para a velocidade de produção e de absorção desses fluxos pelas fontes e sumidouros, evitando prejuízos às pessoas, à atividade econômica e aos processos de regeneração e regulação da Terra.

A natureza desses limites é complexa, pois a capacidade de regeneração do planeta faz parte de um sistema dinâmico que está interligada e mantida pelos ciclos biogeoquímicos. O desafio do desenvolvimento sustentável está em conciliar o progresso e o meio ambiente através da continuidade do avanço científico, econômico e social da humanidade sem prejuízos graves à natureza e a manutenção dos recursos para as gerações futuras.

Historicamente, o tom alarmista sobre as preocupações ambientais veio pela publicação do relatório intitulado “*Limites ao Crescimento*,” durante a Conferência de Estocolmo em 1972 na Suécia, pela equipe de cientistas do MIT – *Massachusetts Institute of Technology* - a pedido do Clube de Roma. Nesse relatório se alertava que o crescimento exponencial da população, de alimentos e de consumo levariam o planeta a um colapso ambiental. O planeta extrapolaria a sua capacidade de carga e a natureza não suportaria os níveis de poluição produzidos por níveis de produção e consumo elevados. A publicação suscitou na defesa do “crescimento zero” como medida necessária emergencial, até encontrarem novas formas econômicas menos impactantes.

No início dos anos 1980, o debate a respeito das questões ambientais ficaram novamente evidentes através do relatório da Comissão Brundtland⁶, intitulado *Nosso Futuro Comum* que alertou a comunidade internacional a respeito dos problemas causados pelas atividades econômicas, apesar de estarem pontualmente localizados, afetavam as questões ambientais de maneira global. Este relatório oficializou o conceito de Desenvolvimento Sustentável:

“Desenvolvimento sustentável é aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades. Ele contém dois conceitos-chaves: o conceito de ‘necessidades’, sobretudo as necessidades essenciais dos pobres do mundo, que devem receber a máxima prioridade; a noção de limitações que o estágio da tecnologia e da organização social impõe ao meio ambiente, impedindo-o de atender às necessidades presentes e futura [...] Mas só se pode ter certeza da sustentabilidade física se as políticas de desenvolvimento considerarem a possibilidade de mudanças quanto aos acessos aos recursos e quanto à distribuição de custos e benefícios. Mesmo na noção mais estreita de sustentabilidade física está implícita uma preocupação com a equidade social entre as gerações”. CMMAD, 1991).

Após duas décadas de ampla discussão, o conceito de desenvolvimento sustentável ampliou-se de forma substantiva, tornando-se influência em diversas atividades e valores

⁶ O nome dado em homenagem a primeira ministra de Noruega, ministra Gro Brundtland, coordenadora do projeto, que chefiou a *Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento*, para estudar e discutir as questões ambientais.

econômicos e sociais (DALCOMUNI, 2006). A partir desta configuração geral, a noção de desenvolvimento sustentável se desenvolve em cinco dimensões fundamentais⁷:

- Dimensão Econômica: a base do desenvolvimento está ligada na ampliação dos bens e serviços produzidos pela atividade econômica, para uma população que aprimora a cada dia suas necessidades;
- Dimensão Social: o processo deve ocorrer em prol da redução das diferenças sociais, por meio de uma distribuição mais equitativa da riqueza produzida;
- Dimensão Ambiental: o desenvolvimento econômico deve ser compatível com a mínima deterioração dos recursos naturais. A natureza é entendida não como fornecedora de matérias-primas mas como patrimônio da humanidade a ser preservado, devendo sempre que possível, ser melhorado.
- Dimensão geográfico-espacial: Pressupõe na distribuição espacial equilibrada das atividades humanas, evitando problemas causados pela concentração ou ausência humana no território.
- Dimensão Político-cultural: conceito que permita respeitar as diferenças de cada particularidade, seja de um ecossistema, de uma cultura ou de uma determinada localidade.

A preocupação com o meio ambiente alicerçada pela lógica da sustentabilidade, caracteriza-se pela garantia de progresso material e bem-estar, resguardando os recursos e o patrimônio natural da humanidade para as gerações futuras. Neste contexto, as implicações estão em garantir que os recursos não sejam esgotados pela produção, mas que impõe uma gestão mais racional. O crescimento não é infinito e existem limites físicos e naturais a serem respeitados.

Dentro desse enfoque, o papel da inovação tecnológica é determinante para conduzir a economia ao desenvolvimento sustentável, através do aumento da produtividade, propiciando o uso mais eficiente dos recursos naturais.

⁷ Fonte: SACHS, 1974 *apud* DALCOMUNI, 2006.

1.5 – Inovação, Regulação Ambiental e Sustentabilidade

As inovações, sob a perspectiva evolucionista são sistêmicas, ou seja, dependem da interação de um conjunto de agentes públicos e privados que são socialmente dadas. Seu desenvolvimento e seu uso dependem de definições sociais. Assim sendo, inovações tecnológicas não são nem boas, nem más. Depende de como são concebidas e implementadas. O laser, por exemplo, foi desenvolvido como arma, mas pode também ser usado como técnica de larga utilidade na medicina. Similarmente, muitos foram as tecnologias que degradaram o meio ambiente porém tecnologias ambientais podem e têm sido crescentemente buscadas e desenvolvidas.

No âmbito do debate do desenvolvimento de tecnologias ambientais, têm-se buscado identificar as principais fontes de sua geração dentre as quais destaca-se a regulação ambiental.

A regulação ambiental e seu desenvolvimento se insere no controverso contexto das interações entre ações econômicas privadas e a depleção ou depredação de Bens Públicos (meio ambiente) e na intervenção estatal enquanto esfera de mediação/regulação de conflitos. Conflitos estes, decorrentes dos efeitos das externalidades das atividades produtivas privadas sobre os bens públicos (terra, água, ar, etc.).

O entendimento prevalente é o de que como o “mercado” tem sido ineficaz na solução dos problemas gerados por estas externalidades, haja vista as falhas de mercado existentes no que se refere aos bens públicos, a intervenção estatal através da Regulação Ambiental mostra-se o mecanismo mais apropriado para o equacionamento e solução destas questões.

A elaboração e implementação de regulação ambiental historicamente suscitam reação empresarial, pelo receio de promover a erosão da competitividade das empresas. Sobre este debate os autores Porter e Van Der Linde proveram importante contribuição.

Segundo Porter e Van der Linde (1999), uma regulação ambiental, desde que seja coerente e adequada, pode elevar ao aumento da eficiência dos recursos utilizados, em vez de comprometer a competitividade empresarial.

O exemplo do setor de floricultura holandês demonstra que as melhores práticas ambientais podem também trazer maior competitividade. O governo da Holanda adotou uma regulação considerada altamente restritiva, visando o combate da contaminação do solo e dos lençóis freáticos, causados pelo uso intensivo de pesticidas, herbicidas e fertilizantes no cultivo de flores, um dos setores mais fortalecidos do país. Normalmente, a competitividade de um setor como este requer recursos naturais como terra e clima favoráveis. A Holanda não tinha ambos. As terras são escassas e a região possui um dos climas mais imprevisíveis no planeta.

Diante dessas condições físicas desfavoráveis e de uma legislação ambiental mais severa, muitos imaginavam que o setor não seria competitivo suficiente para suportar tantas condições adversas e que as novas leis aniquilariam o setor de floricultura. Mas as empresas foram forçadas a inovar. A regulação tirou as empresas da inércia e os holandeses desenvolveram um sistema de cultivo em estufas de alta tecnologia que deu-lhes o domínio das tecnologias mais avançadas neste setor.

Para Porter e Van der Linde (1999), a poluição é a característica de um desperdício econômico. A regulação ambiental pode responder com inovações sob duas formas: *a redução de custos* ou *na melhoria da produtividade dos recursos*. A primeira abordagem direciona as empresas a encontrar soluções para converter os resíduos em novas formas de receitas. Adotar a reciclagem de materiais, melhorias no processamento de produtos químicos ou na própria substituição destes por materiais reutilizáveis podem trazer inovações incrementais e técnicas favoráveis a redução dos custos. Presume-se que a firma produzirá a mesma quantidade com a utilização de menos recursos ou produzirá mais usando as mesmas quantidades de insumos. De qualquer forma, os resultados implicarão em uma maior eficiência produtiva, com impactos ambientais menores. A produtividade dos recursos talvez seja o resultado mais importante dos desdobramentos de uma regulação

ambiental eficiente. Ela conduz ao uso de “*materiais menos dispendiosos como substitutos ou quando existentes são mais bem utilizados*” (Porter e Van der Linde, 1999). É conhecida como tecnologia de prevenção da poluição ou *pollution prevention*, já que os resultados compensariam os custos de implementá-las. Neste contexto, as inovações ambientais tornam as empresas mais competitivas.

Quadro 3 – Implicação de Uma Regulação Ambiental Eficiente

Setor	Problema Ambiental	Soluções Inovadoras	Conseqüência da Inovação
Papel e Celulose	Dioxina liberada pelo branqueamento com cloro	Melhoria nos Processos de Cozimento e lavagem. Eliminação do cloro, pelo uso de oxigênio, ozônio ou peróxido na lavagem. Processos de ciclo fechado (ainda problemáticos)	Redução dos custos operacionais através da maior utilização de fontes de energia secundária; Adicional de preço inicial de 20% para papéis sem cloro.
Tintas e Revestimentos	Compostos orgânicos voláteis nos solventes	Novas formulações das tintas (com baixo conteúdo de solventes, a base de água); Melhoria das técnicas de aplicação; Revestimentos tratados por radiação ou pulverização.	Adicional de preço para tintas e solventes; Melhoria na qualidade dos revestimentos em alguns segmentos; Benefícios para a segurança do trabalho; Maior eficiência de rendimentos; Redução de custos dos revestimentos através da economia de materiais.
Fabricação de Produtos Eletrônicos	Uso de cloro fluorcarbonos (CFCs) como resfriadores.	Agentes de limpeza, semi-aquosos, à base de terpeno. Sistemas de ciclo fechado; Soldagem e limpeza quando possível.	Melhoria na qualidade de limpeza e, portanto, na qualidade do produto. Redução de 30% a 80% nos custos de limpeza, com período de retorno geralmente de um ano. Eliminação de um passo na produção desnecessário

Baterias de Célula Seca	Vazamentos de Cádmio, mercúrio, chumbo, níquel, cobalto, lítio e zinco em aterros ou na atmosfera (após sua incineração)	Baterias recarregáveis de níquel-hidreto (para algumas aplicações). Baterias recarregáveis de lítio	Quase duas vezes mais eficientes, ao mesmo custo; Maior eficiência energética; Expectativa de competitividade no preço, no futuro próximo.
Tintas para impressão	COVs em tintas de petróleo	Tintas à base de água e à base de soja.	Maior eficiência, cores mais brilhantes e aumento da rentabilidade (dependendo das aplicações).

Fonte: Porter e Van der Linde (1999).

A regulação ambiental também pode levar a ações no tratamento de resíduos no final da produção e não somente durante as etapas do processo. Ela é chamada de tecnologia no final do cano ou mais conhecida como *end-of-pipe*. Regulações desta natureza refletem no tratamento de resíduos tóxicos jogados no final do processo produtivo, antes do lançamento na natureza. Sua aplicação não leva ao aumento da produtividade ou redução do uso dos recursos ambientais embora sua aplicação seja bastante relevante para reduzir custos do tratamento dos rejeitos.

De acordo com as observações de Porter e Van der Linde (1999), melhorias ambientais trazidas por uma regulação ambiental completa e coerente é capaz de dinamizar os agentes econômicos na melhoria dos processos das mais variadas formas:

- Economias de materiais, resultantes do processamento mais completo da substituição, da reutilização ou da reciclagem dos insumos da produção;
- Aumento nos rendimentos do processo;
- Menos paralisações, através do maior cuidado na monitoração e na manutenção;
- Melhor utilização de subprodutos;
- Conversão de desperdícios em formas de valor;
- Menor consumo de energia durante o processo de produção;
- Redução dos custos de armazenamento e manuseio de materiais;
- Economia em razão de um ambiente de trabalho mais seguro;

- Eliminação ou redução do custo das atividades envolvidas nas descargas ou no manuseio, transporte e descarte de resíduos;
- Melhorias no produto como resultado indireto das mudanças nos processos (como melhoria nos controle dos processos).

As inovações, como consequência das regulações ambientais, segundo Porter e Van der Linde (1999), também acrescentam aos produtos:

- Produtos com melhor qualidade e mais uniformidade;
- Utilização mais eficiente dos recursos pelos produtos;
- Aumento da segurança dos produtos;
- Redução do custo líquido do descarte do produto pelo cliente;
- Maior valor de revenda e de sucata do produto.

Assim conclui LUSTOSA (2002):

Mesmo que algumas empresas sejam proativas, isto é, adotem inovações ambientais antes que sejam obrigadas a fazê-lo, a necessidade de regulações que fomentem esse tipo de inovações surge do processo de competição dinâmica no qual as empresas estão inseridas.

O desenvolvimento tecnológico na atualidade quer tendo regulações ambientais como forças indutoras diretas ou não, têm sido crescentemente norteadas por questões ambientais. Tecnologias objetivando fontes alternativas de energia aos combustíveis fósseis inserem neste contexto, dentre as quais o desenvolvimento dos biocombustíveis, objeto da presente dissertação.

O capítulo que segue, apresenta-se o panorama da Indústria Automobilística mundial, a necessidade de combustíveis e as discussões que envolvem o tema em torno de sua sustentabilidade.

CAPÍTULO 2

INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA, DEMANDA POR COMBUSTÍVEL E QUESTÕES DE SUSTENTABILIDADE

A proposta deste segundo capítulo é discutir os efeitos das mudanças paradigmáticas sobre a indústria automobilística, desde o seu nascimento à consolidação de sua atual estrutura industrial. Em sua inter-relação com a relação dos combustíveis fósseis enquanto combustível básico dos meios de transporte. Procura-se ainda, explorar alguns aspectos referentes à crescente utilização de combustíveis alternativos que se afigura de modo crescente durante décadas, nas quais as questões ecológicas e o aumento no preço do petróleo tornam-se cada vez mais importantes na configuração do setor.

Ressaltam-se como as inovações técnicas e organizacionais modificaram uma atividade meramente artesanal para um sistema produtivo bem organizado, complexo e verticalizado. A busca pela produtividade caracteriza os processos de aprendizagem da indústria até meados dos anos 1970. Elementos condutores que deram condições à linha de montagem de Ford produzir automóveis com uma rapidez e produtividade jamais observada até então.

Em seguida, enfoca-se como a intensificação da competição nas décadas subseqüentes, juntamente com a reestruturação das empresas e a flexibilização do regime de trabalho, transformou progressivamente o sistema de produção fordista em um sistema de *produção enxuta*, liderado pela Toyota. Este sistema, chamado de Sistema Toyota de Produção, trouxe uma nova forma de se produzir automóvel, incorporando um regime de acumulação flexível, voltado especialmente à qualidade, à eliminação de todo o tipo de perda e aperfeiçoamento contínuo dos processos. Esses conceitos vão de encontro com as questões ambientais e o nascimento de novas fontes de energia para movimentação dos veículos, incluindo a trajetória tecnológica para a introdução dos biocombustíveis.

Por sua vez, a terceira parte deste capítulo destina-se a apresentar como as empresas estão se mobilizando na direção do paradigma da sustentabilidade, buscando entre as mais variadas inovações, alternativas na produção de veículos “*ecoficientes*”⁸. Estas inovações tendem a realinhar a estrutura da indústria automobilística mundial e têm potencial para impactar diretamente os “*combustíveis verdes*”⁹ como alternativa energética para o futuro.

Por fim, busca-se estudar a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias verdes tem respondido as oscilações súbitas e persistentes no preço do petróleo refletindo-se estas últimas podem estimular ou mesmo inviabilizar inovações voltadas a energia limpa e renovável.

2.1 Indústria Automobilística Mundial: Breve Histórico

Seria injusto creditar o invento do automóvel a uma só pessoa. Afinal, o automóvel como hoje é conhecido, não foi inventado em um único dia por um único inventor. A história do automóvel reflete um conjunto de inovações que ocorreu em diferentes localidades ao redor do mundo. Estima-se que mais de 100 mil patentes serviram de bases para a criação do automóvel moderno. Há registros de planos para a construção de um veículo móvel em rascunhos de inventores como Leonardo da Vinci e Isaac Newton.

Porém, a despeito do fascínio dos americanos por automóvel, curiosamente o berço da indústria automobilística aconteceu na França, enquanto Renè Panhard e seu sócio Emile Lavassor desenvolviam um projeto de uma estrutura composta por uma formação básica com um motor na frente do veículo e em cima de um chassi, freio, embreagem, pedais que acionavam o acelerador e a utilização de um radiador tubular localizado na parte dianteira do automóvel (FREEMAN e SOETE, 1997). Era uma tentativa de se criar um veículo capaz de substituir os principais meios de locomoção da época. As carruagens eram os principais meios de transporte de objetos e pessoas nas cidades e também apresentavam uma enorme quantidade de problemas. As ruas conviviam com esterco, sujeiras, odores terríveis e

⁸ As atividades ecoeficientes são definidas pela produção de bens e serviços com a utilização reduzida dos recursos ambientais de modo competitivo e que satisfaçam as necessidades humanas.

⁹ Referência dada aos combustíveis que levam a menores impactos ambientais.

parasitas, palco de inúmeras doenças que afetavam a vida daqueles que habitavam as cidades. Somente em Nova York, os cavalos despejavam cerca de 1.100 quilos de excrementos e 226.800 litros de urina por dia nas ruas. Cerca de 1.250 cavalos eram retirados mortos todos os meses da cidade. Em um estudo posterior que calculou as emissões de poluentes em cada milha, constatou-se que os carros emitiam 200 vezes menos resíduos que os cavalos (LUSTOSA, 2002). Uma alternativa para solucionar estes transtornos seria de fato, aprovada por todos os habitantes.

A determinação de uma data precisa sobre a origem do automóvel é ainda hoje muito controversa. Alguns estudiosos atribuem a história do automóvel associada a invenção do primeiro veículo com motor à combustão interna. Essa concepção do automóvel que vemos hoje em nossas garagens, foi fruto da invenção de Karl Benz e Gottlieb Daimler. Em 29 de janeiro de 1886, eles criaram um veículo de três rodas, reconhecido oficialmente como o primeiro automóvel (FREEMAN e SOETE, 1997). Com um motor na parte de trás, o “auto-móvel¹⁰” usava a gasolina como fonte energética e alcançava a velocidade de 10km/h. Esta originalidade técnica consagrou a patente dos alemães como primeiro automóvel prático. Diferentemente dos outros inventores, Benz não implantou simplesmente um motor de combustão interna sobre uma carruagem já existente, de modo a movê-la. Ele estabeleceu um mecanismo próximo com os veículos convencionais. Em seguida, elaboraram o primeiro veículo de quatro rodas produzido agora pela empresa Benz & Cia, cujo dono era o próprio inventor, e que teria uma trajetória triunfal como a maior fabricante mundial de automóveis, já em 1900. No entanto, outros fabricantes produziam veículos sobre suas próprias bases tecnológicas, utilizando inclusive processos de propulsão diferentes dos usados pela empresa de Benz.

2.1.1 – Vapor, Eletricidade ou Petróleo? Escolha do Padrão Tecnológico do Século XIX

Durante os primeiros anos de fabricação, a proximidade do automóvel com uma carroça ainda era visível. O uso das mesmas rodas utilizadas nos veículos de transporte a cavalos e

¹⁰ Apesar de ser instituída na França em 1875, a palavra “automóvel” ainda não era uma convenção utilizada para nomear o novo meio de locomoção. Somente mais tarde, com a massificação do transporte que o veículo teve a difusão do nome “automóvel”.

o uso da manivela para dar direção só foram aprimorados posteriormente, com a introdução de melhorias pneumáticas para solucionar a trepidação e a introdução do volante para facilitar a direção. Em ambos os casos, as melhorias surgiram em cima de bases tecnológicas que já predominavam sobre a estrutura dos automóveis.

Por outro lado, não havia um domínio tecnológico sobre qual meio de propulsão seria predominante. Apesar da atual hegemonia dos motores à combustão interna, durante os primeiros anos do século XX, não havia muita confiança que eles sairiam bem sucedidos. Neste período, um terço dos carros era movido a vapor, um terço movido à eletricidade e o outro terço movido à gasolina (CARSON, 2008). Ironicamente em 1908, o homem que mais tarde seria o responsável pelo fim da trajetória dos carros elétricos, Henry Ford, havia presenteado sua mulher com um modelo movido à bateria.

Os motores à combustão interna eram aqueles que percorriam as maiores distâncias, ainda que fosse necessário parar o carro diversas vezes ao longo do percurso para acrescentar água à refrigeração do motor. Caso contrário, havia o risco de esquentar demasiadamente ou até explodir. O desenvolvimento do radiador ajudou pouco a reduzir os riscos, mas ainda sim, eram necessários constantes reparos e não impediam que os condutores seguissem, sem realizarem freqüentes paradas para manutenção.

Além disto, os motores à combustão eram barulhentos, produziam um forte odor e despejavam uma enorme quantidade de fumaça por onde passavam, ao contrário da limpeza e a silenciosa característica dos motores elétricos que era a principal tecnologia concorrente. Em 1889, a invenção das baterias recarregáveis por Thomas Edison facilitou ainda mais o uso dos veículos à eletricidade (CARSON, 2008).

Em 1896, a primeira revenda de carros dos Estados Unidos comercializava somente carros movidos à eletricidade. A França e a Grã-Bretanha tornaram-se os primeiros países a incentivar o amplo desenvolvimento de veículos elétricos no final século. Em 1899, um carro de corrida elétrico produzido pelo belga Camille Jénatzy, chamado "*La Jamais*

Contente" definiu um recorde mundial de velocidade terrestre, até então de 68 quilômetros por hora (CARSON, 2008).

Em 1897, sua primeira aplicação comercial em escala foi direcionada aos táxis de Nova York, produzido pela *Electric Carriage and Wagon Company of Philadelphia*. Um ano mais tarde, enquanto uma forte nevasca cobria mais de um metro as ruas de Nova York, somente os carros elétricos conseguiam percorrer as ruas da cidade.

Com todos esses avanços, em 1902, uma empresa americana chamada *Wood's Phaeton* produziu um carro elétrico que tinha autonomia para percorrer 18 quilômetros em pouco mais de 22 km/h (CARSON, 2008). Logo em seguida, em 1916, a empresa inventou um carro híbrido tinha um motor que funcionava a combustão interna e com um motor elétrico (CARSON, 2008). Com todos estes sinalizadores, possivelmente as apostas giravam no predomínio dos motores elétricos como padrão tecnológico para os períodos subseqüentes.

Diante dessas vantagens, o veículo elétrico estava na escolha preferencial de muitos consumidores, principalmente porque era menos "burocrático" para seguir estrada. Ele não exigia um esforço manual para ligá-lo como eram os veículos à gasolina e não esquentavam demasiadamente como os veículos a vapor. Esses últimos, levavam muito tempo para dar partida, uma vez que o fogo tinha que ser iniciado e a pressão do vapor, responsável pela propulsão do veículo, poderia levar até 45 minutos antes de iniciar a partida.

2.1.2 – Afirmação Definitiva do Modelo de Combustão Interna

A gasolina era um resíduo da indústria do petróleo e custava pouco. Seria fácil para os comerciantes manterem reservas do combustível para vender aos motoristas. Sua cadeia de distribuição era mais evoluída que seus demais concorrentes e isto foi um forte ponderador em favor da gasolina.

A rede elétrica ainda não era tão perene e algumas cidades tinham energia somente em áreas delimitadas enquanto outras cidades ainda viviam à base de querosene para a iluminação noturna. Os veículos elétricos eram pesados, possuíam enormes baterias de pouca autonomia e dificultava o percurso em áreas mais íngremes. Essas baterias continham material altamente corrosivo que poderia vaziar e corroer peças, ferir pessoas e algumas vezes tornar-se mais poluente do que muitos veículos à gasolina. Além disto, a autonomia dos veículos elétricos era de cerca de 50km, metade da eficiência dos automóveis à gasolina. O custo de manutenção do veículo elétrico também representava uma grande desvantagem. Estimativas afirmam que o gasto operacional por milha era de duas a três vezes maior que aqueles gerados pelo carro à combustão interna (CARSON, 2008).

A queima do combustível produzia uma quantidade de energia tão alta que proporcionava força e durabilidade incomparáveis as outras fontes de energia da época. Mas o que determinou os avanços em favor do motor à gasolina foi a criação do “*motor de arranque elétrico*”, ocorrida em 1912. Ele eliminou o perigo de acidentes no momento da partida do motor evitando a necessidade de girar uma alavanca de arranque, correndo o risco de prender a mão ou perder o polegar no momento do giro.

Assim, o uso do veículo à gasolina se tornou mais simplificado e mais cômodo para o seu uso diário, prevalecendo sobre as demais tecnologias da época. Embora esta inovação técnica tenha dado aos motores a gasolina poder para acabar com as nascentes tecnologias de locomoção foi a revolução nas linhas de montagens por Henry Ford que fez sucumbir definitivamente a concorrente alternativa dos carros elétricos.

