Quim. Nova, Vol. 32, No. 3, 757-767, 2009

ENERGIA, MEIO AMBIENTE E ECONOMIA: O BRASIL NO CONTEXTO MUNDIAL

Flavio Maron Vichi*
Instituto de Química, Universidade de São Paulo, Av. Prof. Lineu Prestes, 748, 05508-900 São Paulo – SP, Brasil
Maria Teresa Castilho Mansor
Secretaria de Estado do Meio Ambiente de São Paulo, Av. Prof. Frederico Hermann Jr, 345, 05489-900 São Paulo – SP, Brasil

Recebido em 24/1/09; aceito em 30/3/09; publicado na web em 2/4/09

ENERGY, ENVIRONMENT AND ECONOMY: BRAZIL IN THE WORLD CONTEXT. The cycle of fossil fuels as an energy source for mankind is approaching its end. Finite resources, coupled with greenhouse gas, have led to an increased effort in the search for alternative renewable energy sources. Brazil has a leading position, due to a 46% participation of renewable sources in its primary energy supply, compared to the global average of 12%. The expansion of the renewable sources in Brazil depends on medium and long term planning, and a large volume of investments. The present financial crisis will have major effects in the energy market. Despite a negative initial impact, it is expected that the rearrangement of the financial system will ultimately lead to an expansion in the use of renewable energy sources. Brazil is a tropical country, with the largest biodiversity in our planet and excellent conditions to expand the use of all forms of renewable sources.

Keywords: energy; environment; renewable resources.

INTRODUÇÃO

O panorama mundial está mudando rapidamente, por motivos ligados a três das grandes preocupações da humanidade nesse início de século: meio ambiente, energia e economia global. Embora à primeira vista possam parecer distintas, estas três áreas estão, na realidade, completamente interligadas. As duas primeiras estão já há mais tempo na percepção do cidadão comum, devido ao efeito estufa e ao aquecimento global associado ao uso de combustíveis fósseis. Quanto à economia, só o tempo dirá quais os efeitos permanentes que esta crise no sistema financeiro internacional terá sobre o setor energético e, mais difícil de se prever, sobre o meio ambiente. A única coisa certeza é de que os três setores serão permanentemente afetados.

O sistema financeiro não pode ser ignorado. Para se ter uma idéia, o presidente George Bush anunciou em 2006, com grande pompa, um aporte de 1 bilhão de dólares para pesquisas em fontes alternativas de energia, com ênfase no hidrogênio. Estima-se que a crise do sistema financeiro vá consumir algo em torno de 3 trilhões de dólares. A guerra no Iraque já custou aos cofres estadunidenses um valor superior a 500 bilhões de dólares.

Não importa qual a saída adotada, ela necessariamente terá que passar por uma mudança radical na matriz energética mundial, com forte aumento da participação das fontes renováveis.

Neste contexto, o Brasil se destaca dos demais países por um motivo bem simples: a matriz brasileira já é cerca de 46% renovável, comparada à média mundial de 12%.[1]

O Brasil tem, portanto, uma oportunidade ímpar de se firmar como um dos líderes mundiais no setor de energia. Impulsionado por seu gigantesco potencial hídrico e contando com um forte programa de combustíveis alternativos capitaneado pelo etanol, o país sai na frente dos demais. Por outro lado, não podemos desprezar as novas reservas de petróleo recentemente descobertas no litoral brasileiro. Mas, para se manter na frente, serão necessários recursos, muitos recursos: manutenção dos sistemas atuais, modernização dos sistemas e, principalmente, pesquisa e desenvolvimento são algumas das prioridades.

É difícil que o setor público consiga arcar sozinho com estas despesas e uma interação com o setor privado se torna cada vez mais necessária e fundamental. Até a crise no sistema financeiro, o setor energético contava com forte capacidade de investimento em pesquisa e desenvolvimento, e o setor acadêmico, com boa parte dos cérebros. O casamento não só seria natural, como desejável.

Esta contribuição pretende, de forma sucinta, resumir o panorama mundial, contextualizar o Brasil neste panorama e avaliar quais seriam as alternativas mais adequadas a este contexto. Quanto às fontes renováveis de energia, dedicaremos nossa atenção às alternativas já implementadas em maior escala: energia hidráulica, biomassa, energias solar e eólica. As fontes alternativas que ainda se encontram em fase de desenvolvimento, ou que ainda têm aplicação em escala menor (hidrogênio e células a combustível, por exemplo), não serão abordadas aqui.

Algumas questões serão levantadas: como está o setor energético no Brasil? Quais são as fontes renováveis propostas? Quais os efeitos da crise do sistema financeiro sobre o setor energético? Qual é o papel dos químicos neste panorama? Não iremos detalhar os processos de obtenção de energia, mas sim dar uma idéia, principalmente aos graduandos e pós-graduandos, além do público leigo em geral, dos desafios que esperam aqueles que decidirem se aventurar nesta área extremamente complexa e igualmente fascinante.

A IMPORTÂNCIA DOS QUÍMICOS NA QUESTÃO ENERGÉTICA

Para os químicos, o cenário que se desenha para um futuro a curto, médio e longo prazo é o de um significativo aumento de participação, seja no desenvolvimento de novas técnicas e processos, seja no processo decisório.

Duas das áreas de maior desenvolvimento na química atual são a Química Verde (também conhecida como Química Sustentável) e a Química Ambiental, ambas de importância fundamental na transição para uma matriz energética mais renovável e menos poluidora.

Resumidamente, a Química Verde surgiu no início da década de 1990, quando a Agência Ambiental Estadunidense US-EPA (*United States Environmental Protection Agency*) lançou o programa "Rotas

*e-mail: fmvichi@iq.usp.br

Sintéticas Alternativas para Prevenção de Poluição", que foi seguido em 1995 pela instituição da premiação *The Presidential Green Chemistry Challenge*. Um histórico do nascimento da Química Verde, bem como um detalhamento de seus princípios, pode ser encontrado no interessante artigo de Lenardão e colaboradores, além do site da US-EPA[2,3] na internet.

De maneira bastante resumida, a Química Verde consiste de produtos e processos químicos projetados de modo a reduzir ou eliminar impactos ambientais negativos. O uso e a produção destes produtos devem envolver a redução da geração de resíduos, o uso de componentes atóxicos e um aumento na eficiência global. A abordagem é bastante efetiva, pois aplica soluções científicas inovadoras a situações reais. Os 12 Princípios da Química Verde, originalmente descritos por Anastas e Warner, servem como parâmetro de sua implementação pelos químicos.[4] Estes 12 princípios são:[3] 1. prevenção - projetar as sínteses de modo a evitar a geração de resíduos, que depois deverão ser tratados; 2. uso de reagentes menos tóxicos - projetar o uso de produtos químicos totalmente efetivos, embora com baixa ou nenhuma toxicidade; 3. sínteses menos nocivas - projetar sínteses de modo a utilizar e gerar substâncias com baixa ou nenhuma toxicidade para os humanos e o meio ambiente; 4. uso de matéria-prima renovável - usar materiais brutos e matérias-primas renováveis, em vez de esgotar recursos. A matéria-prima renovável muitas vezes envolve o uso de produtos agrícolas ou resíduos de outros processos; a matéria prima não-renovável vem de combustíveis fósseis ou da mineração; 5. uso de catalisadores e não reagentes estequiométricos - minimizar os resíduos através do uso de catalisadores, que são usados em quantidades mínimas, podendo ser reutilizados muitas vezes. São preferíveis a reações estequiométricas, onde há frequentemente excesso de reagentes e geração de resíduos; 6. evitar o uso de derivados - evitar o uso de grupos protetores ou bloqueadores ou, ainda, quaisquer modificações temporárias, quando possível. Os derivados requerem reagentes adicionais e geram resíduos; 7. economia de átomos - projetar as sínteses de forma que o produto final contenha a maior proporção possível dos materiais de partida. Deve haver poucos ou nenhum átomo desperdiçado; 8. uso de solventes e condições de reação mais seguros - evitar o uso de solventes, agentes de separação ou outros produtos químicos auxiliares. Caso seja necessário, use produtos inócuos; 9. aumentar a eficiência energética - realizar as reações químicas em temperatura e pressão ambientes sempre que possível; 10. projetar reagentes e produtos degradáveis após o uso - projetar os produtos químicos de modo que possam ser degradados em substâncias inócuas após seu uso, de modo a não haver acúmulo no meio ambiente; 11. análise em tempo real para evitar a poluição - incluir o monitoramento dos processos em tempo real, dentro do processo, para evitar ou eliminar a formação de produtos secundários nocivos; 12. minimizar o potencial de acidentes - projetar os produtos e suas formas (sólido, líquido ou gás) de modo a minimizar o potencial de acidentes químicos, incluindo explosões, incêndios ou derramamentos no meio ambiente.

Neste contexto, podemos imaginar alguns pontos adicionais mais relacionados à questão energética, onde a participação de químicos e bioquímicos será de importância fundamental: a) projeto e criação de vegetais que tenham maior eficiência fotossintética (por exemplo, microalgas) e sua introdução na matriz energética; b) projeto e criação de vegetais mais resistentes a pragas ; c) desenvolvimento de defensivos agrícolas biodegradáveis; d) desenvolvimento de tecnologias nacionais avançadas para biorrefinarias; e) melhoria na eficiência de bioprocessos; f) introdução de novos catalisadores, de preferência biocatalisadores, que não dependam do uso de metais pesados e de alto custo; g) avanço na tecnologia de produção e armazenamento de hidrogênio, seja pela eletrólise, seja pelo uso da luz solar; h) investimento no potencial da biodiversidade brasileira, mais especificamente a oleoquímica e a etanol-química, visando atingir uma matriz mais rentável do que simplesmente a substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis.

