



JOSÉ GOLDEMBERG
OSWALDO LUCON

Energias renováveis: um futuro sustentável

JOSÉ GOLDEMBERG
é físico, ex-reitor da
Universidade de São
Paulo e autor de, entre
outros, *Energia para o
Desenvolvimento* (T. A.
Queiroz).

OSWALDO LUCON
é assessor da Diretoria
de Desenvolvimento e
Transferência de Tecnologia
da Secretaria de Estado do
Meio Ambiente de São Paulo.

ENERGIA E AS NECESSIDADES HUMANAS



homem é uma máquina maravilhosa movida a água, oxigênio e alimentos. Extremamente eficiente, o corpo humano tem a potência de uma lâmpada (100W). Sua inteligência criou grandes obras e se engajou em guerras. Ao longo dos séculos, foi capaz de passar da pedra lascada às viagens para fora do Sistema Solar. O homem se multiplicou e dominou o planeta, tirando dele os recursos necessários à sua sobrevivência e à satisfação de suas necessidades e desejos.

Um milhão de anos atrás, as necessidades do homem primitivo eram relativamente poucas e relacionavam-se intrinsecamente à sua sobrevivência. Energeticamente, dependia das cerca de 2 mil quilocalorias (kcal) extraídas dos alimentos que conseguia obter a duras penas. Há 7 mil anos o homem dominava a energia de animais de tração: um cavalo substituíva a força de oito homens. Para o homem nômade primitivo, os recursos naturais eram aqueles que estavam diretamente ao seu alcance. Com o tempo, dominou o fogo e passou a cortar lenha para se aquecer e cozinhar. Com o aumento da população há pouco mais de 7 mil anos, foi necessário aumentar a produtividade na obtenção dos recursos através da agricultura.

Os nobres do Império Romano quantificavam suas riquezas em número de escravos, o que correspondia em termos energéticos a múltiplos de 2 mil kcal por dia. Nos dias de hoje, o consumo energético por habitante no mundo equivaleria a cerca de 20 "escravos".

No começo da Idade Moderna (1400 d.C.), o homem passou a utilizar as quedas d'água e os ventos para moer trigo e realizar outras tarefas. A energia de origem fóssil também era utilizada, mas com baixa intensidade: carvão mineral que aflorava da terra aquecia ambientes e fornecia calor para pequenas manufaturas, como a siderurgia. O petróleo também aflorava mas era praticamente des-



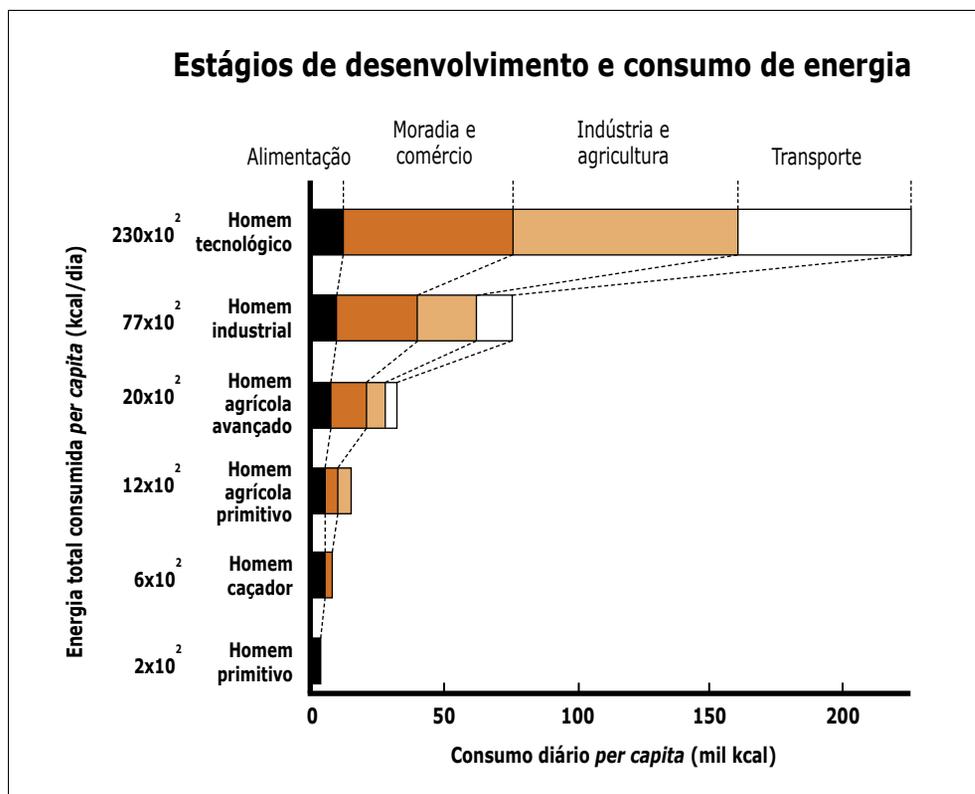
conhecido: era utilizado na iluminação quando o óleo de baleia se tornava escasso.