2.2 – Motorização em Massa de Henry Ford

Henry Ford estava convencido que um país como os Estados Unidos, com uma vasta extensão territorial e riqueza crescente, necessitariam de quantidades cada vez maior de automóveis. Ele julgava existir dois gargalos principais na indústria automobilística que impossibilitavam atingir-se esse objetivo: primeiro, os automóveis eram voltados para

atender a um público restrito, sobretudo aos esportistas de velocidade e para a classe rica européia; segundo, a produção era praticamente artesanal. Em 1903 inicia-se a produção da Ford Motor Company, uma pequena fábrica de carros, localizada em um velho galpão ferroviário em Detroit, com o intuito de produzir automóveis simples, com baixo custo e destinado às famílias da classe média americana. Ford utilizou os princípios de gestão científica proposto por Frederick Taylor e implementou mudanças radicais no processo produtivo através da *linha móvel de montagem*. Antes, era comum ver os veículos parados e diversos trabalhadores se movendo ao longo da linha de produção incluindo peças, apertando parafusos, etc. Um trabalhador precisava adquirir os componentes, juntar as diversas partes e localizar várias ferramentas durante as muitas tarefas. Com a linha móvel de montagem eram os veículos que se movimentavam, por meio de esteiras rolantes em uma direção linear, enquanto o operário permanecia praticamente imóvel, desempenhando uma pequena e repetitiva etapa da produção. Em outras palavras, o trabalho é entregue ao trabalhador em vez de deixá-lo com a iniciativa de ir buscá-lo. Ao contrário da produção artesanal, não era mais necessário que o trabalhador tivesse diversas habilidades pois as tarefas se tornaram repetitivas e exigiam o esforço mais físico que mental. A racionalização do trabalho tinha sido aprimorada radicalmente, dando a Ford amplas condições de popularizar o automóvel.

A linha móvel de montagem foi, portanto, uma revolução na forma de se produzir carros. Ela agilizou o processo produtivo deu base para o sistema de “*produção em massa*” automobilístico. Cada trabalhador repete uma ou poucas tarefas, servindo-se da mesma ferramenta e realizando operações praticamente idênticas durante toda etapa produtiva. A ferramenta certa e os componentes necessários estão sempre à mão, o trabalhador despende muito pouco tempo obtendo ou preparando materiais e ferramentas, conseqüentemente, o tempo gasto na produção de um produto é menor do que nos métodos tradicionais.

A probabilidade de um erro humano ou de variação na qualidade também foi reduzida, já que as tarefas são predominantemente realizadas por máquinas. A redução nos custos do trabalho assim como o aumento nas taxas de produção, permite que a empresa produza grandes quantidades de um produto por um preço mais baixo que os modos de produção

tradicionais, que não utilizam métodos lineares. Em 1909, a fábrica de Ford produziu 14 mil veículos. Cinco anos mais tarde, saltou para 230 mil (CARSON, 2008). Sem a linha de montagem, teria sido impossível produzir em massa os carros que os americanos estavam comprando.

O fordismo desenhou uma estrutura organizacional totalmente verticalizada, combinando vários processos de produção, distribuição e vendas dentro de uma mesma empresa. Em River Rouge, foi criado um imenso complexo industrial, que compreendia uma estrutura logística de portos e ferrovias até a produção de motores, fábrica de vidros, pneus, tinta e minas de carvão para oferecer energia auto-suficiente à fábrica (CARSON, 2008).

Para produzir veículos em massa, o modelo de desenvolvimento *fordista* exigia um grande volume de investimentos em capital fixo de larga escala e de longo prazo em sistemas de padronização da produção. O veículo pioneiro de Ford no processo de produção fordista foi o famoso Ford T. Ficou famosa a frase de Ford, que dizia que poderiam ser produzidos automóveis de qualquer cor, desde que fossem pretos. O motivo disto era que a tinta cor preta, secava mais rápido e os carros poderiam ser montados mais rapidamente.

A grande divisão e especialização de tarefas associadas à padronização dos procedimentos e dos produtos foram entendidas como estratégias fundamentais para permitir o sucesso desse novo modelo, que inovava ao conseguir uma produção em larga escala a menores custos e prazos.

Sabe-se que o próprio Ford, ao observar que sua produção em massa estava transformando as cidades em um ambiente sujo e inóspito tentou avançar no desenvolvimento de baterias elétricas mais eficientes juntamente com Thomas Edison. No entanto, dois incidentes levaram os dois visionários a encerrar o projeto. Primeiro, em 1914, o laboratório de pesquisa onde se concentravam os principais projetos para se fazer uma bateria à prova de manipulações, foi misteriosamente incendiado.

“But in truth the disaster was not only the final blow to Edison the man, but also to a bold venture by two titans of American invention and entrepreneurship--Thomas Edison and Henry

Ford. Their plan was to blunt the world's irrepressible and growing appetite for oil and the internal combustion machine. If successful, Edison and Ford--in 1914--would move society away from the ever more expensive and then universally known killing hazards of gasoline cars: air and water pollution, noise and noxiousness, constant coughing and the undeniable rise in cancers caused by smoke exhaust particulates."

"Mas, na verdade, o desastre não foi o último golpe para o cientista Edison, mas também para um arrojado projeto de dois Titãs da invenção e do empreendedorismo: Thomas Edison e Henry Ford. O plano era o de atenuar o mundo da irreprimível e crescente appetite por petróleo, e os motores de combustão interna. Se fossem bem sucedidos, Edison e Ford - em 1914 - moveriam a sociedade para um caminho mais custoso e acabando com o perigo trazidos pelos automóveis à gasolina ao redor do mundo: poluição do ar e da água, ruído, tosses inconstantes e inegáveis aumentos de câncer causados pela emissão de partículas pelos escapamentos" (BLACK, 2006).

Em seguida, a Primeira Guerra Mundial consolidou o motor à combustão como padrão tecnológico predominante, na construção de navios, tanques e automóveis de guerra movidos à petróleo.

O início da Primeira Guerra Mundial, em 1914, o óleo combustível e a gasolina se tornaram em energéticos fundamentais para a mobilidade das tropas dos países envolvidos na guerra. O óleo combustível foi utilizado principalmente pela Marinha Inglesa que substituiu o carvão até então utilizado por sua frota. O óleo, ao contrário do carvão, não se deteriorava, o que facilitava a armazenagem de estoques em tanques subterrâneos, e admitia o reabastecimento no mar. Oferecia, também, a vantagem de aumentar a eficiência de combate dos navios, uma vez que um número menor de homens era retirado das armas para trabalhar nas fornalhas, e a velocidade de abastecimento era bem superior. O petróleo e o motor a combustão mudaram a natureza da Primeira Guerra Mundial. (YERGIN, 1990 apud SOUZA 2006).

Naquela época, os debates sobre os problemas climáticos e a ecologia não existiam. A energia mais barata e abundante era o petróleo e obviamente, seria a opção escolhida para geração de energia dos motores. O “boom” da indústria automobilística desencadeou a utilização do petróleo e seus derivados como combustíveis tanto para os veículos quanto

para a indústria. Em um curto espaço de tempo o petróleo substituiu o carvão como principal fonte energética mundial.

O sucesso das aplicações de Ford obrigou seus concorrentes adotarem similares inovações organizacionais desenvolvidas em sua linha de produção. A General Motors, por exemplo, sob o comando de Alfred Sloan, deslocou o sistema desenvolvido por Ford e introduziu variações de modelos que visava atingir cada público de acordo com sua renda e necessidades. O estilo e design dos veículos seriam modificados ano após ano. Desta forma, os compradores sentiriam a necessidade de trocar seu carro por um novo modelo, fomentando a indústria. Além disto, a gestão de Sloan criou divisões descentralizadas e administradas por resultados elaborados pela sede da corporação. Com isso, os executivos da empresa supervisionavam os resultados gerenciando seus “números”.

Tanto a Ford com a GM abriram linhas de créditos para que a compra tão sonhada pudesse ser realizada. O automóvel poderia ser pago em várias prestações. Com isso, a produção nas linhas de montagem americanas saltou 26% em termos reais entre 1920 e 29. A indústria automobilística se tornou a maior do país com revendedores em todos os cantos e suas franquias portavam lucros gordos aos seus proprietários. As fábricas de Detroit produziram 1,5 milhão de unidades em 1920 para 4,9 milhões em 1929. Mas a Crise de 29, atingiu fortemente a indústria automobilística. A produção despencou para 25% daquilo que havia atingido em seu período mais próspero.

A produção somente atingiria uma trajetória crescente e contínua nos anos prósperos da Segunda Grande Guerra Mundial, quando as fábricas de Detroit tiveram que se adaptar para atender a indústria militar, através da produção de tanques e veículos de guerra. Neste período, as fábricas produziram cerca de 3 milhões de unidades militares para os conflitos na Europa e na Ásia (CARSON, 2008).

No fim da guerra, a indústria precisou voltar novamente ao seu escopo inicial e voltar sua produção às necessidades civis. Deixou de produzir os grandiosos veículos de guerra e passou a atender ao imenso contingente de veteranos de guerra que retornavam as suas casas.

Nos anos 50 a indústria norte-americana chegava a marca de 50 milhões de carros produzidos. As fábricas de Detroit produziam uma média de 3 milhões de veículos a cada ano (CARSON, 2008).

2.2.1 –Mais Carros, Mais Estradas, Mais Combustível

A produção industrial em massa tinha condições favoráveis para poder crescer no período pós-guerra. Era necessário construir estradas para dar suporte ao crescimento da frota. Neste âmbito, o Governo Federal Norte Americano assumiu a função, em parceria com as políticas públicas dos estados. Em 1956, sob o comando do presidente Eisenhower foi lançado o maior investimento americano já realizado em períodos de paz, ao custo de 100 bilhões de dólares (CARSON, 2008)¹¹, financiados por um imposto que taxaria a gasolina consumida.

O programa ficou conhecido como *Sistema Nacional de Estradas Estaduais e Defesa* e seu objetivo era não só entrelaçar o território americano com vias expressas e rodovias do atlântico ao pacífico, mas também havia de maneira implícita a idéia de ligar as bases militares do país que eram até então inacessíveis por via terrestre. Além disto, o auge da Guerra Fria forçou ao Pentágono e a poderosa indústria militar americana se interessar em favor do projeto, considerado vital para uma possível evacuação em massa em caso de uma guerra nuclear com até então a potência socialista da União Soviética. Neste período, foram construídos quase 20 mil quilômetros de estradas por todo o país.

Com mais estradas, o aumento do consumo por derivados de combustíveis fósseis não vinha somente da ampliação da frota, mas do aumento da distância percorrida pelos motoristas, tornando o país cada vez mais dependente do óleo negro.

Em observação ao imenso sucesso do fordismo, outras indústrias automobilísticas fizeram questão de acompanhá-lo, adotando as mesmas mudanças organizacionais trazidas pelas fábricas americanas. Em poucos anos, os processos inovativos e a produção crescente de

¹¹Representam valores com atualização monetária.

escala fizeram a indústria automobilística se tornar cada vez mais competitiva. Isto resultou na queda das margens de lucro e na tentativa de se reestruturarem, iniciaram uma série de fusões e incorporações. Algumas que não suportaram a redução das margens de lucro e faliram. Outras se adaptaram e formaram uma indústria de mercado oligopolística e altamente poderosa.

Do outro lado do Atlântico, os países europeus e seus consumidores ainda não estavam convencidos sobre o processo de produção em massa e seus impactos, o que provavelmente retardou sua difusão no continente. A indústria automobilística européia permanecia em sua maior parte com fábricas artesanais, utilizando trabalhadores hábeis na produção de carros de luxo para um público rico e elitizado.

A Europa vinha de um período conturbado, arruinada pelos conflitos da imensa armada ocorrida poucos anos antes e precisava de recursos para a sua reconstrução. A possibilidade do continente aceitar o comunismo como regime político, ao mesmo tempo, assombrava as mentes das economias capitalistas hegemônicas. De certa forma, a injeção de recursos através da elaboração de um plano econômico que, ao mesmo tempo consolidava a soberania americana e a democracia republicana, seria uma porta de entrada aos produtos e serviços norte-americanos. O Plano Marshall aplicou US\$ 13 bilhões no programa de reestruturação européia, (o que equivaleria, em valores atuais a cerca de 150 bilhões). Em contrapartida, o mercado europeu deveria reduzir as alíquotas das importações americanas e as obras destinadas a reconstrução dos países seriam realizadas preferencialmente pelas empresas americanas. Ao fim dos quatro anos de plano, setores inteiros da economia européia, como o de refinamento de petróleo, o de calçados e o automobilístico, eram dominados por companhias americanas. Aproximadamente 70% desses recursos foram utilizados para a compra de bens de procedência norte-americana.

2.2.2 – Americanismo como Dogma

Logo, o “*americanismo*” não surge espontaneamente na mentalidade social. Sua origem é estritamente ligada à base material da sociedade:

“A forma de acumulação e produção capitalista produziu um processo sociometabólico que nasce na fábrica. Em outras palavras, a forma de produção fordista determina e exige a formação de uma mentalidade e um modo de vida, que gera a existência deste modelo de produção, sendo uma relação mutua” (HARVEY, 1992).

Segundo o britânico David Harvey, este conjunto de práticas de controle do trabalho se estendeu de forma acentuada entre 1945 a 1973, período chamado pelo autor de fordista-keynesiano.

“O fordismo se aliou firmemente ao keynesianismo e o capitalismo se dedicou a um surto de expansões internacionalistas de alcance mundial que atraiu para sua rede inúmeras nações descolonizadas” (HARVEY, 1992).

Tal modelo fordista incorporou a regulação econômica Keynesiana enquanto modelo ideológico, frente às potências rivais no período da Guerra Fria, sobretudo a União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS). Neste contexto priorizava-se práticas do modelo de desenvolvimento americano vinculado ao consumo e produção em massa.

Diante da força do sistema fordista, a indústria automobilística européia não recebeu espontaneamente a inserção deste sistema de produção no pós-guerra. Mas nos anos de 1950 e 1975, após a enxurrada de recursos advindos do Plano Marshall, as fábricas de automóveis européias inovaram sob o sistema de produção americano e seus produtos. Essas inovações voltaram-se especialmente para o desenho dos veículos criando carros pequenos, esportivos e alguns veículos de luxo. Em seguida, as inovações voltaram-se basicamente a aumentar a eficiência dos veículos.

Por exemplo, dentre algumas inovações incrementais estão: a criação do freio a disco, injeção eletrônica, componentes mecânicos, unificação de peças, cinco marchas, tração dianteira, etc. Enquanto isso, as firmas americanas, dedicavam sua atenção a componentes relacionados ao conforto do usuário, tais como: ar condicionado, transmissão automática, direção hidráulica, equipamentos de sons, etc.

A elevação do preço do petróleo produziu transformações que repercutiram de forma definitiva sobre as trajetórias do desenvolvimento tecnológico mundial. O encarecimento da principal matriz energética levou a uma mudança no padrão de demanda dos automóveis. A indústria americana, focada em veículos grandes e com motores ineficientes, não estava preparada para uma nova conjuntura de preços altos da gasolina.

Diante desta nova conjuntura, a hegemonia americana no mercado mundial automobilístico foi superada pela *ascensão japonesa*, com carros pequenos e eficientes e se destacou como grande produtor mundial de veículos automotores a partir da década de 1980.

2.3 – Crise no Sistema de Produção Fordista

A crise do sistema fordista de produção no final dos anos 1960, segundo HARVEY(1992), foi ocasionada *por um choque estrutural, onde o poder aquisitivo dos trabalhadores se elevava enquanto as taxas de lucros das empresas caíam*. No ponto auge da crise, as empresas foram obrigadas a demitir, mas a rigidez do contrato de trabalho, uma das características deste sistema de produção, sobrecarregou os custos das empresas. Com a intensificação da competição, as grandes empresas automobilísticas se viram obrigadas a entrar em um período de racionalização, reestruturação e flexibilização do controle do trabalho e da produção. A crise do petróleo em seguida, acelerou o declínio do fordismo:

(...)“a crise foi gerada pela sua inflexibilidade em aderir novos parâmetros que não exclusivamente técnicos, isto é, relacionados exclusivamente à organização da produção, mas também por parâmetros sócio-econômicos com conseqüências diretas na relação capital-trabalho. Isso ocorre na medida em que a crise passa agora a ser protagonizada pela sociedade como um todo, o que vai exigir dos sistemas-empresa uma nova base institucional, conseqüentemente com novas realidades econômicas, políticas e sociais em que o determinante é o mercado e não mais mediações do Estado”(HARVEY, 1992).

Este contexto significou a passagem para um novo regime de acumulação chamado *acumulação flexível*.

“É marcada por um confronto direto com a rigidez do fordismo. Ela se apoia na flexibilidade dos processos de trabalho, dos mercados de trabalho, dos produtos e padrões de consumo. Caracteriza-se pelo surgimento de setores de produção inteiramente novos, novas maneiras de fornecimento de serviços financeiros, novos mercados e, sobretudo, taxas altamente intensificadas de inovação comercial, tecnológica e organizacional”. (HARVEY, 1992)

O modelo de acumulação flexível substituiria o processo de produção em massa pela adoção de uma produção de uma variedade de bens, preços baixos e em pequenos lotes, adquirindo espaços maiores de mercado. A rigidez estabelecida no processo de acumulação fordista não conseguia responder aos obstáculos impostos pela nova conjuntura global. As inovações tecnológicas, por outro lado, buscavam dar o máximo de flexibilidade aos processos produtivos e à força de trabalho.

No Japão, a estrutura produtiva caracterizava-se por sua flexibilidade, contrário ao regime de produção fordista, com o intuito de atender às necessidades nacionais. Esta flexibilização no modo produção ofereceu uma nova dinâmica concorrencial ao capitalismo pós-fordista.

2.4 – Sistema Toyota de Produção

2.4.1 – Breve Histórico

A história da Toyota teve seu início no setor de produção têxtil no final do século XIX. Sakichi Toyoda, seu fundador, inventou a primeira máquina de fiar elétrica do Japão que por sua vez, revolucionou a indústria têxtil do país. Em seguida, com a ajuda de seu filho, Kiichiro Sakichi entrou para o ramo de automóveis nos anos 1920 e anunciou o objetivo de desenvolver carros de passageiros, iniciando sua produção de maneira praticamente artesanal.

Durante os treze primeiros anos, a Toyota Motor Company havia fabricado 2.685 (dois mil, seiscentos e oitenta e cinco) veículos, pouco menos daquilo que produzia a planta da Ford em Detroit, em metade de um dia de expediente (CARSON, 2008).

A produção de veículos em larga escala veio somente com a Segunda Grande Guerra quando a empresa, assim como havia feito a Ford, redirecionou sua planta para a produção de veículos militares de combate.

Com o fim da guerra e a derrota japonesa nos campos de batalha, o país sofreu intervenção norte-americana em seu território. Sob o comando do general Douglas MacArthur, a ordem era extinguir as forças armadas. Diante destas circunstâncias, a situação econômica vivida pelo Japão no pós-guerra apontava-se para um quadro de inflação crescente levando a medidas de forte restrição no crédito. Tais medidas provocou a queda acentuada na produção de carros e a demissão de 1.600 (um mil e seiscentos) trabalhadores com o fim da guerra, em 1949.

Paralelamente, a intervenção americana sobre o povo japonês após o fim da Segunda Grande Guerra, se propôs eliminar os tradicionais trustes industriais na ilha. Os *zaibatsus*, como conhecidos, cederam espaço para o crescimento de algumas empresas que estavam em ascensão no Japão como a Sony, Panasonic, Honda e a Toyota. Nem todos os *zaibatsus* deixaram de existir embora tenham perdido sua força.

2.4.2 – Produção Enxuta

Diante de uma conjuntura desfavorável com forte restrição do crédito, redução da demanda e inflação crescente, os obstáculos da indústria automobilística japonesa teriam outros problemas para solucionar. As autoridades norte-americanas instaladas no Japão haviam fortalecido as centrais sindicais por meio da criação de leis que fortaleciam as instituições trabalhistas. A intenção era desfazer uma mentalidade imperial existente na população japonesa. Tal ambiente de crise, forçou a Toyota demitir cerca de 25% de sua força de trabalho, inclusive um de seus executivos, Kiichiro Toyoda.

Os trabalhadores que permaneceram, receberam a promessa de emprego vitalício, contanto que a jornada de trabalho fosse flexível e atendesse possíveis oscilações de produção da empresa. Nascia, neste contexto, a *flexibilidade industrial*, um dos pilares dentro do Sistema Toyota de Produção.

Durante sua história, a Toyota já havia promovido algumas mudanças organizacionais importantes na linha de montagem. Nos anos 40, Taiichi Ohno inventou um sistema eficiente que transportava os painéis soldados para formar o piso, o teto do corpo monocoque e a carroceria do carro. As prensas que realizavam esta tarefa antes desta inovação pesavam trezentas toneladas e seu manejo era altamente laborioso.

A inovação dada por Ohno substituiu o uso de guindastes pelo uso de roloadores que manobravam as prensas e trouxe ganhos de eficiência para a Toyota, já que esta atividade era realizada por trabalhadores especializados e durava praticamente um dia inteiro de trabalho. Agora, a tarefa se realizava em apenas três minutos, por trabalhadores da própria fábrica.

A Toyota descobriu que produzir pequenos lotes de peças traria um custo menor do que produzir em massa. Em outras palavras, se fosse identificado qualquer erro no processo de montagem das peças prensadas, o custo de se refazer um pequeno lote seria menor do que recriar um lote imenso produzido em grande escala.

O trabalho repetitivo, tedioso, duro e bem remunerado, características do modelo fordista de produção, não se aplicava a Toyota. A rigidez do contrato de trabalho era preocupante, pois as oscilações da economia levavam a altas ou baixas taxas de lucro, com um custo permanentemente fixo da classe trabalhadora.

A Toyota utilizou o regime de trabalho inspirado nos EUA, entretanto, mais flexível. O sistema de trabalho japonês evoluiu para um sistema de pagamento de participação nos

lucros, dando a empresa um amortecedor aos possíveis choques de demanda e a constante rotatividade de pessoal.

Diante do novo regime de trabalho, as empresas reduziram o custo da mão-de-obra já que os operários da linha de montagem aceitavam a responsabilidade pelo produto e por suas tarefas, em vez de suportarem um regime hierárquico com supervisões constantes sobre as tarefas dos trabalhadores.

A Toyota também desenvolveu uma relação mais flexível com seus fornecedores. Enquanto o fordismo primava pela verticalização da produção, com estruturas rígidas e burocráticas, a Toyota transformou sua cadeia de suprimento em firmas semi-independentes pois, apesar de manter o principal controle acionário dos fornecedores principais, a empresa dava uma certa autonomia de negociação para suas relações internas.

A estratégia da Toyota contemplava o uso da estatística como uma ferramenta pioneira em seu controle de qualidade, por meio dos ensinamentos de W. Edwards Deming. Ele acreditava que era possível usar os números para prevenir possíveis erros na linha de montagem e acertar os defeitos encontrados no processo de produção. Nascia assim o processo de melhoria contínua, denominado *kaizen*. As melhorias seguiam em todas as etapas produtivas da empresa buscando a eliminação de todo e qualquer tipo de perda no processo de fabricação, desde a perda de tempo, de energia, de matérias-primas, de esforço e até mesmo de dinheiro.

Na ênfase da eliminação de perdas e sua conseqüente redução de custos, Ohno havia observado que o setor supermercadista norte-americano oferecia um sistema de reposição extremamente eficiente, onde as prateleiras dos supermercados permaneciam por pouco tempo vazias. Quando os estoques diminuía dentro das lojas, eram supridos imediatamente.

Em observação ao fluxo constante de entregas, a maneira como os produtos eram transferidos rapidamente do estoque para as seções, depois de empilhadas no fundo das

lojas, Ohno percebeu que este sistema poderia ser aplicado à indústria automobilística. Quando uma caixa de peças era esvaziada, outra tinha que estar de prontidão para substituí-la. Este processo é conhecido como *just in time*. Caracteriza-se pelo conjunto integrado de atividades projetadas, para obter um elevado volume de produção usando o mínimo de ações. É o produto certo na quantidade correta e no momento oportuno.

Quadro 2 - Características dos Modelos de Produção.

Modelo de Produção	Produção Artesanal do Início do Séc. XX	Produção em Massa (Fordismo) até metade do Séc. XX	Produção Enxuta (Toyotismo) Anos 60, 70 e 80
Características			
Máquinário	Ferramentas simples e flexíveis; máquinas de uso geral para uso de perfurações.	Máquinas dispendiosas e especializadas em uma única tarefa.	Máquinas flexíveis.
Produto	Fabricação de produtos variados.	Fabricação de produtos padronizados, com pouca variedade de produtos/opções.	Produtos padronizados com variedade.
Escala	Produzidos e projetados de acordo com as necessidades do consumidor, segundo tempo de entrega.	Produção com base na previsão de vendas (produz para estoque).	Produção sob encomenda.
Defeitos	Muitos Defeitos.	Meta tolerável de defeitos encoberta pelas folgas.	Redução dos itens defeituosos por meio de programas de qualidade que interrompem a linha de montagem quando se identifica um defeito.
Custo de Produção	Alto custo de produção (veículos com diferentes projetos).	Baixos custos de produção (economias de escala).	Baixos Custos de Produção (ganhos com baixo nível de estoque e custos decrescentes).
mão-de-obra	Trabalhadores altamente qualificados.	Trabalhadores pouco ou sem qualificação.	Organização do trabalho centrada em equipes de trabalhadores centradas em um conjunto de etapas com autonomia restrita.
Organização da Produção	Organizações descentralizadas. Sistema organizado sobre o comando de um proprietário. Baixo grau de produção vertical.	Organização centralizada com elevada integração vertical.	Organização menos centralizada (em comparação ao fordismo). Moderada integração vertical (apenas controladas por elementos chaves).

Fonte: CARSON, 2008.

Sob o comando de Ohno, nascia na Toyota um sistema de produção com três concepções básicas: dedicação à qualidade, eliminação de todo o tipo de perda e aperfeiçoamento contínuo. Ele aplicou técnicas enxutas aos sistemas de logística e administração, tentando continuamente simplificar e refinar os processos da produção, fazendo apenas aquilo que precisa ser feito, e depois, desempenhar sua função tão eficientemente possível. Segundo CARSON (2008), o Sistema Toyota de Produção:

“Nas linhas de produção, pequenas equipes de operários operam sob um líder, e as tarefas são realizadas freqüentemente para limitar o tédio. As equipes se reúnem depois de cada turno em salas ao lado das linhas de montagem para os problemas e encontrar soluções. Assim, quando um operário vê alguma coisa errada, ele puxa uma corda conhecida como “andom”, que paralisa a linha de montagem” (CARSON, 2008).