Até aqui já citamos algumas vezes a matriz energética. Mas o que seria isso?

Matriz energética

A matriz energética consiste, numa definição simplificada, de uma descrição de toda a produção e consumo de energia de um país, discriminada por fonte de produção e setores de consumo.[1] A matriz pode ser tão detalhada quanto se deseje. No Brasil, a descrição disponível mais detalhada que se tem é o Balanço Energético Nacional (BEN), que é elaborado anualmente pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), sendo publicado pelo Ministério da Minas e Energia (MME). É um documento bastante completo, publicado regularmente desde 1970, sendo amplamente utilizado tanto pelo governo quanto pelo setor privado para suas atividades de planejamento e investimento.

A elaboração de um balanço energético é uma atividade bastante complexa, que exige um alto grau de cooperação por parte dos agentes participantes (governos, empresas e agentes informantes). Como exemplo, tomemos uma fábrica de suco de laranja que produz 800 L de suco por dia. Na fábrica, queima-se óleo combustível numa caldeira e o vapor resultante é utilizado no processo industrial. O processo também utiliza energia elétrica. Tanto o óleo combustível como a eletricidade são adquiridos de empresas distribuidoras. Vamos supor que o consumo diário da caldeira seja de 4200 kJ de energia na forma de óleo combustível e 840 kJ de eletricidade. O balanço energético do processo nos dirá que, em termos de consumo final, se gastam 5040 kJ de energia. Quanto ao consumo específico, temos 4200+840/800 = 6,3 kJ/L de suco. No BEN, este consumo é classificado como consumo final no setor de alimentos.

O exemplo acima é extremamente simplificado, mas mostra que a confiabilidade do balanço depende dos valores informados tanto pela fábrica quanto pelas companhias distribuidoras. Se imaginarmos que cálculos semelhantes devem ser feitos para todos os processos que consomem energia no país, podemos ter uma idéia do grau de complexidade que a tarefa pode atingir.

Ainda em relação a este exemplo, destacamos que o balanço considera apenas o consumo energético dentro da fábrica. O gasto de energia para o transporte da matéria-prima (no caso, as laranjas e o próprio óleo combustível) até a fábrica e para o transporte do produto resultante até o consumidor final não é incluído nesta fase do balanço, pois irá aparecer em outra fase, a dos gastos de energia com transporte.

A matriz energética brasileira

Para se ter uma idéia da complexidade que a matriz energética pode atingir, basta que se observe que a matriz energética brasileira de 2007 pode ser *resumida* em uma planilha de 57 colunas e 185 linhas!

Define-se a matriz energética como sendo a oferta interna de energia (OIE) discriminada quanto às fontes e setores de consumo. A OIE é, às vezes, chamada de demanda total de energia (DTE). As unidades mais usadas são caloria, joule e btu para o poder calorífico e kWh (quilowatt-hora) para eletricidade. Também é comum encontrarmos a tonelada equivalente de petróleo (tep), que nos dá a energia consumida em termos de uma massa equivalente de petróleo. Considera-se que 1 kg de petróleo equivale a 10.000 kcal, ou seja, aproximadamente 42.000 kJ. Quanto à eletricidade, é útil ter em mente que 1 kWh é a energia necessária para manter acesas 10 lâmpadas de 100 W durante 1 h o que, em termos de energia, equivale a 3,6 kJ.

A Figura 1 mostra a oferta interna de energia no Brasil em 2007.[5] O valor total foi de 238,8 milhões de tep, o que representa um

aumento de 5,5% em relação a 2006, e que equivale a 2% de toda a energia produzida no mundo. Um dado interessante é a OIE *per capita*, que no Brasil foi de 1,29 tep/habitante. Este valor fica abaixo da média mundial (1,8 tep) e é cerca de 3,6 vezes menor que a média dos países da OECD (*Organisation for Economic Cooperation and Development* – Organização Para Cooperação Econômica e Desenvolvimento), constituída majoritariamente por países ricos.[6] Devemos ressaltar que um fator que contribui significativamente para este baixo consumo *per capita* no Brasil e a inexistência de sistemas de calefação na quase totalidade das residências no país. Entretanto, esta tendência vem sendo compensada de forma crescente pela instalação cada vez mais comum de sistemas de refrigeração em residências e no setor comercial.

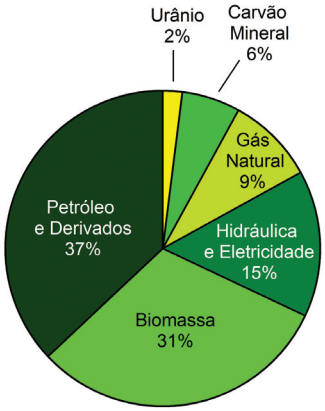

Figura 1. *Oferta interna de energia (OIE) no Brasil em 2007*

Com relação ao crescimento da economia, que foi de 5,4% em 2007,[7] pode-se considerar que não houve expansão significativa da oferta de energia. O forte crescimento da economia (e, portanto, da demanda de energia) em 2007 foi puxado por setores exportadores, especialmente aqueles que consomem mais energia como, por exemplo, os de metalurgia, papel e celulose e sucroalcooleiro. Soma-se a isto um forte crescimento do setor interno de bens e serviços. Uma boa noticia é que o aumento da demanda se deu, principalmente, com um maior crescimento do uso de fontes renováveis (+ 7,6%) em relação às fontes não renováveis (petróleo e derivados, gás natural, carvão mineral e urânio, crescimento de 3,7%). Assim, a energia renovável atingiu 45,9% da matriz brasileira em 2007, colocando o país numa posição invejável e única entre os países de maior consumo no mundo.

Na matriz de 2007, destaca-se o etanol, cuja produção teve um crescimento de 27% em relação a 2006, atingindo um total de 389 mil barris/dia. O consumo também teve expressivo crescimento (29%). De fato, em 2007 os derivados de cana ultrapassaram pela primeira vez na história a energia hidráulica e a eletricidade na oferta interna de energia no país.

Outro dado interessante foi a participação do bagaço de cana, que é utilizado como fonte térmica principalmente nos setores energético (nas próprias destilarias) e na indústria de alimentos. O crescimento do consumo de bagaço foi de 11% em 2007.

Dois fatores principais são apontados pelos especialistas para explicar o forte crescimento dos derivados de cana na OIE: a entrada em operação de unidades industriais mais modernas e eficientes e o aprimoramento das variedades de cana, com maior teor de açúcar.

Oferta de energia no mundo

A Figura 2 mostra a oferta de energia no mundo, discriminada por setores. Na Tabela 1 temos uma comparação entre o Brasil, os países da OECD e o resto do planeta. Nota-se um grande contraste entre as participações da biomassa e da energia hidráulica entre o Brasil e os demais países. Enquanto o Brasil tem 31,1% de participação da biomassa e 14,9% de participação da energia hidráulica, no mundo estes valores caem para 10,5 e 2,2%, respectivamente.

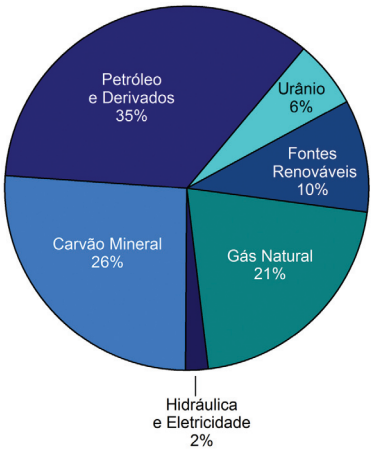

Figura 2. *Oferta de energia no mundo em 2007, discriminada por setores*

Tabela 1. Comparação da participação de diversas fontes de energia: Brasil, OECD e mundo

Fonte	Brasil	OECD	Mundo
Petróleo (%)	37,4	40,6	35,0
Biomassa (%)	31,1	4,2	10,5
Hidráulica (%)	14,9	2,0	2,2
Carvão Mineral (%)	6,0	20,4	25,3
Gás Natural (%)	9,3	21,8	20,7
Urânio (%)	1,4	11,0	6,3
Milhões de tep	226,1	5.506	11.435
Renováveis (%)	45,1	6,2	12,7

Fonte: Balanço Energético Nacional 2007

Estes dados mostram a posição única que o Brasil ocupa no mundo. O país está, para as fontes renováveis, como a Arábia Saudita, por exemplo, está para o petróleo.

Reservas e recursos

Quanto às reservas finitas e recursos, o Conselho Mundial de Energia (*World Energy Council*) recomenda que se faça uma distinção entre *recursos localizados* e *recursos recuperáveis*, e entre *recursos comprovados* e *recursos adicionais* (ou seja, não comprovados).[8] Outras agências e entidades governamentais podem utilizar outras definições. Passamos a seguir a descrever resumidamente a situação atual das principais fontes de energia no mundo.

Recursos não-renováveis

Carvão

O carvão mineral foi o primeiro combustível fóssil a ser usado em larga escala e ainda ocupa uma posição de destaque no cenário mundial. Na verdade, trata-se da fonte de energia com maior crescimento nos últimos anos.