Com a Revolução Industrial de 1875 o homem desenvolveu a máquina a vapor e multiplicou ainda mais suas capacidades na indústria e no transporte. A população cresceu e, junto, o consumo de energia. No século XX, o *homem tecnológico* aprimorou a máquina a vapor e desenvolveu motores de combustão interna movidos a gasolina e diesel, que são derivados do petróleo. Alguns experimentos também foram realizados com óleos vegetais, mas os derivados de petróleo eram bastante confiáveis, abundantes, baratos, fáceis de estocar e transportar.

Vieram mais tarde os motores elétricos e a energia nuclear, mas o mundo nunca mais rompeu sua relação de dependência com o petróleo. A energia de 2 kcal que mantinha o homem primitivo por um dia corresponde àquela contida num copo de petróleo.

Ficou mais fácil o acesso à energia. As 2 kcal estão contidas num único lanche “combinado tamanho grande” que pode ser comprado em cadeias de lanchonetes. Uma

Energia eólica tradicional (Fuel From the Wind, 2006, http://www.fuelfromthewind.com/pollution_&_stats.htm)



Ferrari que transporta uma ou duas pessoas tem a força de 600 cavalos. No ano 2003, cada um dos 6 bilhões de habitantes do planeta consumiu em média $1,69 \cdot 10^7$ kcal (ou 1,69 tonelada equivalente de petróleo *per capita* no ano), cerca de um milhão de vezes o que consumia o homem primitivo.

CLASSIFICAÇÃO DAS FONTES DE ENERGIA: RENOVÁVEIS E NÃO-RENOVÁVEIS

Muita energia vem do Sol para a Terra, mas pouco é aproveitado. Uma parte da radiação solar fornece calor, outra forma os ventos, outra, os potenciais hidráulicos dos rios (pela evaporação e condensação), outra, as correntes marinhas. Uma pequena parte é incorporada nos vegetais através da fotossíntese e serve para sustentar toda a cadeia alimentar do planeta.

Ao longo das eras, a matéria orgânica dos seres que pereciam se acumulou no subsolo terrestre, formando as chamadas *fontes fósseis de energia*: petróleo, carvão mineral, gás natural, xisto betuminoso e outros. O processo ocorreu em milhões de anos.

Da mesma forma, alguns elementos químicos que sempre estiveram presentes na crosta terrestre podem gerar energia através da fissão de seus núcleos: é o caso do urânio. Esses elementos são as *fontes primárias de energia nuclear*.

Como a reposição das fontes de energia fóssil e nuclear requer um horizonte de tempo geológico, essas são consideradas não-renováveis. Já as *fontes renováveis de energia* são repostas imediatamente pela natureza; é o caso dos potenciais hidráulicos (quedas d'água), eólicos (ventos), a energia das marés e das ondas, a radiação solar e o calor do fundo da Terra (geotermal). A biomassa também é uma fonte renovável de energia e engloba diversas subcategorias, desde as mais tradicionais (como a lenha e os resíduos animais e vegetais) até as mais

modernas (como o etanol para automóveis, biodiesel, bagaço de cana para co-geração energética e gás de aterros sanitários utilizados para a geração de eletricidade).