Tal precaução é resultado da análise de Deming. Se um erro é identificado e corrigido na hora, o problema será contido, evitando que a fábrica tenha uma produção defeituosa. Do mesmo modo, os altos custos das matérias-primas exigiam a aplicação de técnicas de controle da produção que evitavam os desperdícios gerados ao longo da cadeia.

A reprodução de um modelo que estabelecia grandes investimentos, enormes fábricas, vultuosos estoques e um alto número de funcionários, premissas básicas para o Fordismo, não se enquadrava em um país como o Japão. O mercado consumidor e de trabalho era pequeno associado à reduzida quantidade de capital e matérias-primas impediam a adoção de um sistema produtivo voltado para o consumo em massa. Criava-se, então, o conceito de fábrica “mínima”, que focava em estoque zero, desperdício zero, qualidade máxima e mecanização flexível.

O sucesso do Sistema de Produção Toyota se refletiu no número de fábricas espalhadas pelo mundo. Em 1980, a Toyota tinha 11 fábricas em cerca de 9 países; nos anos 90, a empresa possuía 20 fábricas em 14 países; em 2009, a Toyota chega ao novo milênio com 53 fábricas espalhadas em 27 países (CARSON, 2008).

O sistema industrial da Toyota foi descrito detalhadamente por James Womak, Daniel Jones e Daniel Ross no livro intitulado “*A máquina que mudou o mundo*”. Pela primeira vez, a indústria automobilística mundial podia compreender e estudar a revolução interna que a Toyota passara e tentar estabelecer seus princípios e processos industriais enxutos para começar o processo de modernização em suas fábricas.

2.5 – Consórcio Modular

Uma nova configuração vem levando a uma nova reformulação das indústrias automobilísticas que tem demonstrado ser extremamente eficiente. As empresas do ramo estão focando seus esforços nas estratégias mais específicas como o marketing e vendas, delegando aos fornecedores as atribuições de toda a etapa produtiva dos veículos, dentro da própria planta industrial. O convencionado “Consórcio Modular” focaliza-se na redução de custos e tempos de produção, aumentando consideravelmente a competitividade dos produtos, além da divisão dos investimentos e riscos entre os consorciados e a empresa líder, direcionando suas táticas em fatores responsáveis pelo sucesso da marca no mercado. A empresa líder não realiza nenhum tipo de montagem, mas assegura a qualidade final do seu produto.

Dentro desta filosofia, os fornecedores compartilham a infra-estrutura disponível na fábrica como restaurantes e espaços de lazer. A estrutura salarial também é a mesma para os consorciados, evitando assim qualquer interpretação equivocada por parte do sindicato, que também é unificado. Assim, este modelo requer uma sinergia entre as empresas envolvidas para que o resultado seja positivo tanto para os consorciados quanto para a empresa líder.

O primeiro projeto realizado dentro desta concepção de rede industrial foi lançado em 1996 pela fábrica de ônibus e caminhões da Volkswagen do Brasil. O sucesso da parceria fez com que a empresa implantasse o modelo em outras plantas, repetindo o Consórcio Modular nas plantas do México e na África do Sul.

Apesar de recente, o Consórcio Modular pode repetir a importância para as inovações organizacionais que a indústria automobilística difundiu durante sua existência, reafirmando o status do setor como referência para as inovações produtivas e gerenciais das demais indústrias.

2.6 – Indústria Automotiva Mundial: Multiplicação dos Automóveis, Ampliação do Consumo de Combustíveis e dos Problemas Ambientais

A indústria automobilística revolucionou os métodos de produção e organização do setor industrial. Mas essas mudanças não se limitaram às paredes dos fabricantes de automóveis. Ela transformou o hábito de consumo das pessoas e permitiu que o sonho de Henry Ford, em levar um veículo automotor em cada garagem das massas pôde ser atingido, até agora, entre economias mais ricas do mundo.

Essa onda de inovações, voltadas sobretudo ao aumento de eficiência nas fábricas e ao sistema de produção, provocou “uma enxurrada” de veículos movidos a petróleo ao redor do mundo. Estima-se que exista atualmente 1 bilhão de automóveis trafegando na superfície da Terra. Cerca de trinta anos antes, o aumento da frota veicular, o uso de combustíveis fósseis e suas emissões já haviam despertado o interesse dos primeiros grupos ambientalistas preocupados com os problemas que a atividade produtiva estava causando ao meio ambiente. Os desdobramentos técnicos e seus efeitos sobre a atividade industrial estavam levando a efeitos devastadores na natureza.

Cientistas ligados ao Clube de Roma sustentavam que a direção dada pelas inovações tecnológicas estava levando o ecossistema aos limites de sua capacidade de prover recursos à atividade produtiva. Os custos ambientais decorrentes de um sistema produtivo intensivo em recursos naturais não eram incorporados na matriz das empresas, levando ao efeito desastroso sobre o meio ambiente. Além disso, o crescente número de veículos abastecidos por combustíveis fósseis contribuiu para o aumento da poluição do ar, chuvas ácidas, entre outros.

2.6.1 – Perspectivas de Crescimento

Atualmente, a indústria automobilística responde por cerca de 10% do PIB dos países desenvolvidos, com um volume de US\$ 2,5 trilhões anualmente (OICA, 2008). Em relação a matérias-primas, estima-se que cerca de metade da borracha, 25% do vidro e 15% do aço produzidos sejam consumidos pelas empresas produtoras de automóveis instaladas ao redor do mundo. Existem ao todo, cerca de 13 milhões de empregos que dependem direta ou indiretamente deste mercado.

Nos últimos anos, o fortalecimento da posição das empresas japonesas, coreanas e indianas no mercado acirrou a competição com as montadoras já existentes derrubando suas margens de lucro. O aumento da concorrência, somada à redução dos custos de produção desses novos produtores, refletiu na queda das taxas de lucros, que chegou a 5%, metade da registrada no ano 2000¹².

A queda na lucratividade das empresas automobilísticas é atualmente pela limitação encontrada nos mercados desenvolvidos. As vendas na Europa Ocidental, Estados Unidos e Japão, tradicionais mercados consumidores, se estabilizaram nos últimos anos devido ao baixo crescimento vegetativo e às baixas taxas de habitantes por veículo.

Tabela 1 – Número de Habitantes por Veículos 1996-2006.

¹² Fonte: The Economist (2004) *apud* CASOTTI (2008)

PAÍS/ANO	1996	2006
EUA	1,3	1,2
Itália	1,7	1,5
Espanha	2,2	1,6
Alemanha	1,8	1,7
França	1,9	1,7
Reino Unido	2,0	1,7
Suécia	2,2	1,9
Holanda	2,4	2,0
Japão	1,8	1,7
Média Mundial	8,1	6,9

Fonte: SINDIPEÇAS, 2007.

Segundo dados da OICA (Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles) uma em cada seis pessoas do planeta possui um veículo automotor a sua disposição. Diante dos números expressivos, as projeções a respeito do futuro não são nada animadoras para o planeta. Se a humanidade levou mais de um século para atingir a cifra de um bilhão de veículos, em pouco mais de vinte anos, estima-se que circularão pelo mundo dois bilhões de veículos (OICA, 2007).

O deslocamento do foco competitivo e o avanço do processo de globalização destina-se aos países que até bem pouco tempo, eram considerados “*coadjuvantes*” do mercado consumidor de automóveis. Em 2007, por exemplo, os países em desenvolvimento consumiram cerca de 30 milhões de veículos dos 73 milhões produzidos no mundo¹³. De acordo com a OICA, neste ano, os países em desenvolvimento comprarão mais carros que os tradicionais consumidores. Os países emergentes, em especial a China e Índia possuem um mercado consumidor relativamente pequeno, mas potencialmente crescente.

A expansão dos mercados automobilísticos dos países emergentes decorrente nos últimos anos, refletiu na queda acentuada ocorrida na relação habitantes/veículo. A Tabela 2 apresenta essa relação. Note que, mesmo com o aumento do número de veículos por

¹³ Fonte: OICA, 2007.

habitante, países como a China e a Índia ainda apresentam grandes possibilidades de expansão:

Tabela 2 – Número de Habitantes por Veículo – Países em Desenvolvimento.

PAÍS/ANO	1996	2006
Leste Europeu		
Rep. Tcheca	2,6	2,2
Polônia	4,3	2,6
Rússia	10,5	4,5
América Latina		
México	7,4	4,7
Argentina	5,7	5,2
Brasil	9,1	7,9
Ásia		
Tailândia	13,9	6,6
Indonésia	52,2	16,2
China	163,9	18,6
Índia	124,4	67,0

Fonte: SINDIPEÇAS, 2007.

Assim sendo, com mais de um terço da população mundial, cientistas e ambientalistas entendem que se a China e a Índia experimentarem o mesmo desenvolvimento ocorrido no pós-guerra pela Europa, Estados Unidos e Japão, fazendo-se uso do mesmo padrão de crescimento, novos mercados serão expandidos assim como o comércio mundial se intensificará. Entretanto, o crescimento da Ásia consumirá tal quantidade de *commodities* e emitirá tantos poluentes que, poderá tornar o planeta inabitável.

Até o início da década de oitenta, as habituais bicicletas predominavam no trânsito das principais cidades da China. Mas com o crescimento vertiginoso apresentado nas últimas décadas, a bicicleta vem perdendo espaço para os automóveis.

Embora pouco mais de 20% de sua população usufrua deste crescimento, fala-se de um mercado com 300 milhões de pessoas. Além disto, apenas 5% da população chinesa detém

um veículo e as montadoras estão de olho neste robusto mercado doméstico ainda restrito (CARSON, 2008).

O setor automobilístico chinês cresceu a taxas superiores a 22% entre os anos de 1995 e 2005. No final do ano passado, a China era considerada o segundo maior mercado de automóveis comerciais leves do mundo, atrás apenas do mercado americano.

Movimento semelhante é observado na Índia, onde a partir dos anos 1990, após a abertura comercial e a liberalização econômica auferiu-se um novo ritmo de crescimento. Dados recentes, mostram que durante 2007, o mercado consumidor automobilístico indiano cresceu 20% (CASOTTI, 2006). Em termos relativos, somente 1,5% da população de 1,1 bilhão de habitantes dispõe de um veículo automotor, o que demonstra um mercado consumidor potencial, sobretudo depois de contínuos períodos de crescimento.

Em relação ao petróleo, a China utiliza somente 6% da quantidade usada pelos Estados Unidos. A Índia, por sua vez, utiliza a metade desta quantidade, embora tenham duplicado seu consumo desde os anos 90. Suponha-se que se os dois países aumentem o uso de petróleo ao mesmo nível utilizado pelo Japão (que usa a metade do índice americano por pessoa), seriam necessários outros 100 milhões de barris por dia, além dos 85 milhões que o mundo consumiu em 2005 (CARSON, 2008).

Por outro lado, a boa notícia é que existe a possibilidade do mundo utilizar energias limpas lideradas pelos países em desenvolvimento, pulando os processos sujos e indo direto à tecnologia limpa no transporte e em outras áreas. E quem sabe oferecer conhecimento tecnológico aos países mais ricos. Observa-se nas palavras de José Goldemberg¹⁴:

Os países em desenvolvimento têm uma escolha fundamental: eles podem imitar as nações industrializadas e atravessar uma fase de desenvolvimento econômico, de sujeira e de desperdício que cria um enorme legado de poluição ambiental; ou podem pular alguns passos

¹⁴ Doutor em Ciências Físicas pela Universidade de São Paulo, José Goldemberg é um dos maiores especialistas em energias renováveis do mundo.

seguido originalmente pelas nações industrializadas e incorporar tecnologias eficientes e modernas já disponíveis ao seu processo de desenvolvimento (CARSON,2008).

Claramente, se os países em desenvolvimento utilizarem o mesmo padrão tecnológico sustentado na matriz energética do petróleo, a quantidade de carbono na atmosfera será insustentável. Essas projeções pessimistas, dariam a China o posto de maior contribuinte das emissões de CO₂, logo em 2025.

Em decorrência do exposto, a regulação ambiental passou a focar a poluição atmosférica de forma mais sistemática.

2.6.2 – Regulação Ambiental focada na poluição decorrente do uso de combustíveis fósseis

A regulação ambiental foi determinante no que se refere à introdução de tecnologias limpas, a partir dos anos 1970. As novas leis direcionaram as inovações da indústria automobilística mundial para um padrão mais limpo procurando reduzir as atividades poluentes em sua origem. Neste contexto, o governo dos Estados Unidos instituiu o “*Clean Air Act*” em 1970 estabelecendo que os automóveis, a partir de 1975, apresentassem uma redução de 90% na emissão de dióxido de carbono na atmosfera, apesar da inexistência de tecnologia para tal.

A primeira medida tomada pela indústria diante da nova lei, foi à remodelagem na fabricação dos sistemas de escapamentos, através de novas configurações nos carburadores com um sistema de recirculação dos gases poluentes. No entanto, tais medidas mostraram-se insuficientes para atender às normas estabelecidas pela nova legislação. As fábricas então, introduziram catalisadores nos escapamentos, permitindo assim, o tratamento dos gases antes de sair do automóvel, reduzindo bastante a poluição.

O catalisador também impulsionou o emprego da gasolina sem chumbo, uma das maiores fontes de preocupação de saúde na época. O metal fazia parte de praticamente toda a gasolina utilizada nos anos 1970, empregada para aumentar a octanagem dos motores.

Entretanto, suas características de metal pesado, tóxico e altamente prejudicial a saúde humana inviabilizaram sua aplicação. A fumaça expelida pela frota crescente de veículos tornou-se um problema de saúde pública, especialmente nas grandes cidades. Além disto, o material possui propriedades químicas que contaminam as substâncias do catalisador, provocando seu entupimento.

A Diretiva 70/220/EEC foi a primeira a debater os limites de emissão para os veículos europeus. A norma buscava a aproximação da legislação dos Estados que faziam parte do Mercado Comum Europeu. Inicialmente, países como Suécia, Suíça, Áustria e alguns poucos automóveis na Alemanha utilizaram catalisadores em seus veículos. Os países se favoreceram de um incentivo fiscal proposto aos que implementassem medidas ambientalmente amigáveis e ecológicas. A obrigatoriedade surgiu somente mais tarde, em 1992 quando o processo de regulação das emissões acelerou-se com a construção da União Européia.

Através dos critérios de emissões instituídos pelo “Euro 1”, a legislação européia determinou o uso de catalisadores de três vias nos veículos à gasolina vendidos na Europa, inclusive os automóveis importados pelo continente. Em seguida, a legislação se tornaria mais rigorosa com a “Euro 2” em 1997, pela norma Euro 3 em 2000 e o Euro 4 substituiria mais tarde os atuais padrões de emissões. Conforme descrito na tabela:

Quadro 3 - Padrões de Emissão para Veículos Leves na Europa (g/km).

	ANO	CO	HC	Nox
EURO 1	1992	2,72	-	-
EURO 2	1996	2,20	-	-
EURO 3	2000	2,30	0,20	0,20
EURO 4	2005	1,00	0,10	0,10

Fonte: IEA, 2008.

A **Figura 4** explicita o comportamento das emissões de gases selecionados ao longo das últimas três décadas emitidos por veículos à gasolina na Europa:

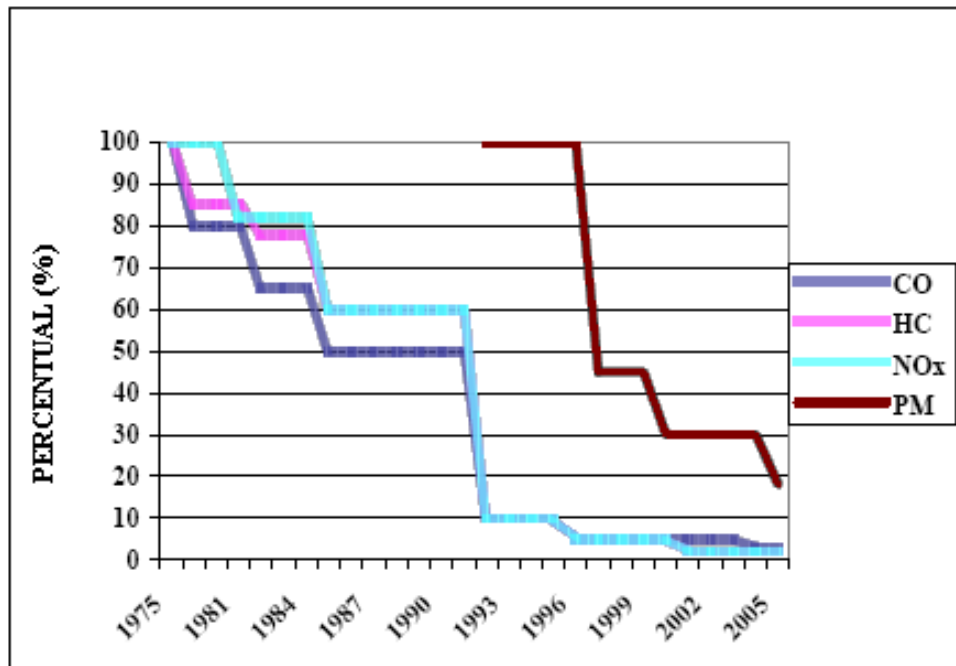


Figura 4 – Efeitos da Regulação Européia Sobre Veículos à Gasolina.

Fonte: OECD, 2004.

A **Figura 5**, por sua vez, evidencia o comportamento das emissões de gases selecionados emitidos por veículos movidos à diesel.

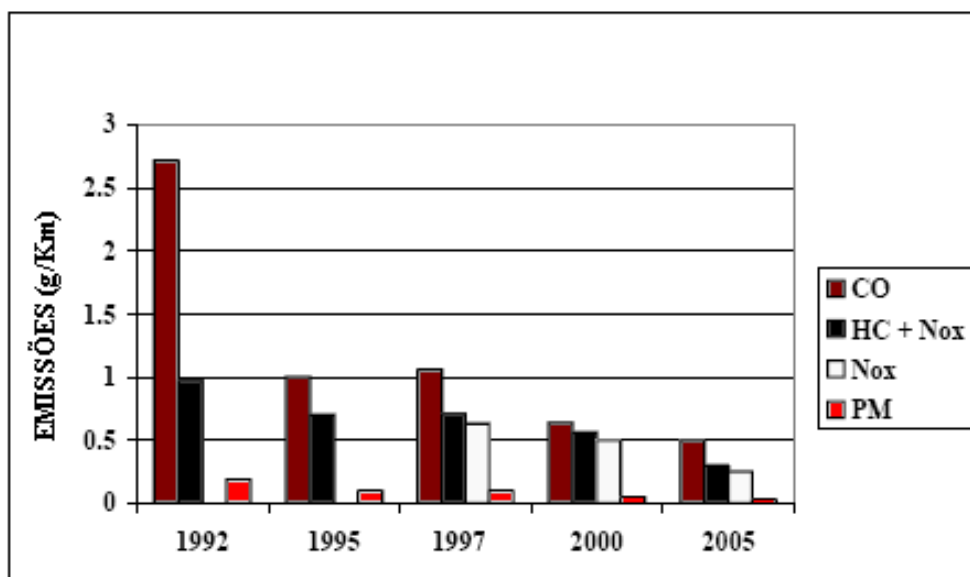


Figura 5 – Efeitos da Regulação Européia Sobre os Veículos à Diesel

Fonte: OECD, 2004

Como mencionado, as primeiras medidas inovativas partiram de aplicações em recirculação dos gases emitidos e a introdução de catalisadores que reagiam com os compostos químicos gerados pela queima da gasolina. Nos anos 1980, com o desenvolvimento da eletrônica, os carros substituíram os carburadores pela injeção eletrônica, alterando profundamente a eficiência dos motores. Mais tarde, o aumento da reatividade dos catalisadores desenvolveu um sistema mais refinado de controle das emissões dos motores.

Nos países que adotaram a regulação de emissão de poluentes, os números mostram que as emissões caíram vertiginosamente. O impacto das normas sobre as emissões contribuíram significativamente para a melhoria na qualidade do ar. Mais importante, apesar do crescimento da frota mundial e do crescimento das distâncias percorridas por veículos, as inovações reduziram a concentração de poluentes na atmosfera, desde a criação da primeira lei que regulamenta essas questões. Nos Estados Unidos por exemplo, as emissões totais reduziram-se nos últimos trinta anos, enquanto que a distância percorrida pela frota aumentou em cerca de 150% (IEA, 2004).

As novas leis prometem ser ainda mais restritivas no que diz respeito à emissão de poluentes pelos automóveis. As produtoras de automóveis, para isso, buscam antecipar as leis e criar novas alternativas para estarem preparadas às homologações das novas regras.

2.6.3 – Uso do Petróleo e os Gases do Efeito Estufa

Mesmo com ampla regulação em torno da redução das emissões nos escapamentos dos veículos, o aumento absoluto da frota tem levado ao acréscimo da poluição do ar. Além disto, o petróleo é um recurso não renovável e a sustentação da matriz energética em torno de um recurso finito tem sido crescentemente questionada.

O Efeito estufa é um fenômeno natural onde gases como o vapor d'água, dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4) possuem propriedades capazes de reter o calor do sol na atmosfera e evitar que o calor se disperse. O efeito estufa é imprescindível para a manutenção da vida sobre a terra, mantendo a temperatura média do ar em 15°C próximo à superfície. Na ausência deste fenômeno climático, estima-se que a temperatura ambiente seria reduzida em cerca de -21°C (IPCC, 2008).

A intensificação das atividades humanas, devido ao uso de combustíveis fósseis, em especial o carvão, o petróleo e o gás natural, aumentou consideravelmente o acúmulo desses gases, transformando o fenômeno natural em um problema ambiental. Desde a Revolução Industrial, a concentração de CO_2 na atmosfera cresceu mais de um terço, elevando a temperatura da terra de forma sistemática (IPCC,2008).

A *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) publicou uma série de relatórios alertando sobre os efeitos do aumento das emissões de CO_2 na atmosfera terrestre, com dados, especialmente sobre o último século. O CO_2 é atualmente responsável por mais de 80% da poluição que gera o aquecimento global. Os níveis atmosféricos de CO_2 hoje são maiores que em qualquer outro período nos últimos 420 mil anos¹⁵(IPCC, 2008).

¹⁵ Amostras de gelo revelaram que no período anterior à Revolução Industrial (pré-1750) a concentração atmosférica global de dióxido de carbono era de 280ppmv (partes por milhão). Em 1958 medições diretas da concentração de dióxido de carbono começaram a ser feitas em Mauna Loa no Havaí. Desde então tais

A **Figura 6** apresenta as estimativas do aumento da temperatura global ao longo dos últimos cinco séculos. Os dados mostram que a superfície global atingiu um nível de temperatura recorde, desde o início da análise em 1860.

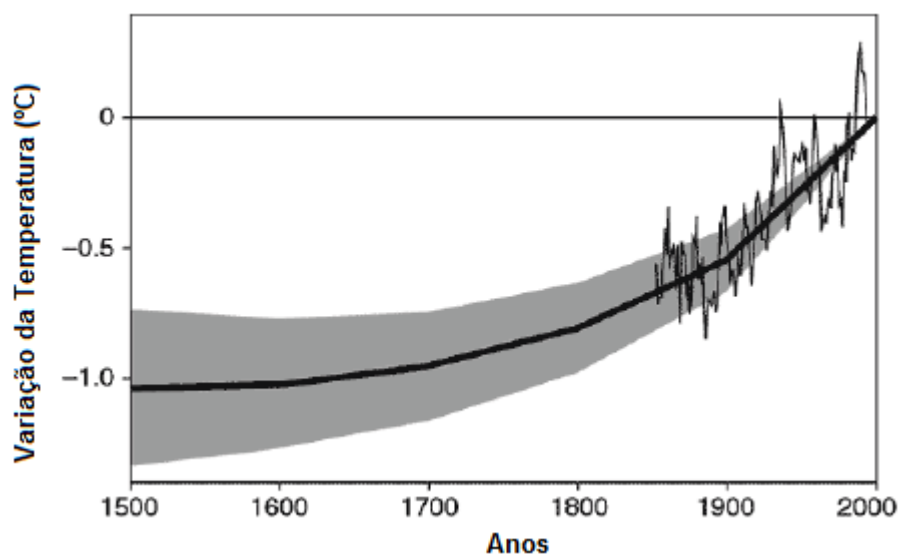


Figura 6 – Variação da Temperatura Global Durante os Séculos.

Fonte: (IPCC, 2001)

A matriz energética é ainda praticamente sustentada pelo uso do petróleo. O relatório da *International Agency Energy* mostra que 96% do transporte depende de combustíveis à base de matéria-prima fóssil. A proporção mundial das emissões de CO₂ emitido pelos transportes aumentou de 19,3% em 1971 para 24% em 2000 e ainda está crescendo. Em 2000, o transporte rodoviário foi responsável por 18% do total de emissões de CO₂ em nível global (IPCC, 2001) .

A emissão mundial de CO₂ pela queima de combustíveis fósseis aumentou, em termos absolutos, conforme figura abaixo:

concentrações aumentaram de 315ppmv para 355ppmv em 1992. Esta concentração obtida em 1992 foi a mais alta dos últimos 160.000 anos.