Embora seja tradicionalmente considerado um "combustível sujo", devido às emissões de gases, novas técnicas de utilização "limpa" do carvão vêm fazendo com que esta fonte seja considerada

uma matriz energética mais limpa: entre estas técnicas, podemos citar a conversão de carvão em combustíveis líquidos,[9,10] o uso de ciclos integrados de gaseificação combinada (IGCC)[11,12] e a recuperação e utilização de metano das minas de carvão,[8] além das técnicas de captura e armazenamento de carbono.[13,14]

A utilização de carvão no Brasil é praticamente restrita aos processos industriais, com grande predomínio do setor siderúrgico. Este processo exige a utilização de carvão de grau metalúrgico, que é importado em sua totalidade. Na geração de eletricidade, utiliza-se o chamado carvão vapor, produzido no país. Em 2007, verificou-se uma forte expansão da produção de aço, que resultou em um crescimento de 10% na importação de carvão metalúrgico. O uso do carvão na produção de eletricidade teve queda de 7,7% em relação a 2006.[2]

A Tabela 2 mostra a evolução da utilização do carvão mineral no Brasil, em três momentos distintos: 1973, 1986 e 2007. Dois fatores chamam a atenção: o crescimento do uso pelo setor siderúrgico e a redução em uma ordem de grandeza das perdas, devido, principalmente, à introdução de caldeiras mais modernas. Nota-se também que o setor de cimento, que não utilizava carvão em 1973 e teve forte crescimento até 1986, está deixando de usar esta fonte em favor do gás natural.

Tabela 2. Evolução do uso de carvão mineral por setor no Brasil

Setor (%)	1973	1986	2007	Variação 1973-2007 (%)
Ferro-Gusa e Aço	59	57	69	+17
Geração Elétrica	20	14	15	–33
Outros Usos	12	12	14	+16
Cimento	0	11	1	–
Perdas	10	6	1	–90
Milhões de tep	2,5	10,1	14,4	+576

Fonte: Balanço Energético Nacional 2007

Gás natural

Desde 1980, as reservas comprovadas de gás natural (GN) têm crescido a uma taxa de 3,4% ao ano. Para efeito de comparação, as reservas de petróleo crescem 2,4% ao ano. O volume das reservas comprovadas dobrou neste período, devido principalmente a sucessos exploratórios e novas técnicas de avaliação de alguns campos existentes.[11] Segundo estimativas, as reservas atuais são suficientes para 56 anos de produção nos níveis de 2005.

Aproximadamente 44% das reservas comprovadas se encontram em cerca de vinte megacampos e campos supergigantes, entre os quais destaca-se o maior deles, o campo não associado a petróleo ao largo da costa do Iraque e do Qatar.[8]

Entretanto, quando se trata das estimativas das reservas recuperáveis de GN, não há consenso quanto ao valor exato. Os dados compilados pelo Conselho Mundial de Energia apresentam uma dispersão de ± 4,5% ao redor do valor de 177 trilhões de m^3.[8] Quanto ao gás ainda não descoberto, a quantidade tem sido subestimada, segundo os especialistas. A exploração de GN está em estágio menos desenvolvido que a do petróleo, e muitos campos ainda não foram totalmente mapeados. Além disso, novos depósitos associados a leitos de carvão (*coal-bed methane*) e outras fontes não-convencionais (por exemplo, o hidrato de metano) ainda são muito pouco explorados.

Segundo o CEDIGAZ, Centro Internacional de Informações da Indústria do Gás, as reservas atuais são suficientes para 130 anos se o consumo for mantido nos patamares atuais.[15]

No Brasil, a produção de GN foi de 50 milhões de m^3/dia em 2007, com um crescimento de 2,5% em relação a 2006. As reservas comprovadas tiveram aumento de 5% em relação ao ano anterior.

O consumo de GN no Brasil se dá basicamente nos setores industrial e energético, mas a utilização no setor de transportes vem aumentando bastante nos últimos anos. A estrutura de consumo de GN no país está apresentada na Tabela 3 para três momentos: 1973, 2000 e 2007.

Tabela 3. Evolução do uso de gás natural por setor no Brasil

Setor	1973 (%)	2000 (%)	2007 (%)
Industrial	12	55	53
Setor Energético	49	29	23
Transporte	0	4	15
Não-energético	39	10	5
Comercial e público	0	4	2
Residencial	0	1	1

Fonte: Balanço Energético Nacional 2007

Destacam-se o grande crescimento nos setores industrial e de transporte, onde o gás tem substituído o óleo combustível e os combustíveis derivados de petróleo, respectivamente. O Brasil, porém, tem enfrentado alguns problemas no fornecimento de GN devido a instabilidades políticas na Bolívia, um de seus principais fornecedores, o que tem levado a flutuações de preço indesejáveis, que afetam principalmente o setor industrial.

Petróleo

As reservas comprovadas de petróleo, avaliadas pelo Conselho Mundial de Energia e pela *British Petroleum* (BP),[8,16] ainda são suficientes para permitir uma base de consumo de médio prazo. Segundo dados do Conselho (muito próximos aos da BP), com base nas informações dos países membros, as reservas mundiais eram, ao final de 2005, de 1.238 trilhões de barris (160 bilhões de toneladas), cerca de 117 bbl acima dos valores ao final de 2002. A localização das reservas comprovadas pode ser vista na Tabela 4.[12]

Além destas reservas, há, segundo algumas estimativas otimistas, a possibilidade de recuperação de 244 bilhões de toneladas adicionais, ou seja, um valor 52% superior às reservas comprovadas atuais.[17]

Entretanto, espera-se um aumento do consumo de petróleo durante os próximos 30 anos, de 85 milhões de barris/dia em 2006 para 118 milhões de barris/dia em 2030.[18,19] Além disso, o pico de produção de petróleo deverá ocorrer entre 2010 e 2020.[20] Trata-se de uma combinação perigosa, e, atualmente, já atingimos o está-

Tabela 4. Localização das reservas comprovadas de petróleo. Adaptado da ref. 15.

Região	Reservas (trilhões de barris)	Participação (%)
Oriente Médio	755,3	61,0
Europa e Eurásia	143,7	11,6
África	117,5	9,5
América do Sul e Central	111,2	9,0
América do Norte	69,3	5,6
Ásia/Pacífico	40,8	3,3
Total	1237,8	100

Fonte: BP Annual Satistical Review 2008

gio em que sete dos dez maiores consumidores de petróleo não produzem petróleo suficiente para suprir suas demandas. Cria-se o problema, cada vez mais grave, da "segurança energética".[21] O preço do barril de petróleo saltou de US$ 25 em 2000 para US$ 140 em junho de 2008, logo antes da crise do sistema financeiro mundial que atravessamos atualmente (Figura 3). Em 15/01/09, o preço havia caído a US$ 36,[22] como reflexo da crise, mas espera-se uma retomada dos preços à medida que a crise for sendo superada. A OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo) anunciou recentemente que espera uma queda de 0,2% (equivalente a 18 milhões de barris/dia) na demanda por petróleo em 2009, como reflexo da crise econômica.[23]

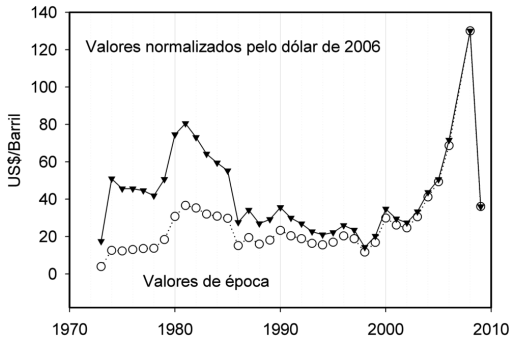

Figura 3. *Evolução do preço do petróleo em dólares da época e dólares atuais*

No Brasil, os dados sobre a produção de petróleo são associados à produção de gás natural liquefeito (GNL). Em 2007, a produção total de petróleo e GNL sofreu ligeira redução (0,4%) em relação a 2006, pois, embora tenha havido aumento na produção de petróleo, observou-se uma redução no processamento de gás natural. Em 2007, pela primeira vez, o país teve saldo positivo na balança comercial referente aos derivados de petróleo, devido principalmente ao aumento da exportação de gasolina (37% em relação a 2006).[2]

O principal produto derivado de petróleo consumido no país é o óleo diesel, fruto da estrutura de transporte de cargas, fortemente dependente do setor rodoviário. Em 2007, houve crescimento de 6% no consumo de óleo diesel.

O Brasil é um país de dimensões continentais, que não possui grandes acidentes naturais, sendo, portanto, talhado para o transporte ferroviário. As razões que levaram o país a optar pelo transporte rodoviário de cargas, em detrimento do transporte ferroviário são eminentemente políticas e fogem ao escopo deste trabalho. Entretanto, a transição para uma matriz energética mais eficiente e menos dependente dos combustíveis fósseis passa necessariamente por uma revisão deste modelo de transporte de cargas. Se considerarmos que aproximadamente 95% do combustível de um automóvel ou caminhão são gastos para colocar o veículo em movimento e nas retomadas de velocidade, a superioridade do transporte ferroviário sobre o rodoviário fica ainda mais evidente. A estrutura do consumo de derivados de petróleo no Brasil é mostrada na Figura 4.