Impactos do uso da lenha nas antigas civilizações

Apesar de a lenha ser uma fonte renovável de energia, os estoques utilizados nem sempre são repostos. A expansão da civilização desde a época greco-romana induziu ao consumo de grandes quantidades de lenha para produzir calor e para construir edifícios, embarcações, armamentos e outros bens. A devastação foi tal que hoje praticamente não há florestas virgens na região do Mediterrâneo. Como não havia preocupação com a capacidade do ambiente em repor os recursos naturais, algumas regiões foram devastadas. Quando os recursos se tornavam escassos, a questão se resolvia pelo abandono da região ou disputando-se as melhores terras. Algumas vezes isso não era possível e populações inteiras foram dizimadas pela fome.

Algumas formas de conversão de energias renováveis são, portanto, *tradicionais*. É o caso do fogão primitivo, movido a lenha catada ou desmatada. Por sua vez, as fontes

modernas podem ser subdivididas em “convencionais” e “novas”. As “convencionais” são tecnologias dominadas e comercialmente disseminadas há muitas décadas, como é o caso das usinas hidrelétricas de grande e médio porte. As “novas” são aquelas que começam a competir comercialmente com as fontes tradicionais, renováveis ou não. É o caso dos painéis solares fotovoltaicos, dos

aquecedores solares, das pequenas centrais hidrelétricas (que, apesar de conhecidas, ainda não têm equipamentos a preços amplamente acessíveis), das usinas de geração de eletricidade a partir das ondas e marés, das turbinas eólicas, das usinas geotermiais, da biomassa “moderna”.

Assim, as fontes de energia podem ser classificadas conforme o quadro a seguir.

Fontes		Energia primária	Energia secundária	
Não-renováveis	Fósseis	carvão mineral	termoeletricidade, calor, combustível para transporte	
		petróleo e derivados		
		gás natural		
	Nuclear	materiais físséis	termoeletricidade, calor	
Renováveis	“Tradicionais”	biomassa primitiva: lenha de desmatamento	calor	
	“Convencionais”	potenciais hidráulicos de médio e grande porte	hidreletricidade	
		potenciais hidráulicos de pequeno porte		
	“Novas”	biomassa “moderna”: lenha replantada, culturas energéticas (cana-de-açúcar, óleos vegetais)	biocombustíveis (etanol, biodiesel), termoeletricidade, calor	
		outros	energia solar	calor, eletricidade fotovoltaica
			geotermal	calor e eletricidade
			eólica	eletricidade
maremotriz e das ondas				

STATUS ATUAL DA MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL

As fontes fósseis de energia predominam até hoje na matriz energética mundial e de todos os países individualmente. Em 2001, o mundo consumiu quase 80% de energias fósseis em um total de 10,2 bilhões de toneladas equivalentes de petróleo. A principal delas é o petróleo (35% do total), mas as parcelas de carvão (23%) e gás natural (22%) também são bastante significativas. A energia nuclear, também não-renovável, contribuiu com cerca de 7%. As fontes renováveis contribuíram com os 13% restantes. Entretanto, pouco menos de metade dessa parcela, 9% do total mundial, correspondeu à biomassa tradicional, basicamente à lenha queimada de forma primitiva. Apenas 4% da matriz energética mundial foi suprida com a energia hidrelétrica (2%) e com as outras opções “modernas” (2%), como eólica, solar e biocombustíveis.