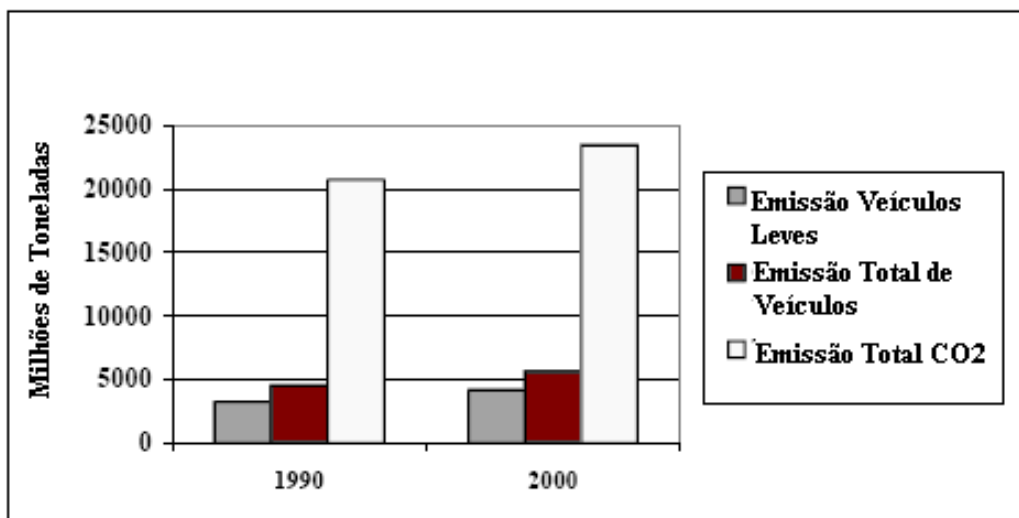


Figura 7 – Emissão Mundial de CO₂

Fonte: IEA, 2002.

Note-se, que, em termos globais, o uso de diferentes alternativas para os veículos de transportes ainda não é significativo para reduzir as emissões dos combustíveis fósseis na atmosfera.

O clássico motor à combustão interna deverá permanecer um longo período como principal mecanismo de funcionamento do automóvel, da mesma forma que foram inventados há cerca de 120 anos. Para isso, o setor automobilístico busca soluções tecnológicas que deixam de contemplar apenas os aumentos de produtividade para se dedicar a soluções eficientes no que tange a eficiência do veículo dentro da mesma matriz do petróleo.

Pressionadas pela dependência do petróleo, pelos riscos da mudança climática e pelos novos hábitos dos consumidores, a indústria automobilística pode revolucionar os automóveis com inovações tecnológicas radicais. A indústria entendeu que é em torno da venda de mobilidade que ela precisa se sustentar e não na venda de motores que usam combustíveis poluentes. O esforço em abandonar a dependência do petróleo está levando a uma onda de inovações que podem ter impacto comparável ao lançamento do Modelo T. O impulso vem acompanhado por novas baterias, células de combustível, motores bicompostíveis, biodiesel e etanol na tentativa de iniciar uma competição com os motores à

gasolina. Tendências semelhantes ocorreram nos Estados Unidos e no Japão após a introdução de tais regulações.

2.7 – Novas Possibilidades Para os Combustíveis Alternativos e a Reestruturação do Setor Automotivo.

Durante o século XX o automóvel se tornou um dos bens de consumo mais desejados pela humanidade. Ter um carro, significa ter liberdade de mobilidade, acessibilidade e comodidade. Apesar das mudanças ocorridas ao longo de sua trajetória, o conceito básico do funcionamento do automóvel – o motor à combustão interna – ficou praticamente estático, mesmo com tentativas de mudança no padrão tecnológico que não impediram o predomínio de novas tecnologias.

Entretanto, a busca de novas soluções traz um novo contexto para os veículos automotores do século XXI. As pressões crescentes da comunidade internacional para reduzir as emissões dos gases causadores do Efeito Estufa, principal causador do aquecimento global, tem causado um forte impacto às indústrias, que novamente que estão sendo forçadas a encontrar soluções ao combustível fóssil e aos motores de combustão.

Além da questão ambiental, o aumento contínuo do preço do petróleo torna os países reféns da matriz energética não renovável, provocando variações bruscas na balança comercial, além da insegurança energética. Neste contexto, a indústria automotiva segue uma tendência irreversível ao aumento da eficiência, redução do consumo e busca de novas soluções para atender esse novo mercado.

A indústria tem buscado novas soluções que vão desde o aumento da eficiência dos motores tradicionais até inovações na fonte energética, utilizando combustíveis menos poluentes ou renováveis. Paralelamente, os motores elétricos, híbridos e alimentados por células de hidrogênio são inovações radicais que pretendem substituir o atual predomínio do padrão tecnológico.

Os próximos itens enfocam alguns dos principais desenvolvimentos tecnológicos recentes na indústria automobilística, diretamente determinada por questões ambientais.

2.7.1 - Veículos Elétricos

A tecnologia dos motores elétricos é tão antiga quanto a dos motores à combustão. Mas por algumas limitações tecnológicas (já discutidas no início deste capítulo) o motor à combustão foi adotado como padrão e inviabilizou a concepção do silencioso e limpo carro elétrico. Somente décadas mais tarde, as preocupações ambientais recolocam na pauta antigos projetos de veículos movidos à eletricidade.

As principais montadoras desenvolveram uma variedade de veículos elétricos e alguns hoje, estão disponíveis comercialmente. A principal vantagem desta tecnologia está no baixo nível de ruído e na ausência de qualquer tipo de poluição pelos motores. Por outro lado, a tecnologia confere problemas ligados ao peso das enormes baterias e seu tempo de carga, que não atenuam o custo operacional de um veículo elétrico. Essas limitações tecnológicas das baterias não dão ao veículo uma autonomia satisfatória, inviabilizando qualquer produção em larga escala no curto ou médio prazo.

Na hipótese que as soluções para as limitações tecnológicas sejam encontradas, o padrão tecnológico elétrico e limpo precisa superar outras questões. O nível das emissões do veículo elétrico dependerá da forma como a energia para abastecê-lo será produzida. Em países onde os processos de geração de energia estejam vinculados a energias “*sujas*” como o carvão¹⁶ o resultado poderá ser pior do que aqueles já consumidos pelos veículos a diesel ou à gasolina. Entretanto, quando a energia provém de fontes nucleares ou de hidrelétricas, os impactos são considerados animadores.

¹⁶ Em alguns países desenvolvidos, o carvão é a fonte mais comum de eletricidade, incluindo países não desenvolvidos e grandes consumidores como a China.

Além da fonte energética, outra preocupação está no principal mineral usado para a fabricação das modernas baterias comercialmente usadas. De acordo com a *United States Geological Survey* (2008), estima-se que as reservas de lítio (de 14 milhões de toneladas) no atual ritmo de consumo, levariam mais de 100 anos para serem completamente exauridas. Entretanto, depositar as esperanças sobre o veículo elétrico, parece uma conta que dificilmente poderá ser fechada. Cada carro necessita atualmente de 8 quilos de lítio e assim sendo, caso a produção de todos os 71 (setenta e um) milhões de veículos produzidos pela humanidade fossem elétricos, em apenas 12 (doze) anos não sobraria lítio para se fazer baterias usadas em notebooks, câmeras e outros aparelhos. Ao menos que se encontrem alternativas eficientes de reciclagem, algo que inexistente até o momento.

Cientes destes fatos, as montadoras já vêm optando pelos modelos híbridos, que usam tanto a tecnologia do motor a gasolina quanto a do carro elétrico, tentando aproveitar o melhor dos dois modelos. Ou seja, o bom desempenho e autonomia do carro a combustível com parte da economia e principalmente o baixo impacto ambiental dos carros elétricos.

2.7.2 -Veículos Híbridos

A natureza do veículo híbrido está na possibilidade de utilizar pelo menos duas fontes de energia. O mais comum é utilizar formas de energia à combustão interna juntamente com motores elétricos ou hidráulicos. Enquanto o motor convencional trabalha, o automóvel híbrido utiliza a força mecânica para recarregar as baterias que serão utilizadas na ativação do motor elétrico. Durante a desaceleração ou a permanência do veículo na inércia, o motor à combustão é desligado e inicia-se o uso do motor elétrico. A otimização está no aumento da eficiência do veículo. A maioria dos veículos híbridos, no entanto, usam um motor convencional equipado com um motor elétrico.

Segundo relatório da OECD (2004) , as tecnologias atuais podem reduzir a emissão dos motores à combustão interna em cerca de 20%. Em se tratando dos trens, com a utilização da tecnologia híbrida a redução poderá ser superior a 50%. Novas tecnologias dos motores

a diesel podem reduzir entre 15% e 50% com a adoção hibridização dos motores à diesel usados nas locomotivas. Além disto, a redução do consumo seria ainda maior através do uso de melhores técnicas aerodinâmicas e novos desenhos de trilhos.

Em contrapartida, os modelos convencionais são mais leves que os modelos híbridos, já que não necessitam de espaços para incorporar uma bateria relativamente grande, além de dois motores: um motor elétrico e um movido à combustão. A disseminação dessa tecnologia esbarra em outras desvantagens, além daquelas mencionadas pelo veículo elétrico. A quantidade de peças que compõe um veículo híbrido é maior do que a de um motor convencional, implicando no custo maior de fabricação para as montadoras e para o consumidor, que além de pagar um valor maior pelo automóvel, estima arcar custos crescentes para a sua manutenção.

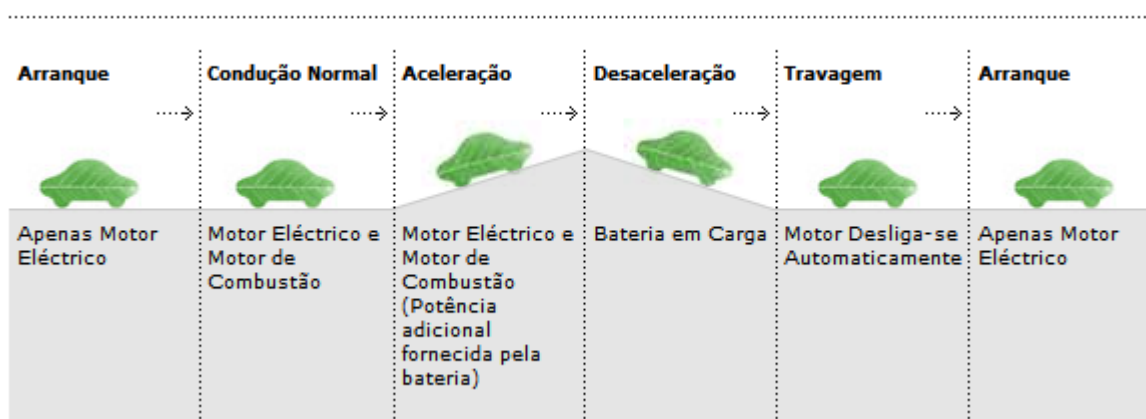
Como o motor elétrico é ligado em desaceleração do motor ou mesmo do veículo parado, em lugares onde há estradas íngremes, a utilidade deste tipo de veículo poderá ser limitada. O desempenho pode também ser limitado em viagens de longa distância, onde o motor elétrico tenderia a ser pouco utilizado. Concentram-se pois, esforços em melhorar a densidade energética das baterias, melhorar a potência do motor e reduzir o seu peso (reduzir o tamanho das baterias e motor), dando eficiência aos projetos.

O pioneirismo da Toyota, em particular, foi além das revoluções trazidas pelo sistema de produção enxuta. Em 1997 a empresa produziu o primeiro veículo híbrido em série do mundo. Embora o custo de produção do chamado Toyota Prius fosse 30% superior de um veículo convencional, mais de 500 mil veículos híbridos foram vendidos no mercado americano e japonês desde o seu lançamento (TOYOTA, 2007).

A estratégia lançada pela Toyota focava na conscientização ambiental dos seus consumidores. As emissões de gases eram menores pois reduziam o consumo de combustível fóssil. Além disto, as perspectivas de aumento do preço do petróleo no mercado internacional também davam ao consumidor uma importante justificativa para a aquisição dos veículos híbridos.

Tecnicamente, o veículo é composto por um motor a gasolina de baixa cilindrada, que percorre 25 quilômetros com um litro de combustível. Em velocidades pequenas (abaixo dos 30km/h) o sistema eletrônico aciona o motor elétrico, desligando o motor a base de gasolina. O processo é totalmente automático, conforme observado na figura:

Figura 8 – Funcionamento do Sistema Híbrido Toyota.



Fonte: TOYOTA, 2007.

O veículo aciona o motor à gasolina em maiores velocidades e para recarregar as baterias elétricas, o Prius utiliza a energia cinética produzida durante o processo de frenagem. Essa inovação somente é possível devido a um aprimorado sistema eletrônico com um computador de bordo integrado.

Outras montadoras tentam “pegar carona” no sucesso comercial adquirido pelo Prius. A GM recentemente anunciou o protótipo Chevrolet Volt. Trata-se de um veículo híbrido mas que utiliza a autonomia do motor elétrico. O motor à gasolina é pequeno e compacto, utilizado apenas para recarregar as baterias, caso seja necessário. Esse conjunto é chamado de extensor de distâncias. Ele não substitui em nenhum momento o motor elétrico, apenas o alimenta quando necessário.

O veículo pode ser abastecido em uma tomada de 110 volts e possui autonomia de 64 quilômetros, suficiente para a maioria das pessoas que utilizam o carro para o trabalho. A previsão é que este veículo seja produzido comercialmente no próximo ano.

Entretanto, as maiores apostas de propulsão para os automóveis estão nos conceitos movidos à célula de hidrogênio.

2.7.3 - Células à Hidrogênio

A tecnologia de células à hidrogênio é uma tecnologia que utiliza a combinação química entre os gases oxigênio (O_2) e hidrogênio (H_2) para gerar energia elétrica, calor e água no processo. As células são equipamentos eletroquímicos, similares às pilhas, mas que não possuem a função de armazenar energia. A eletricidade é continuamente gerada enquanto as células estiverem sendo alimentadas pelo hidrogênio. Quimicamente, o hidrogênio é depositado no ânodo da célula, enquanto o oxigênio do ar, entra pelo cátodo. Utilizando-se um catalisador, o hidrogênio reage com o oxigênio, gerando energia e vapor d'água.

Entretanto, algumas limitações também conferem a esta tecnologia. Os veículos precisam dispor de um tanque de hidrogênio e como o composto não é encontrado e sua retenção depende ainda de outras fontes de combustíveis como a gasolina, gás natural ou etanol por meio de um compressor. Outra barreira está no alto custo de fabricação da pilha que, além de pouca durabilidade, possui fraca capacidade de armazenamento.

Após a superação das principais limitações tecnológicas, necessita-se da estruturação de toda cadeia de produção, abastecimento e distribuição, para que esta energia alternativa possa sobrepor os combustíveis tradicionais.

2.8 - A Relevância do Preço do Petróleo e seus Impactos Sobre as Tecnologias Verdes

Os investimentos na busca de energias alternativas dependem fundamentalmente de como os preços do petróleo se verificam no mercado internacional. Notavelmente, por mais que os combustíveis verdes tragam menores externalidades a sociedade, eles ainda são considerados bens substitutos e seus preços não podem ser muito distantes do preço do preço da gasolina, inviabilizando o seu consumo. Infelizmente, as experiências ocorridas no passado mostram que questões econômicas são priorizadas em detrimento das questões ambientais.

Quedas acentuadas no preço do petróleo praticamente aniquilaram alguns produtos e tecnologias alternativas. Por outro lado, os altos preços do petróleo podem trazer consigo tecnologias poluentes que são utilizadas como fonte de energia.

Atualmente, em meio à crise econômica mundial, os especialistas da ONU presentes na Conferência em Poznan, na Polônia, demonstraram empiricamente que a queda do preço do petróleo vem representando “má notícia” para o desenvolvimento de energias renováveis e biocombustíveis, considerados mais necessários que nunca para proteger o clima. Por exemplo, segundo dados da empresa de consultoria britânica *New Energy Finance*, especializada no setor de energia, a queda no preço do barril de petróleo em 2008, reduziu em 4% a projeção para os investimentos mundiais em fontes renováveis, em comparação com 2007 (NEF, 2009). Os números refletem o comportamento dos agentes econômicos e seu ceticismo com a queda dramática no preço do petróleo.

No entanto, os altos preços e sua volatilidade, ainda estão na tendência da curva de preços de seus produtores. A maior parte das reservas de petróleo hoje está concentrada nas mãos de poucos países, dominados por regimes aristocráticos, principalmente aqueles situados em regiões politicamente instáveis. Os altos preços do barril de petróleo levam a basicamente duas discussões: enquanto estimulam os investimentos em novas fontes de

energia limpa e alternativa ao petróleo, pode viabilizar investimentos em outras fontes de energias mais sujas e mais agressivas ao meio ambiente. A areia impregnada de alcatrão, por exemplo, pode gerar gasolina a partir de um esforço caro, tanto para o meio ambiente quanto para o mercado. O custo de sua extração é elevado e sua atividade é altamente complexa. Diante de altos preços do barril do petróleo ela pode se tornar uma atividade energética lucrativa e poluente, contrária às questões ambientais atuais.

Soluções econômicas podem administrar o problema dos preços. A determinação de um imposto sobre o barril de petróleo, pode servir como “amortecedor” a possíveis oscilações no preço do petróleo. Enquanto o preço permanece aquém de um valor mínimo para atrair investimentos em energias limpas, a alíquota seria elevada para dar viabilidade econômica a esses projetos. Por outro lado, quando o preço estivesse acima do nível determinado, a alíquota poderia ser reduzida, o que não daria incentivos a utilização da energia suja alternativa, como o caso da extração das areias de alcatrão.

A adoção do subsídio vinculado ao preço do óleo cru pode também ser uma medida econômica de proteção das energias alternativas sustentáveis. Os subsídios para produção agrícola aumentariam quando os preços estivessem abaixo do nível ótimo. Quando os preços estivessem acima do nível considerado ótimo, a autoridade pública reduziria os subsídios repassados às atividades produtivas vinculadas a produção de energias ecoeficientes.

Neste contexto, a grande questão deste trabalho é verificar se os biocombustíveis se apresentam como alternativa viável enquanto fonte energética substituta ao petróleo. Este é o foco do capítulo 3.

CAPÍTULO 3

BIOCOMBUSTÍVEIS NO CONTEXTO DA BUSCA GLOBAL POR FONTES DE ENERGIAS LIMPAS E RENOVÁVEIS

O terceiro capítulo busca apresentar aspectos técnicos, econômicos e ambientais importantes sobre os biocombustíveis utilizados para os motores de combustão interna e discutir as principais potencialidades e limitações como alternativa limpa e renovável frente aos derivados do petróleo.

Comentam-se, aqui, as principais características físicas e químicas que definem sua especificação e são revisadas sua adequação e sua compatibilidade com os metais de maior uso em motores, destacando a visão da indústria automobilística quanto ao seu uso. Também são analisadas as emissões atmosféricas associadas ao uso dos biocombustíveis, comparativamente à gasolina.

Igualmente de interesse para os contextos nacionais que pretendem adotar o etanol como combustível, comentam-se o marco legal genérico para o emprego dos biocombustíveis para fins veiculares, algumas particularidades econômicas como a formação de preços no mercado de combustíveis com etanol e os mecanismos tributários associados considerando a adoção dos biocombustíveis. Finalizando, explicitam-se as iniciativas governamentais no Brasil e internacionalmente para o estímulo a sua produção e discute-se a suas perspectivas de substituição ao petróleo na matriz energética nacional e global.

3.1 – Biocombustíveis: Aspectos Técnicos, Marco Regulatório e Economicidade

Como observado no capítulo anterior, enquanto as limitações técnicas que inviabilizam a produção em escala da próxima geração de carros não forem solucionadas, a saída de curto prazo para reduzir as emissões causadas pelos escapamentos dos motores à combustão estão na adoção de biocombustíveis. Alguns desses entretanto, necessitam de modificações dispendiosas na composição do veículo e o desenvolvimento de novos investimentos em infra-estrutura de distribuição das cadeias de reabastecimento tais como o gás natural e o petróleo líquido.

O etanol e o biodiesel, por outro lado, possuem a facilidade de desviar dessas barreiras à entrada impostas ao setor. O processo de inserção pode ser facilmente adaptado aos combustíveis convencionais já que não seria necessária modificação complexa na cadeia de distribuição. Em muitos países, inclusive no Brasil, a gasolina já vem com uma composição de etanol e os motores a diesel também são movidos com uma substância mais “verde” em comparação com aqueles observados em anos anteriores.

O mercado mundial de biocombustíveis duplicou entre os anos de 1990 e 2003 e deve dobrar novamente até 2010 (IEA, 2004). Mesmo com esse crescimento, a atividade de transporte mundial utiliza pouco mais de 3% da energia produzida por biocombustíveis, embora eles possuam uma importante capacidade em abastecer frota de veículos de passeio e substituir o petróleo. Todavia, essas mudanças exigem algumas precauções para que evitem alterações nos custos ou impactos em outras culturas, como se observará mais adiante.

O etanol e o biodiesel já são realidade, com participação crescente na matriz energética, viabilizando a substituição parcial do uso dos combustíveis fósseis por combustíveis renováveis, que não têm impacto significativo para o efeito estufa e o aquecimento global.

O aumento da utilização dos biocombustíveis, além de reduzir as emissões de poluentes na atmosfera, podem apoiar outros grandes objetivos políticos, melhorando a garantia energética, promovendo o desenvolvimento econômico das áreas rurais, protegendo os ecossistemas e os solos. Porém, alguns países resistem pelo uso dos biocombustíveis já que nem todos dispõem de técnicas produtivas competitivas e de baixo custo. Estima-se que em grande parte dos países a produção de etanol chegue a custar três vezes mais do que o custo de se extrair petróleo (IEA, 2004).

Os biocombustíveis nem sempre são de origem tipicamente vegetal. Eles podem vir na forma líquida tradicional (etanol e biodiesel), de compostos gasosos (biogás ou hidrogênio), ou simplesmente de compostos biológicos extraídos da atividade agrícola como:

- Cereais, grãos, açúcar e outras culturas agrícolas que podem facilmente ser fermentado para produzir etanol, que pode ser usado tanto como combustível em um motor puro ou como um componente na gasolina (como etanol ou depois de serem convertidos para etil-terciário-butil-éter, ETBE);
- Materiais celulósicos, incluindo ervas, árvores, e de diversos produtos residuais a partir de colheitas, processamento de madeira e resíduos sólidos urbanos, também podem ser convertidos em álcool. No entanto, o processo é mais complexo em relação a processamento de açúcares e grãos. Novas técnicas estão em fase de desenvolvimento para converter culturas celulósicas e resíduos vegetais para etanol. A celulose também pode ser gaseificada para produzir uma variedade de gases, tais como hidrogênio, que pode ser usado diretamente em alguns veículos ou podem ser utilizados para produzir gás de síntese que é posteriormente convertido em vários tipos de líquidos combustíveis, tais como o éter dimetílico (DME) e mesmo a gasolina e diesel sintético;
- Óleo de sementes (por exemplo, colza, soja e girassol) podem ser convertidos em ésteres metílicos, um combustível líquido que pode ser misturado com combustível para motores diesel convencional ou queimado como biodiesel puro;

- Resíduos orgânicos podem ser convertidos em energia, podendo também ser utilizada como combustível para automóveis: óleos usados em biodiesel; estrume de animais e resíduos domésticos orgânicos na forma de biogás (metano, por exemplo) e resíduos agrícolas e florestais em etanol. Esses materiais podem existir em pequenas quantidades e em muitas áreas, mas as matérias-primas são, geralmente de baixo ou nenhum custo. A conversão de resíduos orgânicos em combustível pode também diminuir problemas de gestão desses resíduos.

Como observado, existe uma grande variedade de matérias-primas em uso ou em desenvolvimento para produção de biocombustíveis. Esses materiais diferem significativamente em termos de rendimento por hectare, nos tipos de terrenos que podem ser cultivados e em sua forma de processamento.

Com todas essas possibilidades, esta dissertação se limitará principalmente sobre as potencialidades do etanol e do biodiesel, consideradas as mais promissoras para o Brasil.

3.1.1 – Aspectos Técnicos do Etanol

Há tempos que o mundo conhece veículos com motores que são abastecidos com o etanol. Imagine que o glorioso Ford T era um veículo bicomcombustível que funcionava com motores a base de gasolina e a álcool. Mas a história mostrou que a morte dos motores alternativos foi sobreposta com a dominação do petróleo. Agora, as preocupações com o aquecimento global, o aumento dos níveis de poluição, reforçaram a necessidade de se investir em tecnologias que prejudiquem menos o meio ambiente.

O etanol pode ser produzido a partir de qualquer material de origem biológica que contém altas quantidades de açúcares ou materiais que possam ser convertidos em açúcares durante o seu processo de transformação. As matérias-primas que possuem em sua composição amido e celulose também podem ser facilmente convertidos em açúcar. O processo químico

é realizado durante o processo de fermentação, sob a ação de organismos e enzimas no açúcar para a conversão em etanol. Beterraba sacarina e cana-de-açúcar são exemplos de materiais que contêm açúcar. Milho, trigo e outros cereais contêm amido relativamente simples que podem ser convertidos em açúcar. Do mesmo modo, as árvores e gramíneas são em grande parte composta de celulose que também pode ser convertida para o açúcar, embora ainda seja um processo mais complexo do que a conversão de amido.

As características químicas do etanol permitem que a substância seja empregada como combustível em motores de combustão interna com ignição por centelha, seja misturada à gasolina ou usada puramente, na forma hidratada. Trata-se do ciclo Otto que é bastante semelhante ao ciclo dos motores a gasolina. A octanagem do etanol é maior que a gasolina permite que os motores obtenham maior energia com a queima do combustível, levando a ganhos de eficiência em torno de 10% (BNDES, 2008). Embora neste caso, necessite que o motor apresente uma taxa de compressão um pouco superior aos motores movidos à gasolina.

As peças que entram em contato com o etanol devem passar por um tratamento especial, incorporando peças compatíveis e a adição de materiais que não sofram corrosão nas superfícies metálicas dos tanques, filtros, bombas de combustível e tubulações por onde o combustível tem contato direto. Após décadas de estudos em pesquisas, a indústria automobilística dispõe de conhecimento suficiente para permitir que veículos movidos a etanol puro tenham desempenho, dirigibilidade e condições similares aos motores à gasolina.