Quanto às reservas de petróleo, as novas descobertas feitas pela Petrobras nos últimos dois anos na Bacia de Santos vêm sendo consideradas pelos especialistas como as maiores descobertas de petróleo no mundo em anos recentes. O campo de Tupi, com reservas de 5 a 8 bilhões de barris, ampliou em 60% as reservas comprovadas da empresa. O chamado petróleo do pré-sal é um petróleo de qualidade superior ao normalmente encontrado no país, já que sua fração de compostos leves é maior, o que facilita o refino. A companhia petrolífera espanhola Repsol, que lidera um dos consórcios de exploração de petróleo na Bacia de Santos, anunciou em 15/01/09 a descoberta

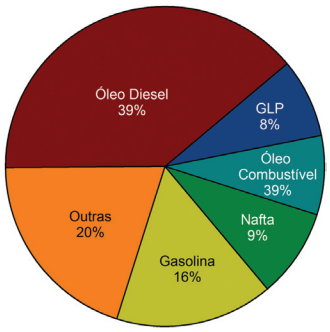

Figura 4. *Estrutura do consumo de derivados de petróleo no Brasil*

de hidrocarbonetos no campo Panoramix, a 129 km da costa paulista. Embora ainda não haja estimativas das reservas, tanto a Petrobras quanto a companhia inglesa BG Group anunciaram grandes investimentos na região: a companhia inglesa investirá US$ 4 bilhões e a Petrobras, embora não tenha divulgado o valor do investimento, pretende colocar nove plataformas novas em operação entre 2009 e 2013.[24] Assim, o Brasil passará, num futuro não tão distante, a utilizar este petróleo, aumentando significativamente a participação das fontes não renováveis na sua matriz energética.

Um outro ponto importante que deve ser destacado é que a necessidade de substituição do petróleo como fonte de energia não é apenas desejável sob o ponto de vista ambiental. Além da geração de energia, existem frações do petróleo que são de extrema importância como matéria- prima para a indústria química. Ao contrário do setor energético, ainda não há alternativas economicamente viáveis para a substituição do petróleo como insumo industrial. Lembramos que a "transformação" do petróleo em plásticos, para citar apenas um exemplo, não acarreta emissão de grandes quantidades de CO_2, uma vez que o carbono permanece fixo no produto final. O petróleo é um produto valioso demais para continuar sendo queimado em motores!

<u>*Urânio e energia nuclear*</u>

A utilização de energia nuclear na matriz energética é fonte de grandes controvérsias entre os especialistas. Enquanto alguns defendem a erradicação das usinas nucleares, outros, antes defensores desta tese, passaram a apontar a energia nuclear como a única fonte de energia capaz de evitar as mudanças climáticas catastróficas que se anunciam, como resultado do aquecimento global provocado pela emissão de gases causadores do efeito estufa (GEE). Entre estes novos defensores da energia nuclear estão Patrick Moore,[25] fundador da organização de defesa ambiental *Greenpeace* e James Lovelock,[26] criador da hipótese de Gaia, segundo a qual a Terra é um organismo autoregulado.

As reservas mundiais comprovadas de urânio cresceram 4% entre 2003 e 2005, chegando a 3,3 milhões de toneladas de urânio recuperável a um custo inferior a US$ 130/kgU. Além do urânio, as reservas de tório, um elemento três vezes mais abundante que o urânio na crosta terrestre, são de 4,5 milhões de toneladas, uma estimativa conservadora, já que as reservas têm sido exploradas de forma bastante limitada.[27,28]

A Tabela 5 mostra a produção mundial de urânio, que foi de 41.700 toneladas em 2005, sendo que onze países respondem por 97% deste total. Os maiores produtores são o Canadá, a Austrália e o Cazaquistão.

O principal fator que limita a expansão da energia nuclear atualmente é a produção de combustível menor que a demanda, o que vem ocorrendo desde a década de 1990. Mas isto se deve não à falta de reservas, e sim às poucas instalações para mineração e enriquecimento. Esta demanda vem sendo gradativamente suprida por uma série de fontes secundárias: desmontagem de armamentos dos arsenais dos

Tabela 5. Principais produtores de urânio no mundo em 2007

País	Produção (ton)
1. Canadá	9476
2. Austrália	8611
3. Cazaquistão	6637
4. Rússia	3413
5. Níger	3453
6. Namíbia	2879
7. Uzbequistão	2320
8. Estados Unidos	1654
9. Ucrânia	846
10. China	712
11. África do Sul	539
12. Republica Tcheca	306
13. Brasil	299

Estados Unidos e dos países da antiga União Soviética, diminuição dos estoques militares, reprocessamento de combustível nuclear usado e reciclagem de urânio para produção de urânio reprocessado.[8]

Em 2007 havia 435 usinas nucleares em operação no mundo, gerando um total de 367 GW. Vários países modernizaram suas usinas, resultando em um aumento médio de eficiência da ordem de 20%.

A energia nuclear é mais segura do que muitos imaginam, sendo que apenas um acidente grave – Chernobyl – ocorreu em mais de 12.400 anos-reator acumulados em todo o mundo. O acidente de Three Mile Island em 1979 não pode ser considerado grave. Afinal, a estrutura de confinamento funcionou exatamente como se esperava, impedindo o vazamento de radiação para o ambiente. As ogivas lançadas sobre Hiroshima e Nagasaki em 1945, e obras como o filme "Síndrome da China" (1979), contribuíram para criar uma imagem distorcida da segurança da energia nuclear. Há, porém, questões preocupantes relativas ao uso da energia nuclear:

- *Os resíduos são perigosos*: passados 40 anos, a radioatividade dos resíduos cai a um milésimo do valor que tinha ao ser removido do reator. E o termo *resíduo* talvez não seja o mais adequado, já que 95% da energia potencial permanece no combustível depois do primeiro ciclo.[29] Em 2006, os Estados Unidos suspenderam a proibição da reciclagem de combustível nuclear, o que permitirá sua reutilização, reduzindo significativamente a quantidade de resíduo gerado nas usinas. Há alguns anos a França, o Reino Unido e a Rússia vêm reciclando seu combustível nuclear, e em 2006 o Japão se juntou a eles.
- *O combustível nuclear pode ser desviado para a produção de armamentos:* de fato, esta é uma questão muito séria, que deve ser tratada nas mais altas esferas políticas dos países produtores. Ainda assim, não acreditamos que este seja motivo para banir completamente o uso da energia nuclear para fins pacíficos. Trata-se de um caso em que os benefícios superam em muito os riscos, e onde o desenvolvimento tecnológico pode desempenhar um papel importante. O Japão introduziu recentemente técnicas de reprocessamento em que o plutônio jamais é separado do urânio, tornando muito difícil a utilização de material civil na produção de armamentos.

Seja qual for a estratégia adotada, o incremento no uso da energia nuclear passa necessariamente pela cooperação internacional, com a priorização de uma agenda diplomática na qual este assunto seja tratado da maneira muito abrangente e cuidadosa. Afinal, os carros bomba usados por terroristas são geralmente feitos com materiais bastante simples e disponíveis a qualquer cidadão: óleo diesel, fertilizante e carros!

Recursos renováveis ou perpétuos

Energia geotérmica

A energia geotérmica é, numa definição bastante simples, o calor natural da terra.[30] A exploração desta fonte de energia pode ser feita de duas maneiras: a primeira, é o uso direto do calor transferido por condução a partir do interior da Terra até regiões específicas próximas à superfície e a segunda, a utilização de bombas de calor que se aproveitam da diferença de temperatura entre o ambiente e o solo. Os sistemas de exploração direta do calor geotérmico estão restritos às regiões de fronteira entre as placas tectônicas como, por exemplo no "anel de fogo" do Pacífico e na Islândia.

No Brasil, a energia geotérmica é usada quase que exclusivamente para fins de recreação, em parques de fontes termais, como Caldas Novas (GO), Piratuba (SC), Araxá (MG), Olímpia, Águas de Lindóia e Águas de São Pedro (SP).

Energia hidráulica

A energia hidráulica, ou hidrelétrica, é uma das maiores das fontes perpétuas ou renováveis de energia, correspondendo, em 2006, a 17% de todas as fontes renováveis de energia no mundo.[5,8]

A energia hidráulica é explorada em mais de 160 países, mas somente cinco (Brasil, Canadá, China, Rússia e Estados Unidos) são responsáveis por mais da metade da produção mundial. A geração atingiu 3,1 TWh em 2006,[2] correspondendo a aproximadamente 20% do potencial economicamente explorável. Atualmente, a capacidade instalada é de 882 GW, com um potencial estimado em 15.900 TWh.

Dados sobre o potencial de geração de energia hidráulica, a capacidade instalada e a geração efetiva são apresentados na Tabela 6. Nota-se um grande contraste entre o Oriente Médio e a África em relação às demais regiões. No primeiro caso, devido à abundância de combustíveis fósseis e limitação dos recursos hídricos e, no caso africano, devido a uma combinação infeliz de abundância de combustíveis fósseis em algumas regiões, limitação dos recursos hídricos em algumas regiões, e, o que é mais grave, uma falta generalizada de recursos para investimento na construção de usinas hidrelétricas de médio e grande porte.

Tabela 6. Energia Hidráulica: participação das diferentes regiões do mundo, em termos de potencial de geração, capacidade instalada e energia gerada.

Região	Potencial (%)	Capacidade Instalada (%)	Geração (%)
América do Sul	18,1	14,5	20,0
Ásia Pacífico	32,5	26,8	26,5
África	12,1	3,1	3,1
Oriente Médio e Oceania	2,0	0,6	0,6
Europa	17,2	31,9	27,7
América do Norte e Central	18,1	23,0	21,7

Fonte: Balanço Energético Nacional 2007

Um dado interessante quando se fala em expansão das fontes renováveis de energia no mundo é a enorme capacidade de ampliação do parque hidrelétrico, que pode ser feita de duas maneiras: a primeira é a modernização e expansão das usinas existentes. Até 2030, a grande maioria das usinas hidrelétricas do mundo deverá passar por processos de modernização e ampliação, onde for possível.[8] A segunda maneira de ampliar a geração de energia hidráulica é a instalação de geradores em represas onde não há geração de energia. Existem no

mundo cerca de 45.000 represas de grande porte e, a maioria delas, não conta com geradores de eletricidade.

Em termos econômicos, a energia hidráulica apresenta vantagens importantes: os custos operacionais são baixíssimos em comparação com o investimento inicial. Além disso, a independência em relação aos combustíveis fósseis torna esta fonte praticamente insensível às flutuações do preço do petróleo. O mesmo não pode ser dito, por exemplo, do etanol, que depende de insumos (fertilizantes, transporte etc.) influenciados pelo preço das *commodities*.

Como desvantagens, pode-se citar o custo elevado de implementação das usinas, se comparado a outras fontes, o tempo relativamente longo entre a concessão e a entrada em operação e a dependência de um regime regular de chuvas, além do forte impacto socioambiental causado pela inundação de grandes áreas, com o consequente deslocamento de comunidades inteiras e a destruição do habitat natural de espécies nativas e endêmicas.

Os maiores desafios no setor hidráulico são a modernização das instalações existentes e, principalmente, o desenvolvimento de um modelo de financiamento para o setor.

No Brasil, a participação da energia hidráulica chega a 14,9% da matriz energética total, e corresponde a 85% da eletricidade gerada. A Tabela 7 mostra a evolução da participação desta fonte na oferta de energia elétrica em três momentos: 1970, 1994 a 2007. A redução entre 1994 e 2007 deve-se principalmente ao aumento da participação dos autoprodutores independentes, que vêm utilizando a biomassa, principalmente o bagaço de cana, na geração de eletricidade, além da entrada em operação de usinas termelétricas movidas a gás natural e nucleares.

Tabela 7. Evolução da oferta de energia elétrica no Brasil

Setor	1970 (%)	1994 (%)	2007 (%)
Hidráulica	87	94	85
Urânio	0	0	3
Gás Natural	0	0	3
Carvão Mineral	3	2	1
Derivados de Petróleo	8	2	3
Outras	2	2	5

Fonte: Balanço Energético Nacional 2007

O Brasil ocupa uma posição única no mundo, contrastando fortemente com a predominância da energia elétrica oriunda da queima de combustíveis fósseis no resto do planeta. Este contraste é mostrado na Figura 5.[2,31] Em termos de geração de eletricidade, a participação das fontes renováveis atinge 90% no Brasil, contra 16% dos países da OECD e 18% no mundo.

A geração de eletricidade chegou a 445 TWh em 2007, um aumento de 6% em relação a 2006. A participação da energia hidráulica cresceu 7% e a geração a partir de combustíveis não renováveis caiu 9% em 2007 (−12,3% na energia nuclear e −18,6% na energia gerada a partir do gás natural). O resultado foi um ligeiro aumento na participação das fontes renováveis no setor elétrico. O país importou pouco mais de 41 TWh de eletricidade da Argentina e do Paraguai, de modo que a oferta total chegou a 486 TWh.

O Brasil é atualmente o terceiro maior produtor de energia hidráulica do mundo, ficando atrás apenas da China e do Canadá.[32] Em termos de capacidade teórica, o potencial passa de 3000 TWh/ano, dos quais 800 TWh são atualmente economicamente viáveis.[8]

A energia hidráulica não é, entretanto, livre de riscos. Temos ainda na memória o racionamento de eletricidade decretado em junho de 2001, causado pela quantidade de chuvas muito abaixo do normal no

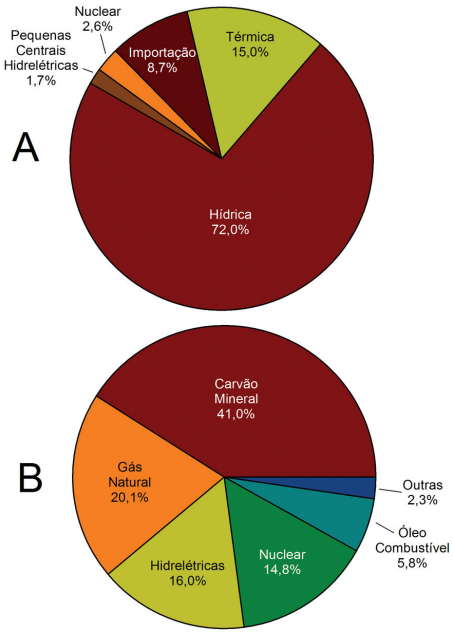

Figura 5. *Uma comparação entre a oferta de energia elétrica no Brasil (A) e no mundo (B)*

biênio 2000-2001. Os motivos que levaram ao racionamento, além da falta de chuvas, são complexos e fogem ao escopo desta contribuição, mas dão uma medida dos riscos associados a uma matriz energética com grande predominância de uma única fonte, ainda que renovável e ambientalmente correta.[33]

A Tabela 8 mostra o nível dos principais dos reservatórios do país nas duas primeiras semanas de janeiro de 2009. Para efeito de comparação, listamos também os valores em janeiro de 2008 e em junho de 2001, no início do racionamento.[34] Percebe-se que a situação atual é bem menos crítica que no início do racionamento, principalmente nas regiões sudeste e nordeste, as mais afetadas em 2001, devido aos índices pluviométricos do verão 2008/2009, que se encontram bastante acima da média histórica.

Tabela 8. Comparação entre o nível dos reservatórios do Brasil em 2009, 2008 e 2001

Região	Nível (%)		
	Janeiro 2009	Janeiro 2008	Junho 2001
Sudeste/ Centro-Oeste	58,8	50,8	28,6
Sul	65,9	63,3	92,8
Norte	38,1	30,0	70,7
Nordeste	53,2	30,6	24,6

Fonte: ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico)

Ainda assim, diversos especialistas afirmam que o país não está livre do risco de um novo racionamento, já que, mesmo com os reservatórios em nível elevado, o crescimento econômico do país tem levado a um forte aumento da demanda.[35] Há, no momento, 13 usinas de médio e grande porte licitadas que estão em construção há mais de 5 anos, e o histórico de atrasos nos cronogramas não garante o abastecimento após 2010. Para entrar em operação, uma usina hidrelétrica precisa obter as licenças prévia, de instalação e de operação, concedidas pelo Ministério do Meio Ambiente. Observa-se uma falta de coordenação entre as áreas do governo no setor energético, o que pode demandar um período de tempo variável, que nem sempre está de acordo com as previsões do Ministério do Planejamento, por exemplo. O resultado

é que a capacidade real instalada não corresponde necessariamente à prevista. Este descompasso poderia ser abrandado se o governo realizasse avaliações ambientais estratégicas (AAE) – estudo do impacto ambiental de políticas, planos e programas – do setor energético.

Com a demora na concessão de licenças ambientais para a construção de hidrelétricas, o governo estuda colocar em funcionamento usinas termelétricas a gás e óleo combustível com capacidade somada de 20.800 MW até 2017, o que pode resultar em um aumento de até cinco vezes na emissão de CO_2 pelo país.[36]

Biocombustíveis: etanol e biodiesel

Os biocombustíveis são combustíveis renováveis derivados de matéria-prima biológica e incluem o bioetanol, ou simplesmente etanol, o biodiesel, o biogás (metano). Destes, o etanol é o biocombustível mais utilizado e cuja produção mais cresce no mundo, com um aumento de 4,4 bilhões de barris em 1980 para 46,2 bilhões de barris em 2005.[37] Os maiores produtores mundiais de etanol são Estados Unidos (16,1 bilhões de barris), Brasil (16 bilhões de barris) e China (3,8 bilhões de barris).[15] O etanol é produzido principalmente a partir da cana-de-açúcar (Brasil) e milho (EUA), embora possam ser usados outros insumos, incluindo gramíneas, resíduos da agricultura[38] e resíduos municipais.[39] Entretanto, apenas a produção a partir da cana-de-açúcar e do milho são economicamente viáveis atualmente, com grande vantagem para o processo a partir da cana, onde a etapa de conversão do amido em açúcares não é necessária.[40] Assim, o etanol brasileiro tem custo de produção menor, com potencial para redução de custos, à medida que as técnicas de produção são aprimoradas e que novas variedades de cana, mais ricas em açúcar, são introduzidas.[41,42] Devemos destacar, entretanto, que a produção de etanol a partir do milho é fortemente subsidiada nos Estados Unidos, o que evidencia ainda mais a competitividade do etanol brasileiro.