3.1.1.1 - Etanol de Cana-de-Açúcar

A produtividade da área é bastante influenciada pelas variações do clima e pela região produtora. O cultivo da cana exige terras que ofereçam duas estações bem definidas: clima quente e úmido, que promove a germinação, a formação de brotos e o seu desenvolvimento; clima frio e seco que proporciona o acúmulo de sacarose nos colmos das plantas.

O mundo produziu 1,3 milhões de toneladas na safra 2006/07, em uma área de cerca de 20 milhões de hectares. No Brasil, o espaço destinado à produção foi de 7 milhões, 42% do total (UNICA, 2007). A produção ocorre principalmente na região Centro-Sul onde o ciclo da cana é menor, geralmente em torno de 6 anos, com a ocorrência de 5 cortes durante este período. Após o fim do ciclo, a área deve passar pela rotação de culturas, retirando a cana e inserindo o plantio de leguminosas (de ciclo curto), para que posteriormente a terra possa retomar a atividade agrícola canavieira.

O plantio de leguminosas favorece o solo, pois mantém a matéria orgânica rica em nutrientes necessária para renovar a terra e beneficiar a produtividade da cana.

Em regiões como a Amazônia, por exemplo, a produtividade por hectare é baixa em virtude da presença de uma única estação com características de clima quente e úmido, particularidades de zonas equatoriais. Assim como a Amazônia, em alguns países o ciclo da cana é diferenciado, em função do clima, temperatura e umidade diferente dos vistos no Brasil.

A produtividade média anual por hectare extraída no país é, em média de 70 toneladas/hectare, embora existam registros de produtividade de cana alcançando até 200 toneladas/hectare (BNDES, 2008). Na região Centro-Sul do país, onde se localiza a maior parte das usinas brasileiras, a produtividade é um pouco acima da média nacional, atingindo entre 78 e 80 toneladas/hectare. O resultado de cada tonelada da cana rende em torno de 70 litros de bioetanol. Devido a sua alta produtividade, o Brasil é capaz de extrair cerca de 8 mil litros de etanol por hectare plantado (BNDES, 2008).

Em comparação com outras atividades agrícolas, a demanda por fertilizantes utilizadas no cultivo de cana é menor, em grande parte por conta dos resíduos que são retornados ao campo. A vinhaça¹⁷ é um material rico em potássio que pode ser reutilizado com a técnica

¹⁷ A vinhaça é um subproduto que surge na fabricação do álcool. Para cada litro de álcool produzido, produz-se 12 litros de vinhaça. Sua composição é rica em nutrientes, sobretudo potássio e bastante corrosivo.

da fertirrigação¹⁸. A necessidade de nitrogênio sintético para a reposição das terras também é relativamente baixa.

O envio da cana deve ocorrer imediatamente para a usina após o corte. A maior rapidez no processo de produção reflete na menor perda de sacarose contida no caldo da cana. Na usina, a cana passa pela compressão de rolos sintéticos que separam o caldo do bagaço.

Desta forma, a queima do bagaço produz vapor que movimentam as turbinas necessárias para acionar um conjunto de geradores de energia elétrica. Além do uso na própria usina, o excedente energético gerado pode ser vendido, tornando-se um subproduto do setor sucroalcooleiro.

Produzido na moenda ou no difusor, o caldo contendo os açúcares da cana pode, então, ser destinado à produção de açúcar ou ao bioetanol.

3.1.1.2 - Etanol de Milho

O etanol americano é obtido predominantemente a partir do milho, responsável por 98% da produção do biocombustível no país. Os Estados Unidos estão em primeiro lugar na produção mundial de milho e respondem por quase metade do volume global produzido. Em 2006, a produção americana foi superior a 267 milhões de toneladas de grãos, para uma área colhida de pouco mais de 28 milhões de hectares. Do total produzido, o bioetanol consumiu menos de 20% da produção (BNDES, 2008) .

No Brasil, por outro lado, o milho está dentre os cereais mais cultivados, com cerca de 40,8 milhões de toneladas de grãos produzidos, em uma área de aproximadamente 14,74 milhões de hectares (IBGE, 2008). Toda sua produção, entretanto, é voltada para o setor alimentício.

¹⁸ Fertirrigação é a aplicação de fertilizantes através da água de irrigação.

Assim como a cana, o milho não suporta regiões muito frias e necessita que fatores climáticos, especialmente a temperatura, grau de precipitação e fotoperiodicidade, atinjam níveis considerados ótimos, para que o seu potencial genético de produção se expresse ao máximo. A temperatura ideal para o desenvolvimento do milho, do plantio à floração, deve estar entre 24 e 30°C. Abaixo de 10°C, por períodos longos, o crescimento da planta é quase nulo e, sob temperaturas acima de 30°C, também por períodos longos, o rendimento de grãos decresce durante a noite, em razão do consumo dos produtos metabólicos elaborados para suportar o calor intenso do dia (IPCC, 2007).

A fase inicial da planta não necessita de grandes quantidades de água no solo para a cultura do milho. Mas durante o período compreendido entre o espigamento e a maturação a necessidade de consumo de água se amplia, podendo chegar a duas vezes mais que a fase inicial.

Durante a colheita, a espiga é separada do colmo e os grãos são extraídos, deixando a palha e o sabugo ainda no campo, sendo usada como adubo e compondo nutrientes que levam fertilidade ao solo.

O uso de fertilizantes para compor a terra durante a produção de milho é bem maior que aqueles usados no cultivo da cana. Normalmente, após o ciclo do milho existe também a necessidade de implantar uma rotação de cultura, diante da necessidade de reforçar o plantio de alguma planta que fixe nitrogênio no solo, facilitando a entrada de nutrientes.

Devido as suas propriedades físico-químicas, o milho tem um baixo potencial produtivo, já tendo sido obtida produtividade superior a 16 toneladas por hectare. Na realidade, se descontarmos o colmo, as folhas, a palha e o sabugo, a produtividade do grão (material usado para a fabricação do etanol) cai pela metade.

O processo produtivo mais amplamente utilizado para a produção de etanol é a adoção da técnica da moagem seca. Neste processo, o grão de milho é moído e adiciona-se água e enzimas (alfas-amilases), necessários para quebrar as grandes moléculas de amido antes de

fermentá-lo até se transformar em açúcar, o que requer uma tecnologia mais apurada para a produção. A solução segue para a fermentação e assim como a cana, pode receber o resíduo da vinhaça extraída durante o processo de produção, o que reduz a acidez e fornece nutriente a solução.

Assim, a tonelada seca de milho gera cerca de 460 litros de bioetanol e sua matéria seca pode ser utilizada para a fabricação de ração animal, conhecido como DDGS (*distillers dried grains with solubles*).

Apesar de a tonelada de milho render 460 litros de etanol e a da cana, apenas 70 litros, a área explorada pela cana é menor. Como as áreas são pequenas e a produtividade é alta (planta-se mais vezes no ano), o impacto na agricultura é menor. No Brasil, cada hectare gera de 60 a 120 toneladas de cana, dependendo da fertilidade e do cultivo (BNDES, 2008).

3.1.1.3 - Etanol pela Hidrólise de Resíduos Celulósicos

Apesar de suas vantagens, o alcance do bioetanol à base de milho ou cana se depara com algumas limitações que impedem sua adoção em algumas regiões do planeta. A solução está no desenvolvimento de uma técnica criada nos Estados Unidos e vem sendo chamada de “*Segunda Geração de Biocombustíveis*”. E em linhas gerais, é o biocombustível produzido utilizando culturas não alimentares como algas, gramíneas, resíduos vegetais, árvores de reflorestamento através de processos bioquímicos ou termoquímicos. O etanol de celulose (ou celulósico) pode revolucionar o campo e a energia no futuro, com matérias-primas extraídas de qualquer vegetal que tenha a celulose em sua composição, não apenas do milho ou da cana.

O processo químico inicia-se com a utilização da hidrólise¹⁹ que transforma os polissacarídeos da biomassa da celulose em açúcares fermentescíveis e sua posterior fermentação para a produção do bioetanol. Tal configuração é composta utilizando técnicas ácidas ou enzimáticas, que separam os açúcares da lignina, material presente em grande

¹⁹ Genericamente, hidrólise refere-se a “quebra das moléculas pela água”.

parte dos vegetais. A lignina separada pode ser amplamente utilizada como combustível para as caldeiras utilizadas nos processos de fermentação.

A composição e a estrutura da biomassa utilizada têm forte influência na natureza e nos rendimentos dos processos de hidrólise e fermentação. Na realidade, muito esforço de pesquisa deverá estar focado no melhor entendimento da formação dos componentes da estrutura vegetal e como seria possível modificá-la para aumentar os rendimentos do processo de hidrólise (IEA, 2004), já que o processo somente é eficiente de fato, após a separação das frações da biomassa.

Em relação ao conteúdo energético, a produção de energia por hectare com a utilização dos materiais celulósicos é superior aos biocombustíveis extraídos do milho e da cana, por exemplo.

Estimativas de reduções das emissões líquidas dos gases do efeito estufa, provenientes da produção e utilização do etanol celulósico estão na faixa entre 70% e 90%, em comparação com a gasolina (IEA, 2004). As estimativas são principalmente resultados de pesquisa e desenvolvimento no assunto, já que existem poucas unidades de produção em larga escala para obter melhor empiricamente esses resultados. O etanol celulósico promete render até três vezes mais etanol que o obtido atualmente com cana de açúcar.

Entretanto, os principais obstáculos encontram-se nos altos custos de produção. A redução do custo da biomassa, logística de transporte e conversão de processos são ainda necessários para superar estas barreiras. Espera-se que o etanol de celulose esteja plenamente disponível para uso em seis anos, mas alguns cientistas mais otimistas acham que será num tempo ainda menor.

No Brasil, os avanços foram orientados pelo Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), Petrobras Biocombustíveis e EMBRAPA em parceria com a iniciativa privada, para utilização dos resíduos celulósicos provenientes do bagaço e da palha da cana, cuja matéria-

prima é abundante e de baixo custo. Assim, manter um baixo custo de produção da cana é uma proteção para o setor no Brasil, mesmo com o desenvolvimento de novas tecnologias. Em 2007, o Brasil assinou uma parceria com os Estados Unidos que permite compartilhar informações de pesquisa para o desenvolvimento comercial do etanol celulósico.

A tecnologia de produção de combustíveis através do etanol celulósico pode acabar com a oferta controlada de combustível em um futuro não muito distante. Países pobres que dependem da produção agrícola, poderiam servir as indústrias do etanol de celulose com insumos para a fabricação deste combustível. E os países ricos que subsidiam os produtos agrícolas para a produção do etanol de milho, por exemplo, podem estar jogando dinheiro na lata de lixo, em vez de incentivarem a pesquisa nessas novas tecnologias.

O etanol celulósico limita a concorrência com os gêneros alimentícios, utilizam baixo uso de fertilizantes e adubos, possuem alta produtividade por hectare e uma quantidade de energia superior às modalidades de etanol disponíveis atualmente.

3.1.2 – Etanol: Custo e Impactos nos Mercados

Dada a diversidade de matérias-primas para a fabricação de etanol, as maiores expectativas se voltam para aqueles insumos que se demonstram mais eficientes. Os volumes de bioetanol variam bastante, em função das diferenças entre a produtividade agrícola e industrial refletidas na diversidade de matérias primas. Atualmente, poucas técnicas de custo competitivo podem ser produzidas, desprezado o uso de subsídios ou algum tipo de instrumento econômico que interfira nos preços reais de oferta.

Enquanto o etanol de cana brasileiro produz cerca de 6.800 litros por hectare, o de beterraba europeu não ultrapassa 5.500 litros por hectare e o milho americano aproximadamente 3.100 litros por hectare (UNICA, 2007). De maneira geral, a cana é a melhor opção devido a sua maior produtividade de etanol por hectare o que lhe confere implicações diretas na redução dos custos de produção.

Atualmente, existem vários programas de subsídios agrícolas ao redor do mundo, sobretudo na União Européia e Estados Unidos. Os efeitos reais desses programas sobre as demais economias produtoras são difíceis de determinar. Na Europa, por exemplo, devido ao pequeno número de plantas que produzem o etanol combustível, estima-se que o custo para a geração de bioetanol de beterraba sacarina esteja em torno de US\$ 0,85 por litro produzido. Nos Estados Unidos, por outro lado o custo médio da produção americana de etanol a base de milho está entre US\$ 0,45 por litro (IEA, 2008).

De acordo com o quadro fornecido pela IEA, o custo do etanol vindo da cana-de-açúcar brasileira está abaixo de qualquer outra derivação do etanol. Em termos numéricos, o custo de produção do etanol brasileiro é cerca de R\$ 0,45 por cada litro produzido, equivalente a 0,25 de dólar²⁰(IEA, 2008). Os custos da produção americana de etanol à base de milho vêm em seguida a um valor 40% superior.

As maiores apostas, entretanto, estão voltadas para a redução considerável de custo do etanol celulósico. Estima-se que em 2010, o litro do etanol de celulose terá um custo de US\$ 0,80, metade do valor registrado no início da década. Devido às vantagens econômicas deste tipo de matéria-prima, calcula-se que novos recursos serão aplicados para avançar nesta tecnologia. Mas enquanto esses investimentos não se concretizam, o etanol de cana ainda é a única matéria-prima que pode ser competitiva aos custos da gasolina que apresentam custo de produção em torno de US\$ 0,18 e 0,25 por litro (IEA, 2008).

Com relação às matérias-primas, o custo dos insumos envolve 50% do custo para a produção do etanol à base de milho (IEA, 2006). No caso da cana, este percentual é ainda maior e compromete em 60% os custos do etanol. Comparativamente com outras fontes, a tecnologia de biocombustíveis à base de celulose ainda está em fase inicial e mas as primeiras refinarias celulósicas comerciais tiveram um custo 40% superior, se comparado a produção de etanol convencional. A maior parte desses custos, entretanto, são resultados do complexo processo de conversão da celulose em etanol.

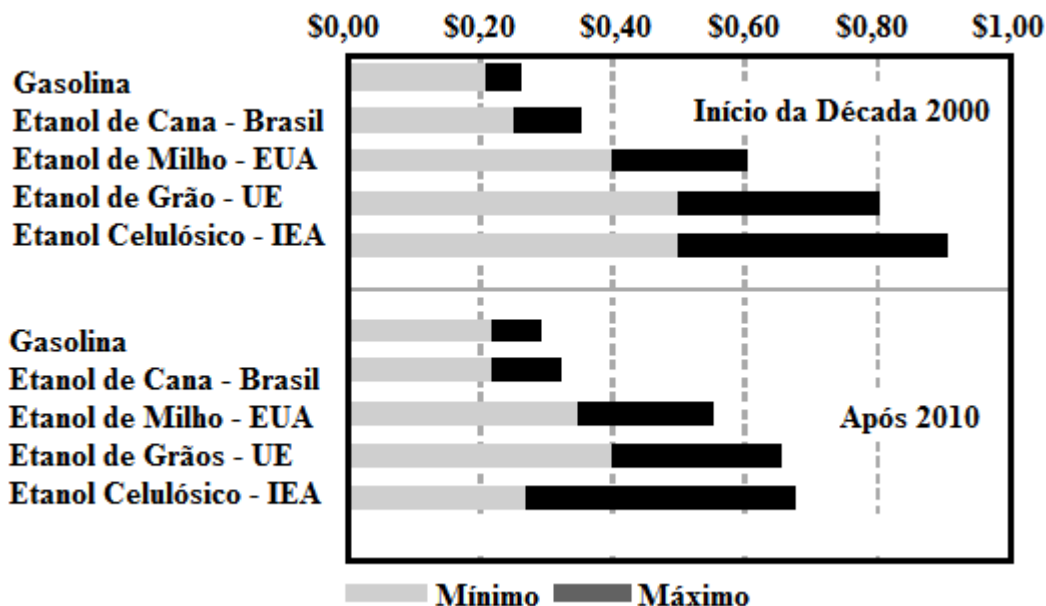
²⁰ As estimativas dos custos também estão sujeitos às flutuações conforme variações nas taxas de câmbio.

Os gargalos limitantes são ainda mais problemáticos porque o etanol celulósico não depende somente das novas tecnologias de conversão, mas da nova matéria prima e do sistema de entrega, colheita, transporte e processamento. Atualmente, o custo estimado para produzir e entregar grandes quantidades de biomassa celulósica para produção de etanol ultrapassa outros 40% do custo estimado de produção do etanol.

A redução de custo da matéria prima, das tecnologias de produção e logísticas e a conversão celulósica associadas com o amadurecimento da indústria tornará essa modalidade de biocombustíveis mais competitiva. Em médio prazo, todavia, soluções no âmbito político e regulatório devem ser necessárias para que a produção de etanol de biomassa celulósica torne-se o maior insumo da matriz energética de transporte.

Os custos da produção norte-americana e européia hoje são muito superiores aos custos de produção que o Brasil tinha ainda nos anos 90. De fato, muitas melhorias foram observadas na última década, devido a substanciais avanços nas técnicas de conversão da biomassa em energia. Estima-se que entre os anos 90, os custos aos produtores caíram 15% por conta dessa iniciativa.

Figura 09 – Variação nos Custos da Produção de Etanol (US\$/litro).



Fonte: IEA, 2008.

Desconsiderando os subsídios como motivação econômica, a produção dos biocombustíveis deve essencialmente atender a três requisitos: a) cobrir os custos de produção, que, naturalmente, incluem os custos da matéria-prima e a operação da planta de produção, bem como os custos de capital correspondentes aos investimentos produtivos realizados; b) ser igual ou superior aos resultados que seriam obtidos caso a matéria-prima se destinasse à fabricação de produtos alternativos; c) ser menor que o preço da gasolina.

A constante redução do custo da produção de etanol no Brasil ao longo do tempo foi coberta, em certa medida pela tumultuada história do programa Programa Brasileiro do Álcool (PROALCOOL). Inicialmente, no âmbito do programa, o governo subsidiava a produção de etanol, pagando aos seus produtores a diferença entre custo de produção e o preço que recebiam dos distribuidores (indexado a 25% abaixo do preço de gasolina). Os custos de produção nesta época, estavam em cerca de US\$ 1,00 para cada litro de etanol.

Quando os preços da gasolina caíram em meados da década de 1980, o subsídio se tornou um fardo pesado sobre o orçamento do governo. Com isso, o preço mundial do açúcar e do etanol nas destilarias se elevou. Isto conduziu a um colapso do programa do etanol. O programa foi somente reestruturado em meados da década de 1990, juntamente com a

eliminação do monopólio do setor petrolífero desfrutado pela Petrobras (que também serviu como um agente de compra e venda de etanol em algumas áreas). Assim sendo, os preços da gasolina e etanol foram liberalizados "na bomba" em 1996, mas os níveis de produção do etanol e o preço nas destilarias ainda eram regulados pelo governo. A transição para a plena liberalização dos preços do álcool ocorreu entre 1996 e 2000.

Como resultado desta liberalização, os preços do etanol são agora impulsionados pelas forças de mercado e podem variar drasticamente, influenciada em parte pela demanda mundial de açúcar e pela decisão de cada produtor em produzir etanol.

Embora o governo não subsidie mais a produção do etanol, ainda existem incentivos fiscais, incluindo a redução de impostos sobre o etanol nos postos, redução de impostos sobre os veículos bicomustíveis, incentivos fiscais às destilarias para ampliar sua atividade, além de incentivar diretamente, com a redução de tributos, os produtores rurais que optarem pelo plantio da cana.

O crescimento do consumo recente de bioetanol no país se deve aos avanços na eletrônica, em sistemas de controle de mistura, ignição e reconhecimento do combustível, que deram aos veículos tecnologia que permite o motorista mudar de combustível sem mudar de carro, desfazendo o trauma que os consumidores tinham, dada a escassez da oferta de etanol ocorrida nos anos 1990, quando o preço internacional da gasolina baixou tornando o álcool um combustível pouco vantajoso tanto para o consumidor, quanto para o produtor.

A tecnologia de combustível "*flex-fuel*", desenvolvida nos Estados Unidos, permitia uma utilização limitada a 85% na composição de álcool na mistura. Mas as pesquisas realizadas no Brasil resultaram em um trabalho mais avançado que os motores norte-americanos, viabilizando a utilização de até 100% de álcool no processo de combustão dos motores. O recente aparecimento e a rápida dominância de motores "*flex-fuel*" deu aos proprietários de automóveis a autonomia para escolher o combustível mais barato na bomba. Nos últimos anos tem sido essencialmente o etanol.

A aceitação das inovações trazidas pelos carros bicompostíveis foram refletidas pelos números do mercado. Os carros bicompostíveis responderam por quase 90% dos automóveis vendidos no país em 2007:

Quadro 4 – Produção de Veículos no Brasil, Segundo Tipo de Motor.

ANO	AUTOMÓVEIS		
	GASOLINA	ÁLCOOL	FLEX-FUEL
1999	1.122.229	10.947	
2000	1.310.479	10.292	
2001	1.412.420	18.335	
2002	1.283.963	55.961	
2003	1.152.463	36.380	48.178
2004	1.077.945	50.950	328.379
2005	697.033	32.357	812.104
2006	316.561	1.863	1.430.334
2007	245.660	107	1.995.090

Fonte: ANFAVEA, 2007.

Aparentemente o Brasil tem sido capaz de expandir a produção de matérias-primas em linha com o crescimento da procura (tanto para o etanol quanto para o açúcar), ajudando a evitar escalada dos preços. A taxa de crescimento no restante do mundo tem sido mais lenta do que nos E.U.A nos últimos anos, o que pode também ter ajudado a evitar um sobreaquecimento do mercado.

Neste contexto, alguns métodos de produção de etanol, a partir de alguns insumos ainda se apresentam com altos custos, inviabilizando assim, a aplicação comercial de determinados projetos. O custo da produção de bioetanol à base de cana é o único atualmente que oferece capacidade de competir com a gasolina.

3.1.3 – Perspectivas para o Mercado de Etanol

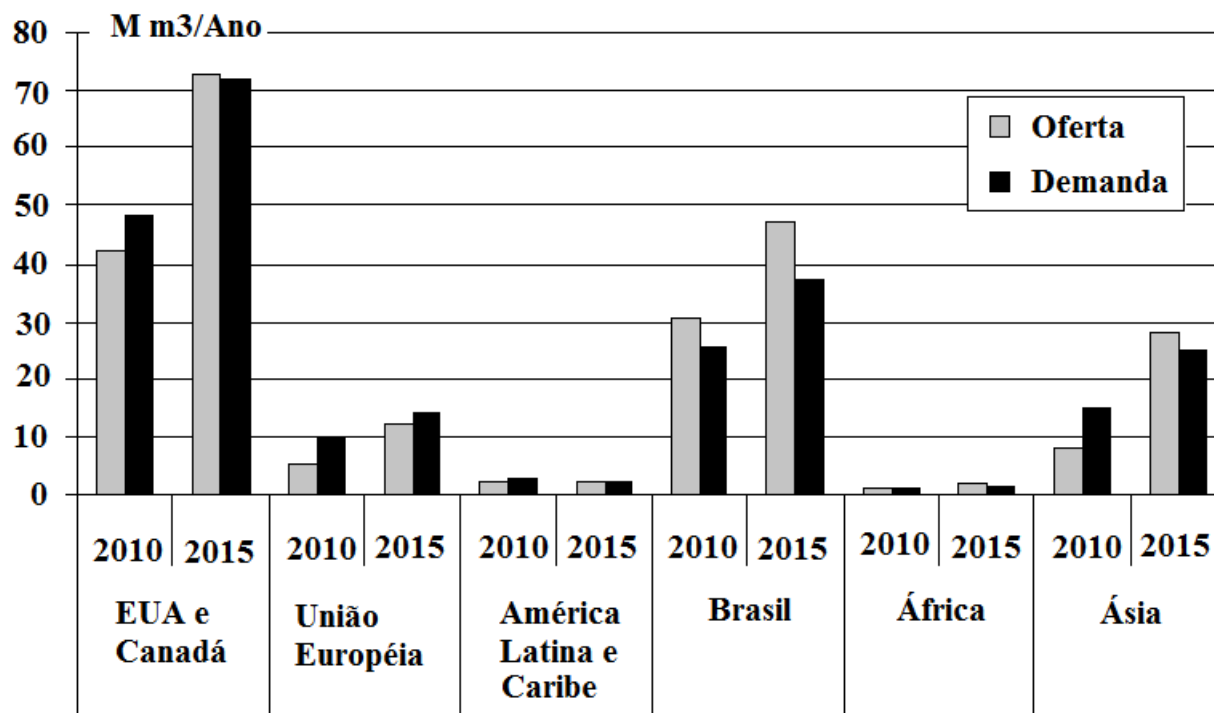
Atualmente a produção global de etanol concentra-se principalmente nos Estados Unidos e Brasil. Os dois países usam matérias-primas diferentes para a fabricação do produto. Mesmo nos Estados Unidos, o etanol representa inferior a 6% dos 540 bilhões de litros de gasolina para transportes dos consumidos em 2008. Por outro lado, o etanol é responsável por cerca de 50% da procura por gasolina no Brasil. O etanol à base de milho americano e o brasileiro à base de cana representaram juntos, 70% da produção mundial de 51 bilhões de litros em 2006 (CARSON, 2008).

Ainda, segundo relatório da IEA, o aumento da procura mundial por energia crescerá 50% entre 2005 e 2030. Projeções estimam que, dado o percurso atual das políticas por energia, o mundo precisará de 17,7 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (Tep) em 2030, 55% acima dos atuais 11,4 milhões de tep. Parte dessa demanda energética será suprida por fontes limpas e renováveis dentre as quais se destacam os biocombustíveis.

A demanda mundial potencial deve levar em conta novos acordos para o uso de combustíveis renováveis em face das crescentes preocupações ambientais causadas pelo exacerbado uso de combustíveis fósseis. Além disto, a preocupação com a segurança energética, diante da necessidade de diversificar a matriz de energia, deve nortear as políticas de incentivo a produção e uso do etanol como combustível.