A produção mundial de biodiesel também teve forte crescimento entre 1991 (71 mil barris) e 2005 (3,9 bbl).[33] Os maiores produtores mundiais são Alemanha, França, Estados Unidos e Itália. A produção brasileira em 2007 foi de 2,3 milhões de barris.[8] O biodiesel pode ser produzido a partir de diferentes óleos vegetais (por exemplo, palma,[43] girassol,[44] algodão,[45] semente de colza,[46] soja e amendoim,[47] entre outros). Uma curiosidade é que Rudolf Diesel chegou a usar óleo de amendoim em motores diesel em 1900, tendo afirmado em 1911 que "O motor diesel pode ser alimentado com óleos vegetais e ajudaria consideravelmente no desenvolvimento da agricultura dos países que o utilizarem".[48]

Pode-se também produzir biodiesel a partir de gordura animal[49] e pelo reuso de óleo (proveniente de fritura); além disso, estudos recentes mostram que o biodiesel obtido a partir do óleo produzido por microalgas tem potencial para superar as demais matérias-primas, devido a seu alto rendimento.[50]

No Brasil, usa-se predominantemente o óleo de soja na produção de biodiesel, e a Lei Federal 11.097, de 2005, determina que se atinja um percentual de 5% de biodiesel no óleo diesel de petróleo até 2013.[51]

A Tabela 9 mostra a produção de etanol e biodiesel no Brasil em 2005.[8] Nota-se a grande parcela de produção de etanol na região sudeste (70%), principalmente no Estado de São Paulo, que concentra 133 das 300 usinas do Brasil.

O uso dos biocombustíveis pode levar a uma redução significativa nas emissões de gases causadores do efeito estufa (GEE),[15,37] conforme se pode ver na Figura 6, mas há questionamentos quanto aos possíveis danos ambientais. O aumento na produção de biocombustíveis deverá levar a grandes alterações nos padrões de uso do solo, com a conversão de áreas não plantadas, como florestas e cerrados, em área de cultivo.[52] Um estudo recente avaliou que um aumento de 75% na produção de etanol derivado do milho nos Estados Unidos até 2016 levaria a uma transição de 12,8 milhões de hectares (ha) de outras lavouras para a produção de milho. A consequente redução nas exportações de trigo dos EUA, por exemplo, poderia levar a uma expansão mundial da agricultura da ordem de 10,8 milhões de ha, sendo 2,8 milhões de ha somente no Brasil.[53,54] Os danos resultantes ao ecossistema podem ser bastante significativos, já que muitas destas lavouras são cultivadas em pontos de alta biodiversidade. Como exemplos, podemos citar a palma nas regiões de Sundaland, Wallacea e florestas da África Oriental e a soja e a cana-de-açúcar no cerrado brasileiro.[55]

Tabela 9. Produção de etanol (P.E.) e de biodiesel (P.B) no Brasil em 2007

Região	P.E. (10^3 m^3)	P.E. (%)	P.B. (10^3 m^3)	P.B. (%)
Sul	1923	8,5	43	11,5
Sudeste	15.782	70,0	36	9,7
Centro-Oeste	2.902	12,9	125	33,5
Norte	48	0,2	27	7,2
Nordeste	1902	8,4	143	38,3
Total	22.557	100	373	100

Fonte: Balanço Energético Nacional 2008

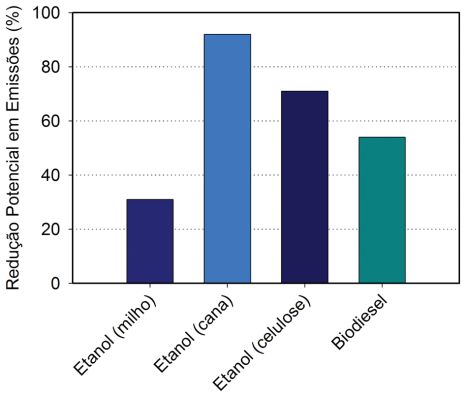

Figura 6. *Potencial na redução percentual da emissão de GEE pelo uso de biocombustíveis*

Existe ainda o potencial de elevação no preço global dos alimentos: no caso do milho, devido ao desvio para a produção de etanol; no caso da cana, devido à utilização de áreas antes cultivadas com alimentos.[56] No biênio 2007-2008 houve grande crescimento no preço de alimentos como trigo (130%), arroz (98%) e milho (38%).[57] Este crescimento não pode ser atribuído exclusivamente à questão dos biocombustíveis e vários fatores devem ser considerados, tais como adversidades climáticas (que podem ou não estar relacionadas ao aquecimento global), especulação, criação de estoques regulatórios preventivos e políticas equivocadas de embargo de alimentos.[52, 58]

A questão dos biocombustíveis é, portanto, bastante complexa, e não se pode simplesmente afirmar que devemos substituir totalmente o petróleo pelo etanol e o biodiesel, já que, como afirmamos anteriormente, existem frações valiosas do petróleo que não podem ser atualmente substituídas pelo uso de biocombustíveis de maneira economicamente viável.

Energia solar

O Sol é a fonte de energia primária mais abundante para nosso planeta. Num sentido bastante amplo, pode-se dizer que, com exceção

da energia nuclear, todas as outras fontes, renováveis ou não, são apenas diferentes formas de energia solar.

A quantidade de radiação solar que atinge o planeta anualmente equivale a 7.500 vezes o consumo de energia primária de sua população. A incidência de radiação varia conforme a posição geográfica, podendo atingir até 170 W/m^2.[8] A Figura 7 mostra um mapa mundial da energia solar média incidente ao nível do solo. Na Tabela 10 mostramos uma comparação entre a quantidade de energia solar incidente e outras fontes de energia.[8, 29, 59]

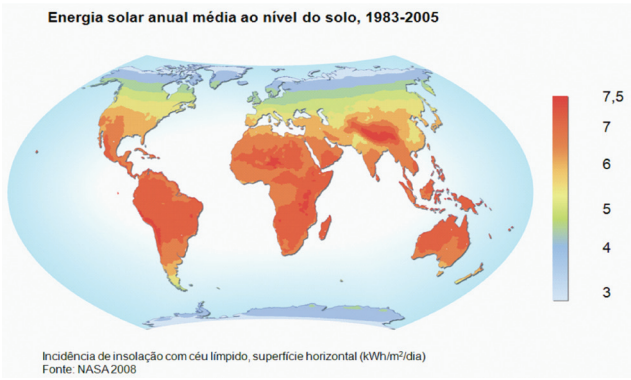

Figura 7. *Mapa da energia solar recebida ao nível do solo nas diferentes regiões da Terra. Valores em kWh/m^2/dia*

Tabela 10. Comparação entre o fluxo solar anual e outras fontes de energia. 1 EJ = 10^{18} J

Fonte	Energia (EJ)
Solar	3.400.000
Eólica	2.250
Biomassa	3.000
Uso total de energia primária (2005)	487
Eletricidade (2005)	57

Se apenas 0,1% da energia solar pudesse ser convertida com uma eficiência de 10%, ainda assim a energia gerada seria quatro vezes maior que a capacidade mundial total de geração de energia, que é de 3000 GW. A radiação solar que atinge anualmente a superfície da Terra, $3{,}4\times10^6$ EJ, é uma ordem de grandeza maior que a soma de todas as fontes não renováveis (provadas e estimadas), incluindo os combustíveis fósseis e nucleares.[8]

Além da utilização no aquecimento de água através de coletores solares, a energia solar pode ser usada para a geração de eletricidade através do uso de painéis fotovoltaicos, que convertem diretamente a energia solar em energia elétrica (energia solar fotovoltaica), ou pelo aquecimento de fluidos cujos vapores são usados para movimentar turbinas geradoras de eletricidade (energia solar térmica).[6,8]

No mundo, a demanda por painéis fotovoltaicos tem crescido a uma taxa de 35% ao ano. Isto fez com que o custo da energia solar fotovoltaica subisse recentemente, já que a indústria de *wafers* de silício não tem sido capaz de acompanhar a demanda. A produção anual de painéis fotovoltaicos atingiu 1700 MW em 2005, sendo o Japão, a União Européia e os Estados Unidos os principais produtores.[8]

No Brasil, a capacidade instalada é estimada entre 12 e 15 MW, igualmente divididos entre sistemas de telecomunicações e sistemas rurais remotos.[60] O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) é responsável pela medição do potencial de insolação em suas 187 estações de monitoramento.[61] Seus dados permitem concluir que a região nordeste tem o maior potencial, com valores médios de 206 W/m^2. De modo geral, o Brasil é um bom candidato à implementação de painéis fotovoltaicos, pois os valores anuais de insolação, entre 1800 kWh/m^2/ano[62] e 1950 kWh/m^2/ano são inferiores somente aos encontrados nas regiões desérticas das Américas do Norte e do Sul, norte da África, Oriente Médio, China e Austrália.[63] Há atualmente vários centros dedicados ao desenvolvimento e aplicação da energia solar no Brasil,[55] entre os quais destacamos o Centro de Referência em Energia Solar e Eólica Sergio Salvador de Brito (CRESESB),[64] ligado ao Centro de Pesquisas em Energia Elétrica (CEPEL) e o Centro Brasileiro Para o Desenvolvimento da Energia Solar Fotovoltaica (CB-Solar).[65]

Quanto à energia solar térmica, a capacidade instalada no mundo deverá atingir 3000 MW nos próximos anos, dos quais mais de 2000 MW estarão na Espanha, devido a uma conjunção de excelentes recursos solares e uma firme política governamental de incentivo.[8,66]

Não há no momento planos oficiais de instalação de usinas térmicas solares no Brasil, embora esta seja, em nossa opinião, uma alternativa extremamente interessante para diversificar a matriz renovável brasileira. Porém, os custos de implantação destas usinas ainda são elevados, fazendo com que o preço final da energia fique em torno de US$ 0,10 a 0,14/kWh, bastante acima, por exemplo, da energia hidráulica, que tem um custo de US$ 0,04/kWh.[8]

Energia eólica

O potencial eólico do planeta é enorme. Segundo estimativas do Conselho Mundial de Energia, se 1% da área terrestre fosse utilizada na geração de energia eólica, a capacidade mundial de geração seria equivalente ao total gerado através de todas as outras fontes.[8] A capacidade ao largo da costa é ainda maior, sendo que no caso da Europa, o potencial até 30 km da costa é suficiente para atender às necessidades energéticas atuais da União Européia.