Com referência ao mercado de etanol, estima-se que até 2015, a procura por etanol seja 50% superior às projeções para o ano de 2010. Neste contexto, calcula-se que o mercado mundial deva crescer a taxas superiores a 9% ao ano pelos próximos cinco anos, saltando de 101 bilhões de litros em 2010 para 150 bilhões de litros produzidos em 2015. A expectativa da oferta, por outro lado, deva atingir 88 bilhões de litros em 2010 e 162 bilhões de litros em 2015, conforme mostrado na Figura 12:

Figura 10 – Projeção da Oferta e Demanda por Etanol 2010–2015 (Milhões de M3).



Fonte: BNDES, 2008.

Em decorrência das pressões ambientais, os países se propuseram a adotar políticas mais “verdes”. Na União Européia, por exemplo, a situação é bastante desafiadora, pois embora haja uma meta estabelecida para a mistura de 5,75% de etanol na gasolina até 2010, a questão da rentabilidade é um problema real para muitos produtores. Além disto, a meta representará a adição equivalente de 19 bilhões de litros de biocombustíveis. Em Janeiro de 2008, a Comissão Européia apresentou uma proposta de diretiva, recomendando uma meta mais ambiciosa de inserção de 10% de biocombustíveis até 2020, como parte de um total de 20% de quota de energias renováveis na matriz energética da UE. No entanto, apesar deste projeto ainda não ter sido aprovado pelo Parlamento Europeu, vários Países da UE têm manifestado dúvidas de que serão capazes de satisfazer os 5,75% estabelecidos, até 2010.

Os benefícios trazidos pelo aumento da demanda mundial se refletem nas exportações brasileiras de etanol. Em 2001, as exportações eram inferiores a 3% do total produzido. O crescimento do volume exportado foi ampliado consideravelmente a partir de 2004, em decorrência da adição do etanol à gasolina nos países desenvolvidos e das novas políticas ambientais que contemplam os combustíveis verdes na matriz energética dos países.

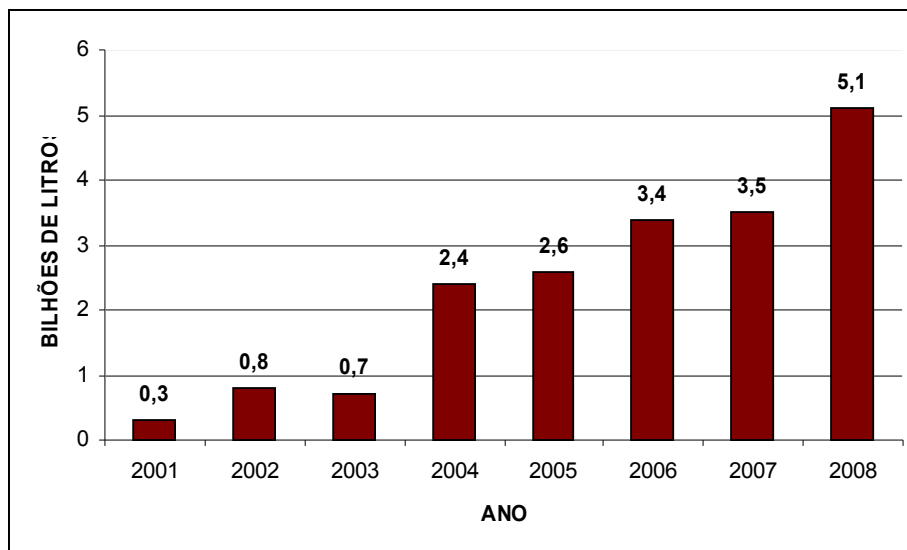


Figura 9 – Evolução das Exportações Brasileira de Etanol.

Fonte: CASOTTI, 2008.

Portanto, são várias as projeções para que a demanda internacional tenha uma previsão contínua e rápida de crescimento, juntamente com o esperado aumento contínuo das exportações para os Estados Unidos e em outros países.

No Brasil, a difusão dos motores “*flex-fuel*” continuará como referencial para a demanda de etanol no país. Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2008), entre os anos de 2008-2017 a demanda por etanol crescerá a taxa anual de 11,3%, saltando de 20,3 bilhões de litros para uma previsão de 50,3 bilhões de litros consumidos.

3.1.4 – Aspectos Institucionais do Etanol

Como o restante do mundo, o Brasil não via qualquer problema em sustentar seus investimentos usando o petróleo como matriz energética. Essa dependência transformou o petróleo em um componente importante na pauta de importações ao longo do período de otimismo econômico até 1973 durante a Guerra Árabe-israelense quando o preço do barril de petróleo elevou-se em 322% em pouco menos de um ano, partindo de US\$ 2,59 para US\$ 10,95 (BNDES, 2008).

O petróleo deixou de ser somente uma importante fonte de energia para trazer preocupações para o governo. A Crise do Petróleo no início dos anos 1970, colocou um fim no período de milagre econômico e levou as autoridades públicas a implementar em 14 de novembro de 1975, o Programa Nacional do Álcool (Próalcool), destinado a reduzir a dependência externa de energia, melhorar as contas nacionais com a redução da exportação e promover a redução das desigualdades regionais por meio da geração de emprego e renda para a população rural. O Próalcool é considerado como um marco da legislação da agroenergia no Brasil. A decisão sobre a produção de álcool a partir da cana-de-açúcar foi uma decisão política, diante da instabilidade dos preços do petróleo no mercado internacional. Entretanto, a primeira fase do programa tinha o objetivo de somente adicionar parte do etanol produzido à gasolina, na tentativa de aliviar as pressões da balança comercial brasileira, onde o petróleo representava boa parte do peso nas importações. A produção de álcool pelas destilarias saltou de 600 milhões de litros/ano em 1975, para próximo de 3,396 bilhões de litros/ano (1979).

Com a conjuntura internacional novamente triplicando os preços do barril de petróleo em 1978, o consumo de veículos movidos à gasolina caiu consideravelmente e o custo do petróleo na pauta de importação nacional aumentou ainda mais a necessidade de agilizar o programa. Neste sentido, o governo federal lançou a segunda fase do programa, criando a Comissão Executiva Nacional do Álcool, que ficou encarregada de aumentar as safras de cana e a capacidade da indústria por meio de subsídios diretos. O governo pagava a diferença entre os custos de produção e o preço pago pelos distribuidores (indexada a 25%

abaixo do preço da gasolina). A idéia estava em transformar o álcool em não só um complemento da gasolina mas dar autonomia à atividade energética sustentada pelo combustível renovável, através da introdução de veículos movidos exclusivamente à álcool.

A produção atingiu mais de 12 bilhões de litros em 1986, sobretudo após a expansão da produção de veículos movidos somente à álcool. A proporção de carros à álcool no total de automóveis produzidos no país aumentou de 0,46% em 1979 para 26,8% em 1980, atingindo um teto de 76,1% em 1986.

Anos mais tarde, o programa encontrava a economia mundial em uma conjuntura bastante diferente daquela vista nos períodos anteriores. Durante a década de 80, as principais economias passavam por um período de recessão, enquanto o preço do petróleo tinha estabilizado. O Brasil vivia um período de inflação crescente e sucessivos planos econômicos fracassaram na tentativa de domá-la. A deterioração da atividade econômica nacional estancou os subsídios dados ao setor alcooleiro. A produção de veículos movidos a álcool seguiu sua trajetória crescente enquanto a demanda não seguia a mesma trajetória.

Em meados dos anos 80 a situação da economia interna tinha se agravado e o subsídio tinha se tornado um peso no orçamento do governo. As sucessivas crises na economia mundial levaram a queda preço do barril de petróleo. Somado a isto, o preço do açúcar no mercado internacional se elevou fazendo com que os produtores de álcool optassem pela produção de açúcar e não do álcool. O resultado foi uma crise generalizada de abastecimento do álcool nos postos e da perda de confiança do consumidor quanto à segurança que seus veículos a álcool teriam combustíveis disponíveis.

A retomada só aconteceria mais tarde após a eliminação do monopólio da Petrobras, que controlava o mercado de compra e venda de etanol em algumas regiões. Os preços na bomba foram parcialmente liberados. Mas a liberalização plena dos preços ocorreu entre os anos de 1996 e 2000.

Portanto, para desenvolver adequadamente o mercado do etanol combustível e potencializar suas vantagens, o papel do Estado tem sua importância, devendo assumir responsabilidades, como deliberar especificações do bioetanol e os teores mínimos compulsórios de mistura na gasolina, assim como estabelecer um marco tributário equilibrado no mercado dos combustíveis.

3.1.5 – Aspectos Ambientais do Etanol

Do ponto de vista quantitativo das emissões de gases poluentes e de CO₂, a combustão do etanol apresenta comportamento diferente ao da gasolina. A efetiva redução de gases é provavelmente um dos efeitos mais positivos associados ao etanol. Pode-se considerar que a utilização do etanol não é uma fonte poluidora se uma quantidade importante de CO₂ emitido pelos motores à etanol é anulada pela captura da cana-de-açúcar (ou outras matérias-primas) durante seu processo de germinação e crescimento que utiliza para criar novas cadeias carbônicas, no processo de fotossíntese.

Em relação à emissão de gases dos motores, os estudos realizados nos últimos dez anos indicam que o etanol extraído a base de grãos produz entre 20% e 40% menos dióxido de carbono na atmosfera, importante gás causador do efeito estufa. No entanto, outros estudos mais apurados indicam que é necessário avaliar o ciclo completo do combustível, isto é, percorrendo todo o caminho, desde os impactos do uso da terra, aplicação dos fertilizantes, uso do adubo, etc, e assim, mensurar de maneira mais realista o potencial de emissão de poluentes do etanol. Embora essas incertezas permaneçam, o potencial de redução dos gases que fazem parte do efeito estufa com o uso do etanol são significativas.

Os avanços nas técnicas para fabricação de etanol a base de cana avançaram bastante nos últimos trinta anos. Segundo conclusões de MACEDO, (2001 *apud* IEA, 2004) que leva em consideração todo o ciclo fechado do etanol de cana (incluindo uso de adubos, fertilizantes para compor o quadro de emissões), a redução da emissão de CO₂ são muito baixas, equivalente a 8% da emissão feita pelos combustíveis fósseis (IEA, 2004). O etanol à base

de cana emite 0,20kg por litro de combustível enquanto os níveis de emissão da gasolina atingem 2,82kg a cada litro consumido.

Além de ser muito menos poluente, o uso da biomassa contida no bagaço da cana e utilizada para a própria fabricação do etanol contribui ainda mais para a redução dos níveis de emissão em todo o ciclo da cana.

Outros estudos importantes se concentram no potencial da celulose para a produção de etanol no contexto da emissão de poluentes. Diante da estimativa de emissões dos Gases do Efeito Estufa, acredita-se que haja uma redução entre 70 a 90% em comparação com a gasolina convencional (IEA, 2008).

Por outro lado, a utilização do etanol em motores que utilizam o processo de compressão não tem demonstrado a mesma viabilidade econômica que em motores à combustão. Os caminhões, ônibus e tratores que utilizam motores de grande porte não empregam o uso de centelha, como nos motores dos carros de passeio. Faz-se necessário aditivar o etanol para reduzir sua octanagem, ampliar a cetanagem e seu poder lubrificante para torná-lo funcional. Este procedimento leva ao aumento do consumo de combustível em cerca de 60% em comparação com o diesel convencional.

Mesmo sem esta viabilidade econômica aos motores de compressão, o etanol traz melhoras significativas na qualidade do ar e por isso alguns projetos persistem em aplicá-los aos motores de grande porte. As tentativas de torná-lo um combustível economicamente viável para os meios de transporte de carga, motivou um programa que abrange dez grandes cidades promovendo o uso do etanol em escala experimental (BEST, 2008). O projeto foi disseminado após os resultados animadores encontrados em ônibus movidos a etanol na Suécia, onde as pesquisas são desenvolvidas desde início dos anos 80. Atualmente, o projeto está presente em grandes metrópoles como Madri, Oslo, Milão, Nottingham e inclusive São Paulo.

Como visto, a utilização dos biocombustíveis em substituição aos combustíveis fósseis reduz significativamente a emissão dos principais gases causadores do efeito estufa e que provocam o aquecimento global. Mas a expansão do setor, por outro lado, pode provocar novas pressões ambientais com a utilização de métodos rudimentares como ampliação do processo de queimadas da safra que provocam o efeito inverso e implicam em questões ambientais que precisam ser avaliadas.

Apesar da euforia em torno do etanol no Brasil, em algumas regiões do país, a organização da indústria canavieira continua ainda com métodos primitivos e de pouca eficiência. A queima do plantio ainda é usada para facilitar o corte e cortada com facões.

O uso do fogo para a queimada da palha da cana traz conseqüências negativas a terra, podendo provocar a desertificação de áreas. No solo, o fogo altera as suas composições químicas, físicas e biológicas, prejudicando o ciclo de nutrientes e causando a sua volatilização. Como conseqüência da redução da fertilidade do solo, as empresas intensificam o uso de agrotóxicos e herbicidas, para o controle de pragas e plantas invasoras, prejudicando ainda mais o meio ambiente e com o risco de contaminar córregos e lençóis freáticos próximos a estas áreas.

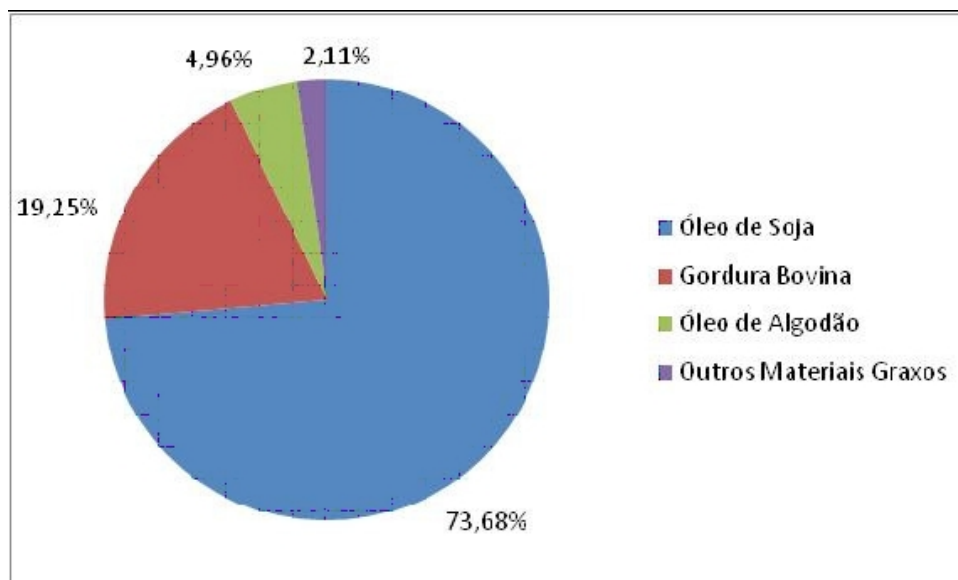
Recentemente, as pesquisas mostram que um aumento de 25% na utilização de biocombustíveis para os transportes provocam elevação no uso de fertilizantes em torno de 40% (IEA, 2004). De certa forma, apesar da redução das emissões pelos motores com a adoção do etanol, a ampliação da safra também provocará o aumento no uso de adubos que, por sua vez, elevam a concentração de óxido nitroso (N_2O) um componente presente na atmosfera que absorve a radiação infravermelha contribuindo para o efeito estufa.

Alguns estados já se mobilizam na tentativa de resolver estas questões, criando leis que estabelecem o fim do corte manual e utilização das queimadas de forma crescente, dando prazo suficiente para as empresas se adequarem às novas regras. Em São Paulo, por exemplo, a legislação estadual determina que metade da colheita da safra seja mecanizada até 2014 e em todas as áreas até 2017. Segundo a UNICA (2007), estima-se que já em 2010

a cana não queimada represente cerca de 70% das áreas. O protocolo ainda estipula algumas outras questões: a não utilização das queimadas em áreas de expansão de canaviais; não ocorrência de queima de subprodutos da cana a céu aberto; proteção de áreas de mata ciliares e das nascentes de água; implementação de planos de conservação do solo e de recursos hídricos e a adoção de boas práticas para descarte de embalagens de agrotóxicos, minimização da poluição atmosférica, reciclagem e reuso de resíduos.

3.2.1 - Biodiesel: Aspectos Técnicos

O biodiesel, por outro lado, substitui parte ou totalmente as características físico-químicas do diesel convencional com a vantagem de emitir uma quantidade menor de poluentes na atmosfera, além de ser menos tóxico e biodegradável. Sua produção é extraída de dezenas de espécies vegetais que apresentam compostos triglicérides, ou seja, óleos extraídos de matérias-primas como soja, mamona, dendê, girassol, babaçu, amendoim, pinhão-manso, dentre outras. Além disto o biodiesel pode ser fabricado a partir da gordura animal (sebo bovino, óleos de peixes, de mocotó, banha de porco entre outros materiais) e resíduos de gorduras utilizados em frituras.

Quadro 5 – Principais Matérias-Primas para a Produção de Biodiesel no Brasil

Fonte: ANP, 2003.

Quimicamente, óleo vegetal é composto por uma molécula de glicerina conjugados por três moléculas de ésteres. A glicerina é um óleo mais denso e pesado, que não serve para a formação do biodiesel. O processo químico chamado de transesterificação separa a glicerina do óleo vegetal, por meio de um catalisador, proporcionando um óleo mais fino menos viscoso. Os catalisadores mais empregados no processo de produção são aqueles cujo potencial hidrogeniônico é alcalino, tais como os metóxidos e etóxidos de sódio e de potássio. As concentrações variam entre 0,5 e 1,0% em relação à carga de óleo, diluídos em álcool (ANP, 2003).

A glicerina pode provocar problemas de carbonização nos motores, entupimento dos bicos injetores e depósitos em sedes de válvulas, além do desgaste prematuro dos pistões, dos anéis de segmentos e dos cilindros. Além disto, a glicerina dificulta a diluição do óleo

lubrificante, dificulta a partida a frio, provoca a queima irregular do combustível, além do odor desagradável emitido com a queima da acroleína²¹.

Ainda, para a produção do biodiesel a partir do óleo vegetal é necessário a presença de álcool na mistura e as reações químicas aceleradas por um catalisador, que produzem óleo e glicerina separados por meio de um filtro no final do processo.

A produção de biodiesel através de óleos e gorduras de origem animal é um processo mais complexo, que envolve etapas operacionais um pouco mais desenvolvidas, mas que apresentam como resultado final os mesmo benefícios gerados pela utilização de óleo vegetal.

²¹ Acroleína é uma substância tóxica emitida a partir da queima da glicerina contida nos óleos vegetais (BRASIL, 2006).

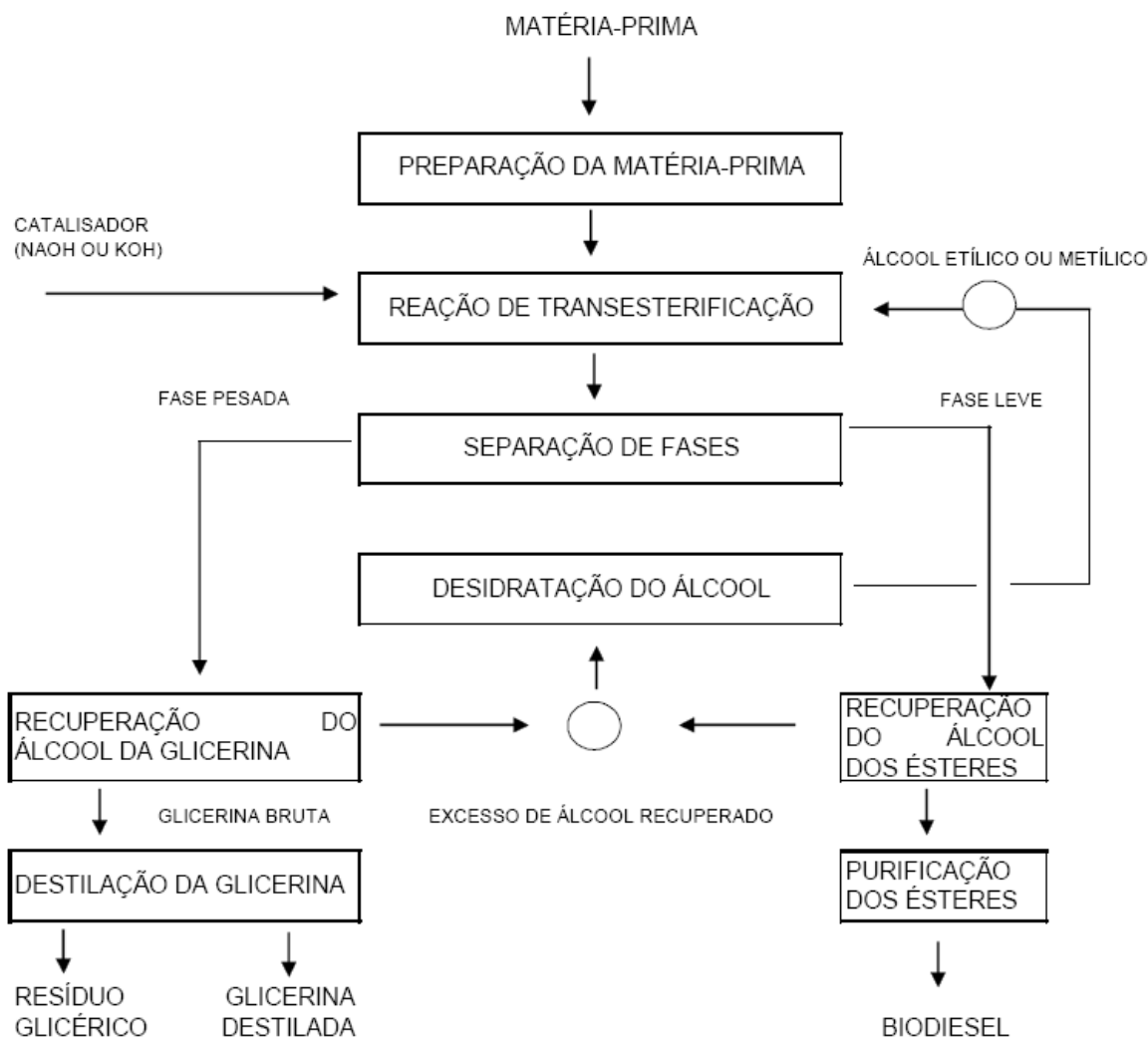


Figura 12 – Processo Produtivo do Biodiesel.

Fonte: CARSON, 2008.

O grau de pureza da matéria-prima, tanto de origem vegetal ou animal, é fundamental para o seu desempenho na conversão a biodiesel. Quanto mais refinado (puro) o insumo, menor será sua interferência nas etapas de catálise e de separação dos subprodutos do processo.

A resultante deste processo é a geração de glicerina e biodiesel. As diferentes tecnologias aplicadas durante o processo de transeificação resultam em variados graus de pureza da glicerina. Dependendo do seu grau de impureza, a glicerina não pode ser utilizada em escala comercial pois precisam passar por novos processos de purificação. Atualmente o

composto é aplicado principalmente na indústria alimentícia, têxtil, farmacêutica e de tabaco. Se o glicerol tiver um grande crescimento de oferta com redução de preços em função da produção de biodiesel, ele pode facilmente substituir o mercado de sorbitol, composto com semelhantes propriedades físico-químicas, mas produzido a partir de outras fontes²².

Quadro 6 – Aplicação Comercial no Uso da Glicerina.

DROGAS	Cápsulas, supositórios, anestésicos, xaropes, emolientes para cremes e pomadas, antibióticos e anti-sépticos.
COSMÉTICOS	Pastas de dentes, cremes de pele, loção pós-barba, desodorantes, batons e maquiagens.
TEXTEIS	Amaciar e aumentar a flexibilidade das fibras têxteis.
ALIMENTOS	Umectante para a conservação de refrigerantes, bolos, pastas de queijo e carne e ração animal.
OUTROS	Fibras e filtros do cigarro, lubrificantes, fabricação de tintas e resinas, fabricação de dinamite, etc.

Fonte: Biodieselbr, 2008.

Não há necessidade de qualquer transformação nos motores convencionais a diesel para utilizar 100% do diesel proveniente da matéria biológica. A experiência europeia mostra que uma adição sutil, entre 1 e 2% melhora consideravelmente a lubricidade do combustível nos motores.

Em termos de potência, o uso do biodiesel puro (B100) reduz em cerca de 5 a 7% da potência dos motores, já que o seu conteúdo energético é cerca de 11% menor que o diesel convencional. Por outro lado, a mistura do biodiesel ao diesel convencional pode dar uma alternativa que otimize o uso dos motores com uma emissão menor de poluentes.

O diesel de origem biológica possui problemas quanto a sua fraca estabilidade à oxidação em lugares com baixas temperaturas. Neste caso, isto implica em acúmulos de camadas do

²² Informações obtidas em Cadernos NAE – Biocombustíveis 2004: Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República; N.º 02, outubro de 2004.

óleo nas paredes dos componentes, inclusive podendo até entupir os filtros ou impedir a saída dos combustíveis dos tanques por onde passam o combustível. Uma solução encontrada pode estar na mistura de aditivos que reduzam esses efeitos e melhore as condições de armazenagem, independente da temperatura do ambiente.

Ressalta-se que a transformação dos materiais é um processo de reação química, que envolve a adição de etanol (ou metanol, em alguns casos) e o uso de catalisadores traz resultados similares da reação.

Esta próxima seção analisa as estimativas dos custos de produção dos biocombustíveis, avaliando por região produtora e o tipo de insumo utilizado, quando possível. Foca-se na produção na América do Norte, a UE e o Brasil, uma vez que existem poucos dados disponíveis em outras regiões.

3.2.2 – Biodiesel: Custo e Impacto nos Mercados

Os custos de produção do biodiesel nos Estados Unidos e União Européia são ainda mais dependentes dos preços das matérias-primas que os custos do etanol. Calcula-se que o custo da matéria-prima represente cerca de 85% do custo final do biodiesel (PRATES, 2007). Tal como acontece com o etanol, a escala de produção também tem um impacto significativo nos custos e sua redução torna-se imprescindível para o sucesso da atividade.

A venda de co-produtos resultantes do processo de geração do biodiesel reduz os custos de produção. No caso do biodiesel, a glicerina é um subproduto vendido no comércio internacional e possui aplicabilidade econômica em diversos setores (conforme mencionado). Contudo, um aumento significativo da produção do biodiesel pode provocar a queda acentuada do preço da glicerina no mercado internacional, que hoje varia entre quinhentos a mil dólares por tonelada na Europa. Ou seja, o preço está em torno de US\$ 0,05 a 0,10 centavos por litro de glicerina (PRATES, 2007).

A venda da glicerina melhora a economia da produção de biodiesel. Entretanto, a possibilidade de queda de seus preços em virtude de uma possível expansão do biodiesel, o custo de produção de biodiesel na Europa e aumentaria consideravelmente já que os preços de vendas da glicerina chegariam a valores próximos de zero.

Segundo dados da International Agency Energy (2008), os custos médios da produção na Europa estão em torno de US\$ 0,55 centavos de dólar por litro de biodiesel produzido. Os créditos da venda do glicerol (glicerina) amortizam esses custos em cerca de US\$ 0,10 em cada litro de biodiesel. Entretanto, o custo final de US\$ 0,45 se apresenta muito acima do custo final do diesel convencional que está fixado entre US\$ 0,17 e US\$ 0,23 dólares por litro, variando de acordo com as oscilações do preço do petróleo no mercado mundial.

Os custos obtidos a partir de “óleos graxos” (gordura animal) são relativamente mais baixos. Mas as quantidades de biodiesel provenientes dessas fontes são geralmente limitadas, embora uma cadeia mais eficiente poderia ampliar significativamente sua disponibilidade. O custo a partir deste tipo de fonte está em cerca de US\$ 0,25 dólares por litro já que muitas vezes não há despesas com o emprego de tais matérias-primas (PRATES, 2007).

Entretanto, gorduras e óleos desta natureza necessitam de processamento adicional e custos operacionais que colocam o seu custo acima das outras matérias-primas vegetais. Assim, esses custos adicionais poderiam levar o produto final ao custo de produção em torno de US\$ 0,30 a US\$ 0,40 dólares por litro de biodiesel produzido (PRATES, 2007).

Nos Estados Unidos, a produção ocorre em menor escala e seus custos são ligeiramente superiores. A produção americana baseia-se especialmente no biodiesel de óleo de soja, material abundante e com preço relativamente mais baixo. Uma pequena parte da produção utiliza óleo de canola (colza). O custo de processamento de biodiesel é de US\$ 0,15 por litro. No caso da soja, o custo da oleaginosa é de US\$ 0,52 por litro de biodiesel. O custo operacional por litro (excluindo-se o custo de capital) é de US\$ 0,67. Adicionando-se o

retorno do investimento e o custo de transporte, estocagem, mistura e distribuição, o preço ao consumidor excede os US\$ 0,82 por cada litro produzido (PRATES, 2007).

Em síntese, apesar de comprovada a viabilidade técnica da utilização do biodiesel (o produto é utilizado comercialmente nos EUA e em países da União Européia) a questão crucial é quanto ao custo de suas matérias-primas, ainda muito altos em comparação ao preço do diesel convencional. Em termos quantitativos, o custo final do biodiesel é de uma vez e meia a três vezes maior ao custo do diesel convencional no mundo desenvolvido, e sua utilização é justificada mais pelas externalidades do diesel convencional (ambiental, segurança energética, geração de emprego e redução das importações) do que propriamente por sua viabilidade econômica. Assim como o etanol, o biodiesel tende a ser mais barato em países onde existe um menor custo agrícola, tipicamente em torno dos países em desenvolvimento.

No Brasil, a variedade de clima e solo e a existência de diversificadas opções de matérias-primas oleaginosas como a palma (dendê), a mamona, a soja, o algodão, o amendoim, o pinhão manso, o girassol, gorduras animais e óleos residuais, dentre outras. O Brasil optou por não privilegiar qualquer matéria-prima oleaginosa ou rota tecnológica, deixando a escolha para o produtor, com base em sua análise de custos de produção e de oportunidade.

Entretanto, existem diferenças entre as cotações dos óleos vegetais que tornam o custo final do produto diferenciado. Há também o biodiesel produzido através de óleos residuais, que entram na função de produção como um crédito já que muitos produtores de biodiesel receberiam recursos descartados dos estabelecimentos que os utilizam. O custo final seria extremamente menor do que o do óleo diesel. Porém, as limitações de oferta não tornam este cenário sustentável em escala industrial.

Um estudo realizado pelo Ministério de Minas e Energia mostrou que, considerando o preço do barril de petróleo em US\$ 35,00, o biodiesel à base de óleo de mamona demonstrou ter viabilidade econômica, ou seja, a produção de biodiesel tem condições de

competir via preços com o diesel convencional²³. Atualmente, o custo de se produzir o combustível utilizando este insumo chegou a US\$ 0,36 por litro. A análise mostra que os custos finais para a produção de biodiesel a partir do uso da soja como matéria-prima, sem impostos seriam um pouco mais elevados, e estariam US\$ 0,55 para cada litro de biodiesel produzido.

O potencial brasileiro encontra-se sobretudo em regiões como o Norte e Nordeste, onde o clima e as terras são propícias para o cultivo das oleaginosas que são utilizadas para a produção de biodiesel. Essas regiões foram deixadas de lado em programas de crescimentos anteriores e agora tem a grande oportunidade de servirem a produção de biodiesel. Somente no Nordeste, existe uma ampla área para se cultivar além de cana-de-açúcar, gergelim, babaçu, amendoim e outras oleaginosas. Por exemplo, segundo estudos do Governo Federal, existem cerca de 4,5 milhões de hectares aptas para o cultivo da mamona na região.

Por outro lado, a região Norte se desponta como o maior potencial para o plantio, com espaços que atingem 50 milhões de hectares e podem servir para o plantio de dendê. Na região Centro-Oeste o plantio de soja, girassol e canola podem ser utilizados para a produção de óleos vegetais.

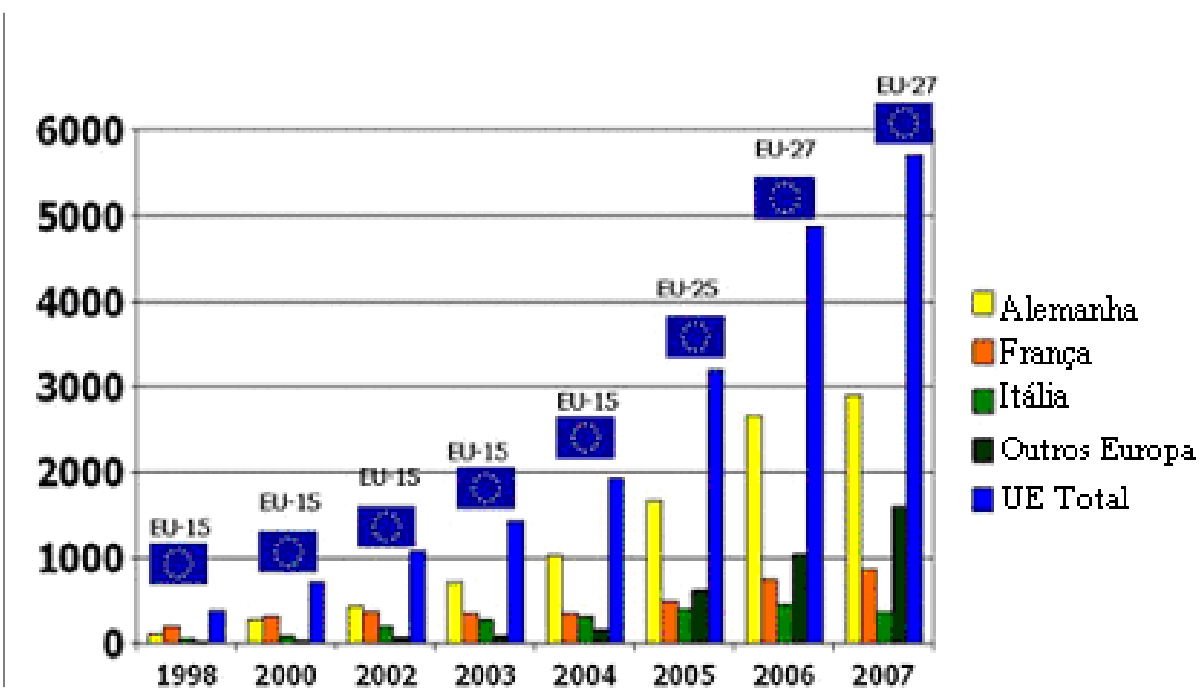
Entretanto, é válido salientar que estas comparações a respeito dos custos tanto do etanol como do biodiesel, envolvem não somente os custos operacionais e as diferenças de eficiência entre as matérias-primas consideradas, mas também custos relativos aos investimento em capital, custos da terra e em alguns casos, o custo de assentamentos e suas melhorias agrícolas.

²³ O estudo do MME considerou também a isenção de tributos que atualmente incide no setor e em regiões onde a atividade agrícola possui proximidade com a área de refino.

3.2.3 – Perspectivas para o Mercado de Biodiesel

A maior parte do mercado mundial de biodiesel está concentrado em países da Europa, em face das características da frota automotiva que detém sua maior parte com motores movidos à diesel. Países como Alemanha, França e Itália, vem ampliando a participação das plantações voltadas a produção energética. A Alemanha, por exemplo, aumentou em quatro vezes o consumo de biodiesel estendendo sua oferta e canais de distribuição nos últimos dez anos. Em 2005, a produção alemã atingiu o volume de 2 milhões de toneladas produzidas, o equivalente a 44% da produção de toda a Comunidade Européia (IEA, 2008).

Quadro 7 – Produção Mundial de Biodiesel na Europa (Milhares de Toneladas).



Fonte: European Biodiesel Board, 2009.

O combustível é produzido atualmente, por vinte e cinco países da Europa, dos quais nove têm capacidade de produzir mais de 100 mil toneladas de biodiesel por ano a partir de canola (colza). A produção total em 2007 foi de 6,9 bilhões de litros. Em 2006, cerca de 60% do total do óleo de canola produzido na União Européia destinaram-se à produção de biodiesel (BIODIESELBR, 2008).

Os Estados Unidos focaram seus investimentos na produção de etanol por muitos anos, já que sua frota de veículos leves é movida basicamente por motores à gasolina. Mas após as altas expressivas nos preços do barril de petróleo nos últimos anos e as constantes pressões ambientais, os americanos parecem levar a estratégia para a produção de biodiesel mais a sério. O Governo tem adotado incentivos diretos como subsídios para aquisição de matérias-primas para a fabricação do diesel renovável, incentivos fiscais para adição do biodiesel ao diesel convencional (US\$1,00/galão) e criação de normativos, sobretudo estaduais que determinam um percentual mínimo de consumo de biocombustíveis por órgãos públicos e frotas comerciais, além de sua obrigatoriedade como mistura (BIODIESELBR, 2008). O biocombustível ainda tem de atender às especificações da norma *American Society of Testing and Materials*, (ASTM D 6751) entidade responsável pelas normas que conferem a qualidade do biocombustível naquele país. Em 2007, os Estados Unidos produziram 6,5 bilhões de litros de biodiesel a base de soja.

O Brasil, por sua vez, é o terceiro maior produtor e consumidor de biodiesel do mundo, com sua produção em 2008 de 1,2 bilhão de litros, e capacidade instalada para produzir 3,7 bilhões em 2009 (ANP, 2008).

Por outro lado, diante do consumo do diesel convencional de 44 bilhões de litros (ANP, 2008), o país possui um amplo potencial de crescimento dentro de suas fronteiras. O transporte de cargas e passageiros no país é majoritariamente rodoviário, e os ônibus e caminhões consomem exclusivamente óleo diesel, que corresponde a 58% dos combustíveis veiculares consumidos. Assim, mesmo com a perspectiva da auto-suficiência de petróleo, continua havendo a necessidade da importação de óleo diesel.

Essas importações custaram no ano passado cerca de US\$ 1,2 bilhão. Ao adicionar um percentual de biodiesel ao diesel, será possível reduzir parte dessas importações. Em 2008, o uso do biodiesel evitou a importação de 1,1 bilhões de litros de diesel de petróleo resultando numa economia de cerca de US\$ 976 milhões, gerando divisas para o país.

A introdução do biodiesel também se mostra uma importante opção estratégica para o Brasil. Da mesma forma que o etanol, sua produção em larga escala pode propiciar grandes

efeitos multiplicadores na economia, com geração de divisas para o país e emprego e renda para a população rural.

Apesar da demanda crescente por biodiesel no mercado externo, sobretudo nos países da União Européia, considera-se que a inserção do biodiesel brasileiro nesses mercados deverá acontecer apenas no longo prazo, dadas as fortes barreiras externas quanto às especificações físico-químicas dos produtos, além das pressões internas na União Européia e nos EUA para proteção da agricultura local.

Mas assim como o etanol, dentre outros fatores, ele depende de uma relação positiva entre o consumo e a produção para evitar danos ou especulação por outras culturas agrícolas.

3.2.4 – Aspectos Institucionais do Biodiesel

No Brasil, as pesquisas surgiram com o Programa de Óleos Vegetais, lançado pelo Governo Federal em 1982. As avaliações dos resultados entretanto, demonstraram que apesar de sua viabilidade técnica, os altos custos em comparação ao óleo diesel convencional, inviabilizaram sua escalada comercial no país. O programa foi deixado de lado, assim como suas propostas de inserção na matriz energética nacional.

A retomada das pesquisas ocorreu somente anos mais tarde, com a elevação dos preços do petróleo no mercado internacional e em virtude das pressões ambientais ocorridas para encontrar formas alternativas que substituam o óleo negro.

Diante da crise energética, através da Resolução 180, a ANP autorizou a realização de testes e comercialização de combustíveis não especificados. Diante da nova regra, algumas instituições realizaram os primeiros estudos para o uso do biodiesel provenientes de frituras, misturado com o diesel convencional.

Os resultados desses estudos demonstraram que a viabilidade econômica, associada a uma política nacional que substituísse o óleo diesel pelo combustível renovável traria amplos benefícios ao país. Em 2002, através da Portaria 702 do Ministério da Ciência e Tecnologia, o Governo Federal criou o Programa Brasileiro de Biocombustíveis (PROBIODIESEL), com o intuito de promover o desenvolvimento científico e tecnológico de biodiesel, a partir de óleos vegetais puros ou residuais.

Em linhas gerais, esse programa tinha como objetivos reduzir a dependência do petróleo; expandir os mercados das oleaginosas; impulsionar a demanda por combustíveis alternativos; e reduzir a emissão de gases poluentes, visando atender as regras do Protocolo de Quioto, do qual o Brasil é signatário.

Dois anos após o PROBIODIESEL, o programa passou por diversas mudanças, incorporando inclusive, questões sociais para o desenvolvimento em pequenas propriedades pela agricultura familiar, com o intuito de promover a geração de emprego e renda local. O programa ganhou uma nova roupagem e passou a se chamar de Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB).

O PNPB é um programa audacioso do Governo Federal que objetiva a implementação de forma sustentável, tanto técnica, como economicamente, da produção e uso do Biodiesel, com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional, via geração de emprego e renda .

No âmbito legislativo, a criação da Lei 11.097/05 que dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira, estabelece percentuais mínimos de biodiesel adicionados ao diesel convencional. A legislação trata da produção, estocagem, distribuição de venda no Brasil. Além disto, a lei estabelece prazos para cumprimento da adição de percentuais mínimos de mistura de biodiesel ao diesel convencional.

Similarmente ao etanol, existe uma convenção internacional para identificar o grau de concentração do biodiesel na mistura. Toda e qualquer adição de biodiesel ao diesel

convencional é representado pela sigla B acrescida do seu percentual. Por exemplo, se a adição representa 5% de biodiesel ao diesel de origem mineral, a nomenclatura é dada pelo “diesel B5”. Assim sucessivamente até o biodiesel puro, chamado de B100.

No Brasil, a Portaria 255/2003 da Agência Nacional de Petróleo (ANP) estabeleceu uma especificação preliminar do biodiesel, com algumas premissas considerando o uso em misturas até 20% (B20). São especificações similares à europeia e americana, com alguma flexibilização para atender às características de matérias primas nacionais. No início, o PNPB delimitou a adição de um percentual de 2% de biodiesel ao diesel mineral. Até 2007, sua utilização era facultativa e a partir de 2008 passa a ser compulsória. A partir de 2013, a utilização obrigatória passa a ser de 5%:

Quadro 8 – Inserção Legal do Biodiesel na Matriz Energética Brasileira.



Fonte: SEBRAE, 2007.

Este cronograma legal previsto, orienta as ações do investidor e dá maior segurança quanto ao retorno dos investimentos nesta área. Estima-se que pelo uso das normas previstas e suas alterações futuras, o biodiesel poderá atingir o nível mínimo B20 e assim, haveria uma demanda em torno de 12,5 bilhões de litros/ano.(BRASIL, 2006).

É importante frisar que os prazos estabelecidos na lei podem ser antecipados. O Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), poderá intervir nas metas estabelecidas caso entenda que evolução da capacidade produtiva e da oferta de matéria-prima satisfaz as

necessidades do mercado, sem prejuízo de qualquer variação brusca nas variáveis macroeconômicas.

3.2.5 – Aspectos Sociais do Biodiesel

Além dos aspectos econômicos e legais, a proposta social do programa para o cultivo das oleaginosas visa promover a inclusão da agricultura familiar no escopo, o que não ocorre no plantio da cana-de-açúcar. Por ser intensiva em mão-de-obra, a cultura da mamona e da palma tem um grande potencial para a geração de emprego e renda em regiões mais pobres.

Assim sendo, o Governo Federal lançou um conjunto de medidas específicas através da criação do selo “Combustível Social”. Sua concessão é dada pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário àqueles produtores de biodiesel que usam da atividade para a geração de emprego e renda a agricultura familiar, com isso levando a inclusão social e o desenvolvimento regional. A implantação do PNPB tem o potencial, de fato, de combinar uma alternativa estratégica de energia limpa e o almejado desenvolvimento social de áreas rurais, sobretudo no semi-árido nordestino e na Região Norte.

Os produtores possuem alguns benefícios do governo, como a redução de alguns tributos e acesso a melhores condições de financiamento junto a instituições financeiras credenciadas com o selo “Combustível Social”.

Mas para isso, os produtores industriais de biodiesel devem estabelecer em contrato, a especificação de renda e prazo, garantindo aos pequenos trabalhadores agrícolas assistência e capacitação técnica. Além disto, têm que assegurar a compra dos seus insumos com origem da atividade agrícola familiar, segundo percentuais mínimos preestabelecidos, de acordo com o Ministério do Desenvolvimento Agrário:

- 50% na região Nordeste e semi-árido;
- 30% nas regiões Sudeste e Sul;

- 10% nas regiões Norte e Centro-Oeste.

Até o fim de 2006, cerca de 40 mil famílias foram beneficiadas pelo programa, produzindo biodiesel em suas terras em 300 municípios, sobretudo na região Nordeste. Avalia-se que a renda trará as famílias acréscimos que variam entre R\$ 1 mil a 16 mil, dependendo da matéria-prima, do local e da área plantada (BRASIL, 2006). As usinas detentoras com o selo, foram responsáveis por 96% do volume arrematado pelos leilões de biodiesel. O último leilão, ocorrido em novembro de 2008, para fornecimento do primeiro trimestre de 2009, foram adquiridos 330 milhões de litros de biodiesel²⁴.

Nesse contexto, os detentores do Selo Social têm acesso a melhores condições de financiamento nos bancos oficiais – Banco do Brasil (BB), Banco do Nordeste do Brasil (BNB), Banco da Amazônia (BAZA) e BNDES – e participação nos leilões de aquisição organizados pela ANP, além de poderem utilizar o Selo para fins de promoção comercial.

Os incentivos também chegam à esfera tributária. O Governo Federal estabeleceu regras tributárias ao produtor do biodiesel, sobre as alíquotas do PIS/PASEP e COFINS. A lei 11.116 de maio de 2005, determina que a autoridade pública poderá estabelecer coeficientes de redução para a alíquota específica, que poderão ser diferenciadas em função da matéria-prima utilizada na produção, da região de produção dessa matéria-prima e do tipo de seu fornecedor (agricultura familiar ou agronegócio).

3.2.6 – Aspectos Ambientais do Biodiesel

No quesito emissão de poluentes, por ser um combustível vindo de fontes renováveis, sua utilização em substituição ao diesel mineral implica a redução das emissões de CO₂ para a atmosfera e, por consequência, para o efeito estufa. Obviamente, em virtude das diferenças

²⁴Tal volume representa toda a demanda de biodiesel para a mistura B3 nesse período.

entre as matérias-primas, os resultados podem sofrer algumas modificações, embora sejam frutos da mesma variável.

No entanto, a elevação dos percentuais de biodiesel acrescentados sobre o diesel convencional pode provocar um aumento expressivo nas emissões de NO_x ²⁵. As possibilidades desta ocorrência tem impedido aos fabricantes de motores à diesel em cumprir normas rigorosas, especialmente no que se refere ao percentual máximo deste composto químico emitido. Por exemplo, a Scania proibiu a utilização de 100% do biodiesel em seus motores devido a essa tendência de aumento de emissão de NO_x e não atingir as exigências de emissão de poluentes propostas pela Europa. Os efeitos de até 5% de biodiesel na mistura, por outro lado, não causam nenhum impacto significativo a atmosfera.

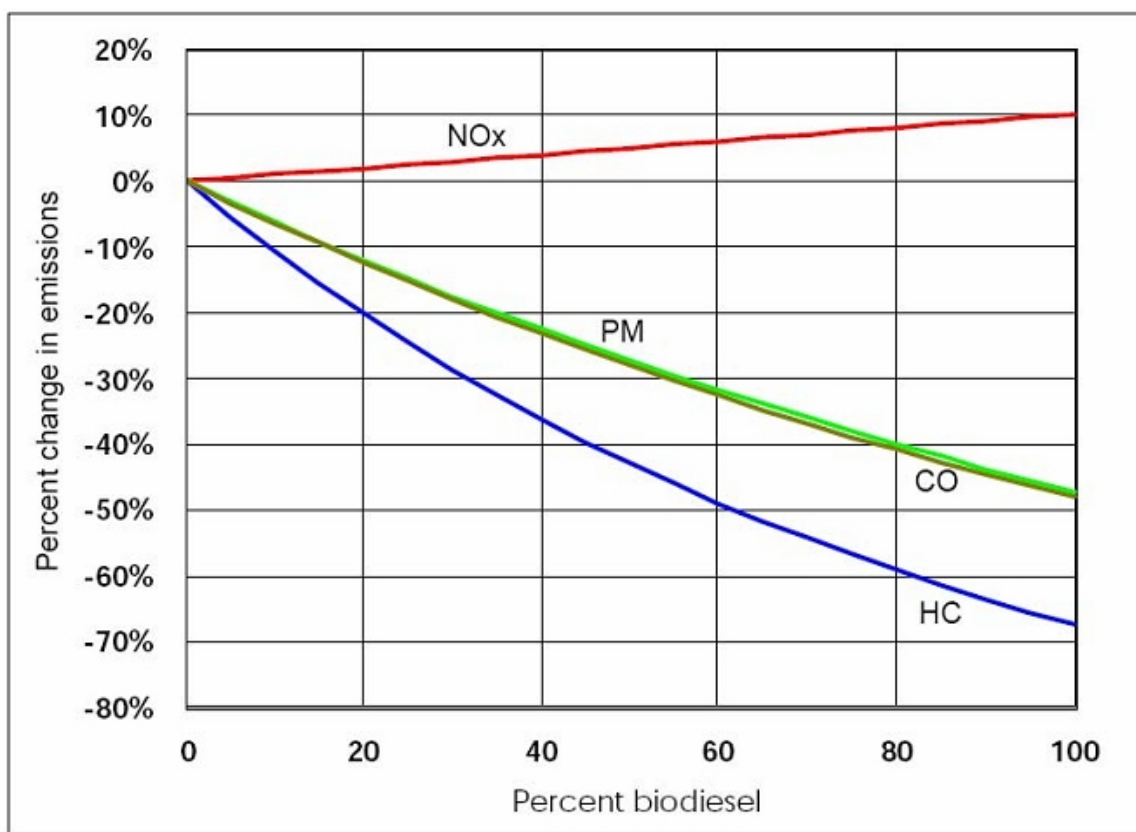


Figura 10 – Efeito da Concentração do Biodiesel sobre a Emissão de Gases

²⁵ NO_x é o principal responsável pelo problema da acidificação. Em contato com a água transformam-se em ácidos nitroso e nítrico, os quais dissolvidos na chuva ou na neve atingem o solo e podem provocar a desertificação.

Fonte: IEA, 2004.

3.3 – Preocupações para o Desenvolvimento Sustentável

Apesar dos prováveis benefícios trazidos pela produção de biocombustíveis, algumas preocupações norteiam a adoção na matriz energética dos países. A utilização do biodiesel e do etanol podem provocar impactos ambientais prejudiciais e desvirtuar do propósito pelo qual foram adotados, levando a prejuízos climáticos, ambientais e sociais.

3.3.1 – Concorrência com Produtos Alimentícios

Uma das maiores discussões em torno da utilização dos biocombustíveis na matriz energética dos transportes é seu impacto na indústria alimentícia mundial. Dado o crescimento do consumo de milho, de trigo e de oleaginosas para a produção de energia, muitos atribuem aos biocombustíveis grande parte do aumento dos preços dos alimentos nos últimos anos. Como a procura aumenta, o fornecimento pode não ser capaz de acompanhar este ritmo, colocando uma pressão ascendente sobre os preços. A rentabilidade das culturas que se destinam à produção de combustíveis pode desviar a produção para esta nova atividade, reduzindo assim, espaços para a produção de alimentos. Neste caso, dada a demanda constante por alimento inelástica, os preços tendem a subir.