A energia eólica é a fonte renovável que cresce mais rapidamente no mundo, sendo que a previsão da capacidade global para 2009 é de 128.046 MW (cenário de referência), com uma geração anual de 280 TWh, correspondendo a um crescimento de 12% em relação a 2008.[67] Para se ter uma idéia, os novos aerogeradores chegam a ter capacidades de 2 MW (em terra) e 5 MW (no mar), estes últimos com hélices de até 110 m de diâmetro. Para efeito de comparação, os primeiros aerogeradores, há cerca de 20-25 anos atrás, tinham capacidades de 50-100 kW, com hélices de 10 a 20 m de diâmetro.[27]

O desenvolvimento da energia eólica de forma ainda mais acelerada irá depender do nível de apoio governamental que, por sua vez, é bastante sensível às pressões da comunidade, mas esta é certamente uma das alternativas mais promissoras na atualidade.

No Brasil, o potencial eólico é de 143 GW, dos quais 30 GW poderiam ser efetivamente transformados em projetos a médio prazo.[59,68] A capacidade instalada atualmente é de 22 MW, gerando aproximadamente 54 GWh/ano, e as áreas mais adequadas à geração de energia eólica encontram-se no litoral do nordeste e norte, do Rio Grande do Norte até o Amapá, em áreas do interior da Bahia e de Minas Gerais, e no litoral do Rio Grande do Sul.[68, 69]

A CRISE ECONÔMICA E O SETOR ENERGÉTICO

A crise do sistema financeiro que atravessamos atualmente tem tido forte influência sobre quase todos os setores da sociedade e suas consequências, a longo prazo, ainda são de difícil previsão. Porém, o que temos visto num primeiro momento é preocupante: com a queda nos preços do petróleo de US$ 150 para US$ 30, as grandes companhias de petróleo têm deixado de investir em novas tecnologias.

Durante o Fórum Mundial de Energia do Futuro, em Abu Dhabi, de 19 a 21/01/09, o assunto foi debatido em diversas esferas. Vivienne Cox, diretora da Divisão de Energias Alternativas da *British Petroleum* afirmou que "Não há como negar que está cada vez mais difícil

conseguir financiamentos para os projetos de energia verde", e que "a empresa deverá fazer nova avaliação da situação em fevereiro".[70]

Segundo a empresa britânica de consultoria *New Energy Finance*, o valor das ações de companhias ligadas à energia verde, que vinha crescendo 50% ao ano nos últimos 3 anos, teve uma queda acentuada no segundo semestre de 2008.[71]

O governo russo precisou recentemente socorrer quatro grandes empresas do setor energético, com um pacote de US$ 9 bilhões, para que pudessem arcar com sua dívida externa. Estas empresas respondem, juntas, por 70% do petróleo e 90% do gás natural extraídos naquele país.[72] No Brasil, a empresa vencedora de recente leilão para a construção de seis usinas hidrelétricas, com capacidade total de 611 MW precisou desistir da empreitada por não conseguir crédito para depositar junto ao governo o montante necessário como garantia de construção das usinas.[73]

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE), responsável pelo Balanço Energético Nacional (BEN), anunciou recentemente que houve uma queda de 1,8% no consumo de energia elétrica no país em 2008, puxada pelo setor industrial. Uma queda desta magnitude não era observada desde o racionamento de 2001.[74] Um resultado disto é que o Comitê de Monitoramento do Sistema Elétrico (CMSE) anunciou em 09/01/2009 que todas as usinas termelétricas do país serão desligadas, à exceção de Angra I e II.[75]

Ainda assim, a Petrobras anunciou a manutenção de investimentos de US$ 174,4 bilhões até 2013, sendo US$ 92 bilhões na área de exploração e produção.[76]

Por outro lado, mesmo com o caos financeiro dos últimos meses de 2008, há, tanto na comunidade acadêmica quanto no meio empresarial, uma sensação de que chegou a hora das fontes renováveis, principalmente com as mudanças esperadas nos Estados Unidos, sob o governo de Barack Obama, iniciado em janeiro de 2009.

A impressão geral é que é tempo de mudanças: mudança de um sistema financeiro internacional totalmente desregulamentado que, deixado por si só, levou à comprovação da máxima que, no sistema capitalista, os lucros são de poucos e os prejuízos são divididos por todos, e mudança de uma matriz energética predominantemente poluente, insustentável a médio e longo prazo, que compromete o meio ambiente não apenas para as gerações futuras, mas também as atuais, para uma matriz mais renovável, limpa e sustentável.

CONCLUSÕES

As evidências de que o uso de combustíveis fósseis tem causado danos ambientais devido ao aquecimento global são irrefutáveis. A finitude dos recursos fósseis, aliada a estes danos ambientais, tem levado a humanidade a uma busca cada vez mais intensa por fontes de energia limpas e renováveis.

Neste panorama mundial em mutação, o Brasil larga em vantagem por ter grande parte de sua matriz energética baseada em fontes renováveis. Porém, exige-se uma diversificação cada vez maior da matriz energética, de modo a minimizar as chances de um novo racionamento de energia no país. O crescimento econômico recente e a descoberta de grandes reservas de petróleo e gás natural têm levado a um aumento da participação das fontes não renováveis na matriz energética do Brasil. Os impactos deste aumento deverão ser compensados pelo incremento no uso de fontes renováveis: biocombustíveis, pequenas centrais hidrelétricas (PCH) e energias solar e eólica, além do investimento em pesquisa e desenvolvimento de fontes renováveis ainda não consolidadas, como hidrogênio (células a combustível), biocombustíveis derivados de outras fontes, como algas, por exemplo, e energia solar fotovoltaica baseada em semicondutores diferentes do silício (TiO_2, ZnO e SnO_2, entre outros).

Os efeitos da crise do sistema financeiro mundial ainda são difíceis de se prever, já que a estrutura do sistema passará necessariamente por um rearranjo profundo nos próximos anos. Embora o efeito inicial sobre as fontes renováveis seja negativo, com a suspensão e cortes de investimentos no setor, a expectativa é de que nos próximos anos a situação seja revertida, com forte crescimento de investimentos em fontes renováveis, especialmente biomassa e energias solar e eólica.

Não há mais como evitar os efeitos causados por séculos de descaso com o meio ambiente. O que precisamos agora é encontrar, o quanto antes, e de maneira globalmente coordenada, formas de minimizar estes efeitos. Assim, esforços devem ser feitos em três grandes frentes: redução no uso de combustíveis fósseis; promoção das fontes renováveis de energia e, aumento na eficiência energética.

No contexto da transição para a energia verde, as oportunidades que se oferecem aos profissionais da química são imensas: implantação de processos mais eficientes; desenvolvimento de novos materiais inorgânicos e poliméricos; uso racional dos recursos finitos (petróleo e gás natural); substituição de insumos derivados do petróleo por derivados de fontes renováveis e, desenvolvimento de espécies mais resistentes às pragas e com maior produtividade, através da engenharia genética.

Como comentário final, gostaríamos de ressaltar que as áreas de energia, meio ambiente e, principalmente, economia, estão em constante mutação, e novas idéias, propostas e soluções são apresentadas a cada dia. Esperamos ter mostrado, especialmente para os alunos de graduação e pós-graduação nos cursos de química, que as oportunidades e desafios são inúmeras, e que certamente os químicos ocuparão lugar de destaque na transição obrigatória de um modelo não renovável para um modelo sustentável de produção, seja de energia, seja de insumos, seja de produtos acabados.

REFERÊNCIAS

1. Empresa de Pesquisa Energética (EPE); *Balanço Energético Nacional 2007 (BEN 2007),* Ministério das Minas e Energia; www.mme.gov.br, acessada em Janeiro 2009.
2. Lenardão, E. J.; Freitag, R. A.; Dabdoub, M. J.; Batista, A. C. F.; Silveira, C. C.; *Quim. Nova* **2003**, *26*, 123.
3. U.S. Environmental Protection Agency; *Green Chemistry*, http://www.epa.gov/gcc/, acessada em Fevereiro 2009.
4. Anastas, P. T.; Warner, J. C.; *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford University Press: New York, 1998.
5. Empresa de Pesquisa Energética (EPE); *Balanço Energético Nacional 2008 (BEN 2008),* Ministério das Minas e Energia; www.mme.gov.br, acessada em Janeiro 2009.
6. IEA; *2008 World Energy Outlook* OECD-IEA, International Energy Agency, Paris.
7. Brasil, Ministério da Fazenda; www.fazenda.gov.br, acessada em Janeiro 2009.
8. World Energy Council, *Survey of Energy Resources 2007,* www.worldenergy.org/documents/ser2007_final_online_version_1.pdf, acessada em Dezembro 2008.
9. Huber, M. L.; Lemmon, E. W.; Smith, B. L.; Bruno, T. J.; *Energy and Fuels* **2008,** *22,* 3249.
10. Lamprecht, D.; *Energy Fuels* **2007**, *21*, 1448.
11. Christou, C.; Hadjipaschalis, I.; Poullikas, A.; *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2008,** *12*, 2459.
12. Tzimas, E.; Starr, F.; Peteves, S. D.; "A large scale test facility for the production of hydrogen and electricity - The HYPOGEN Project", European Commission Joint Research Center, Institute for Energy, report EUR 21651EN, 2005.
13. Bachu, S.; *Progress in Energy and Combustion Science* **2008**, *34*, 254.
14. Cabral Craveiro, A.; Aragão Craveiro, A.; BR PI 200700075-A.
15. CEDIGAZ Satistics; www.cedigaz.org/, acessada em Janeiro 2009.
16. BP Statistical Review 2008; www.bp.com/, acessada em Janeiro 2009.