No entanto, não existe ainda qualquer discussão conclusiva sobre o quanto de aumento dos preços dos alimentos pode ser atribuído aos biocombustíveis e estimativas podem variar amplamente, dependendo dos períodos de tempo que os preços são considerados (exportação, importação, comércio) e os diferentes produtos alimentares abrangidos.

Ao certo, existem outros fatores determinísticos que têm levado ao aumento nos preços dos alimentos. O crescente e contínuo aumento da importação de alimentos e de oleaginosas para ração animal na China, secas persistentes em algumas regiões da Austrália e do Brasil, redução da produção doméstica na Europa.

3.3.2. – Aceleração do Desmatamento

A aceleração do desmatamento é também uma contínua fonte de preocupações dos “grupos verdes”. O aumento continuado da produção de etanol pode levar a derrubada de coberturas florestais, sobretudo em áreas onde não existe uma fiscalização eficaz. Malásia, Indonésia, China e os países da América do Sul, podem abrir clareiras em reservas florestais e áreas de preservação ambiental para ampliarem o cultivo de plantas oleaginosas ou espaços destinados ao cultivo da cana ou milho. Os “cientistas verdes” alertam para algumas precauções para que os biocombustíveis salvem o planeta do aquecimento global mas prejudique outras áreas e setores específicos. O *National Resources Defense Council*, entidade americana que apoia o uso do etanol, estima que até 2050 a produção de etanol deva atingir cerca de 370 bilhões de litros. Este aumento explosivo deve ser orientado por políticas públicas para evitar o desmatamento ou provocar a substituição de culturas plantadas.

3.3.3 – Disponibilidade de Terras

A produção de cana-de-açúcar no Brasil cresceu mais de 60% entre 1990 e 2005. Esta expansão se deu com 34% no aumento da área plantada e o restante com ganho de produtividade da terra. A cana utiliza hoje em torno de 6 milhões de hectares. O emprego da terra, entretanto, é significativamente menor do que a soja por exemplo, que utiliza em torno de 23 milhões. Os dados de utilização da terra mostram que a pressão exercida pela cana sobre o uso da terra tem sido bastante limitada.

A expansão da cana tem se concentrado na região Centro-Sul, destacando-se o Estado de São Paulo, responsável por 60% da quantidade produzida de cana-de-açúcar do país e 87% da região Sudeste. No Centro-Oeste, atual fronteira agrícola do país, e mesmo em algumas regiões do Sudeste ainda há potencial de expansão para essa cultura. Ou seja, esta área não geraria qualquer efeito deslocamento, seja da pecuária, seja de outras culturas e também não provocaria avanço sobre áreas de proteção. Segundo dados da UNICA (2007), a cana

utiliza hoje menos de 1% do território nacional e menos de 10% da área destinada à agricultura.

Da área destinada à produção de cana, cerca de 55% é destinada para a produção de etanol e 45% para o açúcar. Pode-se dizer que a produção dos 18 bilhões de litros de etanol no país utiliza 3 milhões de hectares. Os programas anunciados de adição de álcool anidro a gasolina da seção anterior, proverá ao mercado internacional, um potencial em torno de 20 bilhões de litros de etanol à gasolina, ou seja, o que requereria o dobro da terra que se utiliza hoje. Esta preocupação tem levado vários críticos a questionarem a disponibilidade de terra, ao impacto sobre o preço dos alimentos e sobre o preço da terra, entre outras questões, decorrentes da expansão do “*mar de cana*”.

Como existe terra disponível no país, a cana exercerá uma baixa concorrência com outras culturas e gerará, portanto, um pequeno impacto no preço dos outros produtos, não devendo ocorrer um “*efeito tortilla*”²⁶, semelhante ao ocorrido nos EUA com o uso do milho para a produção do etanol. Em outros países, a agricultura voltada para a energia também deverá concorrer com outras culturas, como é o caso da China e da Índia. No Brasil, por enquanto, existe ampla disponibilidade de terras que resultará em menor concorrência com outras culturas. Esta se dará nas áreas próximas do estado de São Paulo que poderá resultar no maior afastamento de determinadas culturas.

Além disto, existem amplas áreas utilizadas para a produção de gado que se encontram em fase avançada de degradação. Diante das modernas tecnologias, a pastagem é atualmente um modo pouco produtivo utilizado pela atividade pecuária para produzir derivados de animais. A utilização de técnicas intensivas poderia liberar espaços significativos de terras que seriam capazes de servir a outras culturas, inclusive a cana.

3.3.4 – Impacto nos Preços

²⁶ O crescimento da produção de etanol nos EUA resultou no significativo aumento do preço do milho.

O desequilíbrio entre a demanda e a oferta de biocombustíveis pode repercutir nos preços do produto no mercado internacional. Aumentos expressivos pelo lado da oferta podem reduzir o preço do etanol no mercado, assim como a elevação da procura pode dar ao etanol, preços bastante desfavoráveis ao seu consumo. Como exemplo, segundo o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA *apud* ANP, 2008), em 2008 houve no Brasil um aumento formidável da safra de cana-de-açúcar acima do esperado, apesar da demanda aquecida. O resultado provocou redução dos preços, especialmente em regiões onde o custo-benefício do etanol é maior.

Mas o governo criou artificios de influência direta, na intenção de intervir e amortecer essas variações bruscas ocorridas entre agregados econômicos. Como referido antes, parte da gasolina vendida possui um percentual que varia entre 20 e 25% de etanol em sua mistura. Em possíveis choques de oferta, o governo determina o aumento do percentual na composição da gasolina vendida, enquanto o choque da procura estabelece exatamente o oposto.

A demanda, entretanto, não é única variável determinante dos preços do etanol. Fatores como a taxa de inflação e o câmbio também podem causar fortes impactos no preço dos biocombustíveis.

Além disto, os preços do etanol no mercado internacional estão diretamente associados ao preço do açúcar. Mas embora essa associação ainda predomina, os preços do etanol tenderão a se associar mais aos derivados do petróleo do que aos preços do açúcar.

CONCLUSÃO

Esta dissertação buscou estudar o desenvolvimento dos biocombustíveis como fonte de energia limpa e renovável, alternativa aos combustíveis fósseis.

O processo de industrialização das economias capitalistas e o crescimento populacional exponencial geraram nos últimos anos um forte impacto ambiental negativo, evidenciando um possível conflito entre crescimento econômico e preservação do meio ambiente.

Este *trade-off* é flexibilizado à medida que aumenta a consciência ecológica por parte das empresas, ao perceberem que podem também gerar mais lucros e ficarem mais competitivas, incluindo preocupações ambientais em suas estratégias empresariais, através da adoção de tecnologias ambientais, implantação de sistema de gestão ambiental, racionalização do uso dos recursos naturais entre diversas iniciativas.

Quando as empresas não agem em prol do meio ambiente é conveniente a criação de mecanismos que incentivem a regulação ou induzam a um comportamento adequado a padrões preestabelecidos.

A crescente preocupação em relação ao desenvolvimento sustentável vem pouco a pouco resultando em ações concretas para preservar de forma mais efetiva os preciosos recursos naturais, deixando-os disponíveis para as gerações futuras.

Isto acontece em todos os setores, inclusive na indústria automobilística. O setor passou por um processo de profundas mudanças incrementais e radicais que historicamente, consolidaram os combustíveis fósseis como fonte energética. Atualmente, mudanças nesta indústria podem proporcionar pela primeira vez na história, o rompimento secular entre a indústria dos carros e a indústria do petróleo.

Apesar da histórica predominância do petróleo como combustível para os meios de transporte, na atualidade fontes alternativas como os biocombustíveis vêm apresentando

evidentes potencialidades. Em especial, o etanol já é uma realidade como fonte de energia no Brasil e no mundo, e o biodiesel começa a seguir os seus passos.

Vários países têm demonstrado interesse em produzir os biocombustíveis. Entretanto, seus altos custos ainda são considerados um forte entrave a sua produção e viabilidade econômica. Embora esses custos tendem a serem reduzidos à medida que novas soluções tecnológicas são encontradas e com a ampliação da escala produtiva entre suas plantas produtivas.

Talvez não seja fácil reproduzir a mesma redução de custos ocorrida no Brasil em países da África ou Ásia, devido a custos mais elevados e menor produtividade de fatores como a terra, trabalho e instalações. Entretanto, a pressão sobre um combustível mais sustentável e o preço do petróleo deve ainda prevalecer, e algumas outras culturas devem ainda produzir etanol à base de beterraba, trigo e outras culturas, mesmo em pequena escala.

Apesar da inexistência de viabilidade econômica em alguns projetos, estima-se que a demanda mundial por biocombustíveis crescerá a taxas relativamente elevadas no futuro. As pressões exercidas pela conscientização ambiental crescente, novos aparatos institucionais com o intuito de conter o aquecimento global e os temores de uma possível escassez do petróleo, tendem a beneficiar a demanda mundial de suas matérias-primas.

O Brasil está em posição de destaque no contexto internacional no que diz respeito tanto à produção dos biocombustíveis, quanto à disseminação da utilização do combustível renovável em sua frota de veículos de passeio. Isto se deve a uma combinação de fatores, desde a disponibilidade de terras, clima favorável, conhecimento produtivo adquirido, preços competitivos e uma demanda interna crescente.

O país ainda possui vantagens comparativas inigualáveis, que o insere como principal expoente desses combustíveis alternativos. Sua ampla disponibilidade de terras, clima favorável, conhecimento já adquirido (com a produção do etanol) e produção competitiva, dão elementos adequados para permitir a disseminação da atividade entre as diversas regiões do país, podendo recuperar a dívida do desenvolvimento regional de maneira

singular. A entrada do biodiesel é ainda mais promissora e o seu papel de inserção social pode desencadear um efeito multiplicador a partir da geração de renda para a agricultura familiar.

REFERÊNCIAS

1. ANDRADE, T. **Inovação Tecnológica e Meio Ambiente: A construção de Novos Enfoques**. Rio de Janeiro: Ambiente & Sociedade – Vol. VII n.º. 1 jan./jun. 2004.
2. ANFAVEA – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. **Anuário da Indústria Automobilística 2007**.
3. ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Qualidade dos combustíveis**. 2008. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/index.asp>. Acesso em: junho de 2008.
4. ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Anuário estatístico da indústria brasileira do petróleo e gás natural**. Rio de Janeiro. 2003. Disponível em: www.anp.gov.br/conheca/apresenta.asp?id=1 Acesso em: 31 janeiro 2009.
5. AZEVEDO, P. F.. Organização industrial. In: **Manual de Economia – equipe de professores da USP**. 5ª edição, 2004.
6. BACHA, C. J C; SHIKIDA, P. **Notas sobre o modelo schumpeteriano e suas principais correntes de pensamento**. Passo Fundo: v.5, n.10, 1998. Disponível em http://www.upf.br/cepeac/download/rev_n10_1998_art6.pdf. Acesso em 12 de abril de 2008.
7. BALDWIN, R. E. **Desenvolvimento e Crescimento Econômico**. São Paulo, Ed. Pioneira, 1979.
8. BEST - Bioethanol for Sustainable Transport. **A sustainable biofuels consensus**. Disponível em: <http://www.best-europe.org/>. Acesso em: março de 2008.

9. BODIESELBR.COM. Disponível em:
<http://www.biodieselbr.com/biodiesel/glicerina/biodiesel-glicerina.htm> Acessado em 20 de maio de 2008.
10. BLACK, E. **Internal Combustion**. How corporations and governments addicted the world to oil and derailed the alternatives. 2006. Disponível em:
<http://www.edwinblack.com/> Acesso em: abril de 2008.
11. BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável**. Organização BNDES e CGEE – Rio de Janeiro. 1ª ed., 2008.
12. BORGES, C. M. **Energia, Capitalismo inclusivo e Desenvolvimento Sustentável: chaves para a quebra de um paradigma**. São Paulo: Dissertação de Mestrado, USP, 2007.
13. BRAGATTO, C. G. **Geração Energética e Processos Tecnológicos Sustentáveis: Impasses e Alternativas para Brasil**. Vitória: UFES. Dissertação de Mestrado, 2002.
14. BRASIL. **Decreto 19.717, Obrigatoriedade da adição de álcool à gasolina de procedência estrangeira**. Rio de Janeiro, 20 de fevereiro de 1931.
15. BRASIL. Lei nº 11.097, de 13 de setembro de 2005.
16. BRASIL. **Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional - BEN**. Brasília: MME, 2006.
17. BRASIL. **O futuro da indústria: biodiesel**. coletânea de artigos / coordenadores José Rincon Ferreira, Carlos Manuel Pedrosa Neves Cristo. Brasília: MDIC, 2006.

- Brasileira, O petróleo: uma história de ganância, dinheiro e poder. São Paulo: Ed. Scritta, 1993.
18. BURKETT, P. **Marx and Nature**. A red and green perspective. Nova York: Ed. Saint Martin, 1999.
 19. CAMPANHOLA, C. **Biocombustível, oportunidade para o agronegócio brasileiro**. São Paulo: Valor Econômico, 2004.
 20. CARIO, S. A. F. **Contribuição do paradigma microdinâmico neo-schumpeteriano à teoria contemporânea**. Florianópolis: Textos de Economia, UFSC, 1995.
 21. CARSON, I., VIJAV, V. **ZOOM: A corrida global para abastecer o carro do futuro**. Ed. Landscape, 2008.
 22. CASOTTI, B.; P. GOLDENSTEIN, M. **Panorama do Setor Automotivo: As Mudanças Estruturais da Indústria e as Perspectivas para o Brasil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro: BNDES, n. 28, p. 147-188, 2008.
 23. CASTELLS, M. **A sociedade em rede**. São Paulo: Ed. Paz e Terra, 2º Ed., 1999.
 24. COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: Ed. da Fundação Getúlio Vargas, 1991.
 25. DALCOMUNI, S. M. **Dynamic Capabilities for cleaner production innovation: the case of the market exports pulp in Brazil**. 1997. Dphil Thesis. SPRU, University of Sussex, Brighton, 1997.

26. DALCOMUNI, S. M. **Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente**. Seminário Internacional. Martins, Paulo R. (coord). Associação Editorial Humanitas, São Paulo, 2005.
27. DALCOMUNI, S. M. **Sistemas setoriais de inovação: abordagem tecnológica da firma numa perspectiva evolucionista**. Trabalho apresentado do Seminário Internacional: A situação atual da microeconomia – uma perspectiva metodológica, Curitiba, outubro, 2000.
28. DOSI, G. **Technical change and industrial transformation: the theory**. Londres: Ed. Mamillan, 1984.
29. DOSI, G.; ORSENIGO, L. **Coordination and transformation: an overview**. In: DOSI, G. et al. *Technical change and economic theory*. London: Pinter, 1984.
30. DRUCK, Maria da Graça. **Fordismo e/ou Japonismo**. Revista de Economia Política, v. 19, n. 2, abril, Junho 1999.
31. EMBRAPA. Dados sobre a produção de Cana e Biodiesel Disponível em: <http://www.embrapa.br/>. Acesso em: 12 janeiro de 2009.
32. EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Perspectiva para o etanol no Brasil**. TOLMASQUIN M., T., (Coord.). MME, 2008.
33. EUROPEAN BIODIESEL BOARD. Disponível em <http://www.ebb-eu.org/stats.php>. Acessado em 01 de fevereiro de 2009.
34. FREEMAN, C. **Formal Scientific and technical institutions**: In: Lundval, National systems of innovations. Londres: Ed. Pinter, 1992.
35. FREEMAN, C., SOETE, L. **The economics of industrial innovation**. The MIT Press, 1997, 3ª Ed., 470 p.

36. GOLDENSTEIN, M. & AZEVEDO, R. L. S. **Combustíveis alternativos e inovações no setor automotivo: será o fim da era do petróleo?**. Rio de Janeiro, BNDES Setorial, n.º 23, 2006.
37. GOLDENSTEIN, M. & CASOTTI, B. **O novo ciclo de investimentos do setor automotivo brasileiro**. Rio de Janeiro, BNDES Setorial, 2008.
38. GRAMSCI, Antônio. **Maquiavel, a Política e o Estado Moderno**. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1976.
39. GRASSI, R. A. **Cooperação Inter-Firmas, Inovações e Coordenação Contratual: Uma Análise a Partir da Noção de Concorrência Schumpeteriana**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ (Tese de Doutorado), 2001.
40. HARVEY, David. **A Condição Pós-Moderna**. São Paulo: Ed. Loyola, 1992.
41. HEWLETT, S. A **Dilemas do Desenvolvimento**. Rio de Janeiro, ZAHAR, 1981, p. 15. Disponível em http://www.iea.org/Textbase/publications/free_new_Desc.asp?PUBS_ID=2046 Acessado em 20 de janeiro de 2009.
42. HUNT E. K. **História do Pensamento Econômico**. Rio de Janeiro: Campus, 1985.
43. IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Proconve – Programa de Controle das Emissões Veiculares**. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2006. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/proconve>. Acesso em: novembro de 2008.

44. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Banco de Dados Agregados. **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acessado em: 20 de novembro de 2008.
45. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2002 e 2004** Disponíveis em <http://www.ibge.gov.br> . Acessado em 23 de setembro de 2008.
46. IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **BIOENERGY: Gaps in the research of 2nd generation transportation biofuels**. Energy Systems Analysis, Task 41, Projeto 2, 2008. Disponível em <http://www.ieabioenergy.com/LibItem.aspx?id=5955> Acessado em 20 de janeiro de 2009.
47. IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Biofuels for transport: an international perspective**. Paris: 2004. Disponível em <http://www.iea.org> Acesso em 14 e outubro de 2008.
48. IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Deploying renewables – principles for effective policies**. 2008. Disponível em <http://www.iea.org> Acesso em 14 e outubro de 2008.
49. IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Potential contribution of bioenergy to the world's future energy demand**. Paris: International Energy Agency, 2007. Disponível em www.ieabioenergy.com Acesso em 11 de outubro de 2008.
50. IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook**. Paris: International Energy Agency, 2007.
51. IPCC - INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGES. **Climate change 4th Assessment Report – mitigation**, Intergovernmental Panel: 2007.

52. IPCC – INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGES. **Impacts, adaptation and Vulnerability.** Synthesis Report: Climate Change, 2001.
53. KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas.** 5. Ed. São Paulo: Perspectiva, 2000.
54. LASTRES, H. M. M.; ALBAGLI, S. **Informação e globalização na era do conhecimento.** Rio de Janeiro: Campus, 1999.
55. MAY, P., LUSTOSA, C. e VINHA, V. (Org.). **Economia do Meio Ambiente - teoria e prática.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2002.
56. MCT – MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Mudanças climáticas.** Ministério de Ciência e Tecnologia, 2008. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/3881.html>. Acesso em 16 de março de 2008.
57. MEADOWS, D; RANDERS, J. **Limites do crescimento: a atualização de 30 anos.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2007.
58. MILONE, P. C. **Noções de Desenvolvimento Econômico.** Manual de Introdução a Economia, Equipe dos Professores da USP. São Paulo: Ed. Saraiva, 1987.
59. NAE – NÚCLEO DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS. Governo Federal, Cadernos Nae – Biocombustíveis. 2004. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/secom/nae/base.htm> Acesso em: setembro 2008.
60. NELSON, R. R.; WINTER, S. G. **An evolutionary theory of economic change.** Cambridge: Harvard University Press, 1982. 437 p.

61. OECD. **Economic assessment of biofuel support policies**. Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris: 2008. Disponível em <http://www.oecd.org/tad/bioenergy>. Acesso em 20 de janeiro de 2009.
62. OECD. **Agricultural Market Impacts of Future Growth in the production of biofuels**. OECD, Paris, 2004.
63. PALMEIRA, J. N., TENÓRIO, F. G. **Flexibilização organizacional: aplicação de um modelo de produtividade total**. Rio de Janeiro: FGV, 2002.
64. PENTEADO, H. **Ecoeconomia – uma nova abordagem**. São Paulo: Editora Lazuli, 2005.
65. PORTAL DO BIODIESEL. Dados Gerais. Disponível em: <http://www.biodiesel.gov.br/>. Acesso em: 15 de outubro de 2008.
66. PORTER, M. E., LINDE, C. V. **Verde e competitivo**. In: PORTER, Michael E. **Competição: estratégias competitivas essenciais**. 10 ed. Rio de Janeiro: Campus, 1999. p. 371-397.
67. POSSAS, M. L. **Economia Evolucionária Neo-Schumpeteriana: elementos para uma integração Micro-Macrodinâmica**. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados da USP. Texto para discussão, 2007.
68. POSSAS, M. L. **Eficiência seletiva: uma perspectiva neo-schumpeteriana evolucionária sobre questões econômicas normativas**. Revista de Economia Política, vol. 24, n. 1 (93), p.73-94, 2004.
69. PRB, **World Population Data Sheet. Demographic Data and Estimates for the Countries and the Regions of the World**. Population Reference Bureau, USA, 2008.

70. PROCANA. **Conheça o setor: dados da safra 2006/07**. Disponível em: <http://www.jornalcana.com.br/Conteúdo> Acesso em 16 de março de 2008.
71. PROTOCOLO DE QUIOTO: **A convenção sobre a mudança no clima**. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia. Disponível em <http://www.mct.gov.br/clima/quioto/protocol.htm>. Acesso em: 15 de dezembro de 2008.
72. RESENDE, A. et al. **Consórcio modular: o novo paradigma do modelo de produção**. Apresentado no “XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção”, Curitiba, 23-25 de outubro de 2002.
73. RFA – RENEWABLE FUELS ASSOCIATION. **Annual Industry Outlook 2008**. Renewable Fuels Association 2008. Disponível em: <http://www.ethanolrfa.org>. Acesso em 22 de fevereiro de 2008.
74. SACHS, I. **Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2002.
75. SACHS, I. **Desenvolvimento: incluyente, sustentável, sustentado**. Rio de Janeiro: Ed. Garamond, 2000.
76. SANDRONI, P. **Novo Dicionário de Economia**. São Paulo: Ed. Best Seller, 2005.
77. SANTOS, A.. BIANCHI, A. **Além do Cânon: Mão Invisível, ordem natural e instituições**. Estudos Econômicos, vol.37 no.3. São Paulo: 2007.
78. SCHUMPETER, J. A. **A Teoria do Desenvolvimento Econômico: Uma Investigação Sobre Lucros, Capital, Crédito, Juro e o Ciclo Econômico**. São Paulo, Abril Cultural, 1982.

79. SCHUMPETER, J. A. **Capitalismo, socialismo e democracia**. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1984.
80. SEBRAE. **Cartilha sobre o Biodiesel**. Disponível em <http://www.sebrae.com.br> Acessado em 18 de julho de 2008.
81. SIMS R E H. **Biofuels, the good the bad and the unusual**. Renewable Energy World, 2008. Disponível em: <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/reinsider/story?id=52328>
82. SINDIPEÇAS – SINDICATO NACIONAL DE COMPONENTES PARA VEÍCULOS AUTOMOTORES. **Desempenho do Setor de Autopeças 2007**.
83. SMITH, A. **A riqueza das nações: investigação sobre sua natureza e suas causas**. São Paulo: Civita, 1983.
84. SOUZA, F. R. **O impacto do petróleo na política energética mundial**. Rio de Janeiro: Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia, UFRJ, 2006.
85. STIGLITZ, J. E. **Globalização e seus Descontrastes**. São Paulo: Ed. Futura, 2º Ed., 2002.
86. TAVARES V., Paulino, et al. **Economia Neoshumpeteriana: expoentes evolucionários e desafios endógenos da indústria brasileira**. Uberlândia: Revista de Economia-ensaios, UFU. Vol. 19, No. 3, Dez. 2005. Disponível em: <http://www.ie.ufu.br/revista/default.asp>. Acesso em 01 de janeiro de 2009.
87. TEREOS. **Bio-ethanol**. Disponível em: <http://www.tereos.com> Acesso em: maio de 2008.
88. TIGRE. P. B. **Paradigmas Tecnológicos e Teorias Econômicas da Firma**. Rio de Janeiro: Revista de Economia Contemporânea, 2005.

89. TIGRE, P. B. **Paradigmas Tecnológicos**. Rio de Janeiro: ECEX, UFRJ, 1997.
90. TOYOTA. **Support for diversification of alternative fuels**. Toyota Technology, 2007. Disponível em: <http://www.toyota.co.jp/en/tech/environment/powertrain/>
Acesso em 01 novembro de 2007.
91. UN-ENERGY. **Sustainable bioenergy: a framework for decision makers**. Nova York: United.
92. UNICA – UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Produção e uso do etanol combustível no Brasil: respostas às questões mais frequentes**. São Paulo: União da Indústria de Cana-de-Açúcar, 2007.
93. UNITED NATIONS. **Biofuels & Developing Countries**. Disponível em: <http://esa.un.org/un-energy/pdf/susdev.Biofuels.FAO.pdf>. New York, 2000. Acesso em 14 de maio de 2008.
94. UNITED NATIONS. **World Population Prospects**. Acessado em 11 de janeiro de 2008. Disponível em : <http://esa.un.org/unpp>.
95. USDOE, 2008. **Biomass program biofuels initiative**. Disponível em http://www1.eere.energy.gov/biomass/biofuels_initiative.html. Acesso em 16 de julho de 2008.
96. VERCELLI, A. **Methodological Foundations of Macroeconomics: Keynes and Lucas**. Cambridge: Cambridge University Press, 1991.
97. WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D. **A Máquina que mudou o mundo**. Rio de Janeiro: 2002.

98. YERGIN, D. **O petróleo: uma história de ganância, dinheiro e poder.** São Paulo, Ed. Scritta, 1990.