17. BGR Annual Report 2007: Petroleum. Federal Institute for Geosciences and Natural Resources, Hannover, Alemanha; www.bgr.bund.de/, acessada em Janeiro 2009.
18. Hester, A.; The Centre for International Governance Innovation, Waterloo, Ontario, Canada; www.cigionline.org, acessada em Janeiro 2009.
19. Koh, L. P.; Ghazoul, J.; *Biological Conservation* **2008**, *141*, 2450.
20. Kerr, R. A.; *Science* **1998**, *21*, 1128.
21. EIA-DOE; Official Energy Statistics from the US Government: Petroleum US Data. Energy Information Administration (EIA) – US Department of Energy (DOE), Washington, DC, USA; www.eia.doe.gov/emeu/international/contents.html, acessada em Janeiro 2009.
22. Bloomberg; www.bloomberg.com/energy/, acessada em Fevereiro 2009.
23. *Folha de São Paulo*, caderno Dinheiro; "Demanda por petróleo cairá 0,2% em 2009, diz Opep", 15/01/2009.
24. *Folha de São Paulo*, caderno Dinheiro; "Multinacional britânica irá investir US$ 4 bilhões no país", 13/01/2009; UOL Economia; "Apesar da crise, Petrobras colocará em operação nove plataformas entre 2009 e 2013"; www.economia.uol.com.br/ultnot/2009/01/02/ult4294u2071.jhtm, acessada em Janeiro 2009.
25. Moore, P.; "Going Nuclear: A Green Makes the Case", *Washington Post,* 16/04/2006.
26. Lovelock, J.; "Nuclear Power is the Only Solution", *The Independent*, 24/05/2004.
27. Herring, J. S. Em *Encyclopedia of Energy*; Cleveland, J. C.,ed.; Elsevier Inc., p. 267–278.
28. International Atomic Energy Agency (IAEA); *Uranium 2005: Resources, Production and Demand*; OECD Publishing; ISBN: 9789264024250.
29. Cohen, B. L.; *Am. J. Physics* **1983,** *51*, 75.
30. Mock, J. E.; Tester, J. W.; Wright, P. M.; *Annual Review of Energy and the Environment* **1997**, *22*, 305.
31. International Agency Energy; www.iea.org/, acessada em Janeiro 2009.
32. International Energy Agency (IEA); *World Energy Outlook 2006*, www.worldenergyoutlook.org, acessada em Janeiro 2009.
33. Vichi, F. M.; Mello, L. F. Em *Energia: Seu Uso e o Meio Ambiente;* 3ª ed., Thomson Learning: São Paulo, 2003, cap. 19.
34. NOS - Operador Nacional do Sistema Elétrico; www.ons.org.br/historico/energia_armazenada.aspx, acessada em Janeiro 2009.
35. *O Estado de São Paulo*; www.estado.com.br/editorias/2006/08/28/eco-1.93.4.20060828.27.1.xml, acessada em Janeiro 2009.
36. *O Estado de São Paulo;* "Termelétricas Podem Quintuplicar Emissões", 18/01/2009, p. A21.
37. Murray, D.; 2005; "Ethanol´s Potential: Looking Beyond Corn", Earth Policy Institute, Washington, DC, EUA; www.earth-policy.org/Updates/2005/Update49.htm, acessada em Janeiro 2009.
38. Lal, R.; *Waste Management* **2008**, *28*, 747.
39. Rulkens, W.; *Energy & Fuels* **2008,** *22,* 9.
40. Fulton, L.; Howes, T.; Hardy, J.; 2004; "Biofuels for Transport: an International Perspective." International Energy Agency, Paris, França; www.iea.org/textbase/nppdf/free/2004/biofuels2004.pdf, acessada em Janeiro 2009.
41. Marris, E.; *Nature* **2006**, *444*, 670.
42. Goldenberg, J.; *Environmental Research Letters* **2006**, *1*, 1.
43. Chew, T. L.; Bhatia, S.; *Bioresour. Technol.* **2008**, *99*, 7911.
44. Bruwer, J. J.; Boshoff, B. D.; Hugo, F. J. C.; DuPlessis, L. M.; Fuls, J.; Hawkins, C.; VanderWalt, A. N.; Engelbert, A. Em *Agricultural energy*, 1980, vol. 2, ASAE publication 4–81, St. Joseph, MI: ASAE.
45. Fort, E. F.; Blumberg, P. N.; Staph, H. E.; Staudt, J. J.; *Evaluation of cottonseed oils as diesel fuel*, 1982, SAE Technical paper series 820317.
46. McDonnel, K. P.; Ward, S. M.; Me Nully, P. B.; Howard-Hildige, R.; *Trans. ASAE* **2000**, *43*, 1309.
47. Barsic, N. J.; Humke, A. L.; *Automotive Eng.* **1981**, *89*, 37.
48. Shahid, E. M.; Jamal, Y.; *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2008,** *12*, 2484.
49. Collins K.; Economic issues related to biofuels. United States Department of Agriculture (USDA) – The Office of the Chief Economist (OCE), Washington (DC); August 26, 2006, www.usda.gov/oce/index.htm, acessada em Dezembro 2008.
50. Chisti, Y.; *Biotechnol. Adv.* **2007**, *25*, 294.
51. Lei 11.097, de 13 de janeiro de 2005, http://www.biodiesel.gov.br/docs/lei11097_13jan2005.pdf, acessada em Fevereiro 2009.
52. Koh, L.; *Conservation Biology* **2007**, *21*, 1373.
53. Searchinger, T.; Heimlich, R.; Houghton, R. A.; Dong, F.; Elobeid, A.; Fabiosa, J.; Tokgoz, S.; Hayes, D.; Yu, T. H.; *Science* **2008**, *319*, 1238.
54. Brazil Institute, 2007; The Global Dynamics of Biofuels: Potential Supply and Demand for Ethanol and Biodiesel in the Coming Decade. The Brazil Institute of the Woodrow Wilson Center, Washington DC, USA; www.wilsoncenter.org/topics/pubs/Brazil_SR_e3.pdf, acessada em Janeiro 2009.
55. National Geographic, 2007; Ethanol Production Could Be Eco-Disaster, Brazil's Critics Say; news.nationalgeographic.com/news/2007/02/070208-ethanol.html, acessada em Janeiro 2009.
56. *The Economist*, 2008; The New Face of Hunger, vol. 387, No. 8576, 19–25th April 2008, London, UK, p. 30.
57. Timmer, C. P.; 2008; Causes of High Food Prices; Asian Development Bank, Manila, Philippines; www.adb.org/Documents/Working-Papers/2008/Economics-WP128.pdf, acessada em Janeiro 2009.
58. Josserand, H.; 2008; Crop Prospects and Food Situation, No. 2, April 2008. Global Information and Early Warning Service – Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy; ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ai465e/ai465e00.pdf, acessada em Outubro 2008.
59. Archer, C. L.; Jacobson, M. Z.; *J. Geophys. Res.* **2005**, *110*, D12110.
60. Hotza, D.; Diniz da Costa, J. C.; *Int. J. Hydrogen Energy* **2008**, *33*, 4915.
61. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); www.inpe.br, acessada em Janeiro 2009.
62. Hassmann, K.; Kuhne, H. M.; *Int. J. Hydrogen Energy* **1993**, *18*, 635.
63. National Aero Space Agency (NASA); www.nasa.gov, acessada em Outubro 2009.
64. CRESESB; www.cresesb.cepel.br/, acessada em Janeiro 2009.
65. CB-Solar; www.pucrs.br/cbsolar/, acessada em Janeiro 2009.
66. Technology Review: Solar Energy in Spain; www.technologyreview.com, acessada em Janeiro 2009.
67. Global Wind Energy Council (GWEC); *Global Wind Energy Outlook*, 2008, p. 38, http://www.gwec.net/index.php?id=92, acessada em Março 2009.
68. CRESESB; Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/atlas_eolico_brasil/mapas_1d.pdf, acessada em Março 2009.
69. Filgueiras, A.; Silva, T. M. V.; *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2003,** *7*, 439.
70. *The Guardian*; Oil price fall hits green energy, http://www.guardian.co.uk/business/2009/jan/20/bp-oil-green-energy, acessada em Janeiro 2009.
71. *New Energy Finance*, http://www.newenergymatters.com/, acessada em Janeiro 2009.
72. *Jornal do Brasil;* Crise econômica chega ao setor energético, 14/10/2008.
73. *O Estado de São Paulo;* Crise chega ao setor energético, 15/12/2009.
74. *Jornal do Brasil*; Consumo de energia elétrica tem queda histórica no país; http://jbonline.terra.com.br/nextra/2009/01/23/e230124262.asp, acessada em Janeiro 2009.
75. *O Globo;* CMSE decide desligar todas as usinas termelétricas do país; oglobo.globo.com, acessada em Janeiro 2009.
76. Petrobrás Investirá US$ 174,4 Bi até 2013; http://www.agenciapetrobrasdenoticias.com.br/, acessada em Janeiro 2009.