Cada habitante do planeta consumiu 1,67 tonelada equivalente de petróleo (tep) nesse ano. Contudo, o consumo de energia é muito diferente entre países desenvolvidos (do grupo da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE) e os em desenvolvimento (chamados de não-OCDE), tanto em quantidade quanto em qualidade. Assim:

- países desenvolvidos consomem quase cinco vezes mais que os em desenvolvimento por habitante: 4,7 contra 0,95 tep *per capita*;
- no mundo desenvolvido vivem pouco mais de 1 bilhão de pessoas, que consomem 83% de sua energia por fontes fósseis, mais 11% de eletricidade de origem nuclear; somente 6% da energia é renovável;
- já nos países em desenvolvimento vivem quase 5 bilhões de pessoas, que utilizam 22% de energia renovável, principalmente a biomassa (cerca de 19% do total); a energia nuclear ainda é pouco desenvolvida e os combustíveis fósseis predominam

OS DESAFIOS DE HOJE

A manutenção da situação atual não é possível por uma série de razões. As principais são: 1) os limites nas reservas disponíveis; e 2) os impactos ambientais, principalmente os das mudanças climáticas. Fora isso, os países defrontam-se com desafios, como por exemplo: 3) conflitos regionais, como disputas pelo petróleo e uso da tecnologia nuclear para fins não-pacíficos; e 4) pressões na dívida externa dos países em desenvolvimento, que precisam importar derivados de petróleo.

Assim, a forma com que a energia vem sendo produzida e consumida é incompatível com o desenvolvimento sustentável.

Mas o que é desenvolvimento sustentável? Em 1987, um grupo de especialistas de todo o mundo se reuniu, formando a chamada Comissão para o Meio Ambiente e Desenvolvimento e emitiu o relatório “Nosso Futuro Comum”¹ com a seguinte definição: “desenvolvimento que supre as necessidades atuais sem comprometer a habilidade das futuras gerações atenderem às suas necessidades”².

Existe uma medida de sustentabilidade chamada *ecological footprint* ou “pegada ecológica”, que mede a área produtiva necessária para propiciar os recursos que são utilizados e para assimilar os rejeitos que são produzidos por uma determinada população com um certo padrão de vida. Em 1999, a “pegada” de cada habitante do planeta era de 2,3 hectares (ou 23 mil m²). Em 2050, seu valor total será o dobro da capacidade da Terra.

Os limites nas reservas disponíveis

Cerca de metade do petróleo que o planeta possuía originalmente já foi exploradas até hoje. Restam cerca de 1 trilhão de barris a explorar, o que deve se esgotar em cerca de 50 anos³. Isso leva os países a prospectar e desenvolver outras opções energéticas. O gás natural é uma interessante alternativa,

1 Também chamado Relatório Bruntland 1987.

2 Tal definição é evidentemente antropocêntrica (pois prioriza o desenvolvimento da raça humana), contudo também é *princípiologica* (pois estabelece um objetivo a perseguir, sem precisar definir com precisão quantas gerações devem ser beneficiadas com o patrimônio ambiental).

3 Tal estimativa se baseia nas reservas provadas e na atual produção.

porém também finita: deve levar cerca de 60 anos para se esgotar, mantido o atual ritmo de consumo. Muitas nações possuem vastas reservas de carvão pouco exploradas, o que lhes garante o suprimento por mais 250 anos, mas gera altos níveis de poluição.

Novas descobertas e novas tecnologias de extração de recursos energéticos de origem fóssil podem ampliar um pouco esses horizontes, mas o fato é que mais e mais dinheiro é e será gasto para buscar cada vez menos energia em locais cada vez mais remotos.

Os potenciais nucleares atuais são da ordem de 80 anos, podendo se estender por centenas de anos. Entretanto, enquanto não vier uma revolução tecnológica, para a obtenção de energia nuclear será necessário petróleo. Além disso, após o acidente de Chernobyl em 1986, as medidas de segurança para os novos reatores nucleares e rejeitos radioativos requerem mais energia.

As energias renováveis também possuem limites, mas esses estão longe de serem atingidos. O mundo possui vastos potenciais em renováveis, muitos dos quais já estão ao alcance da tecnologia atual. É o que acontece com a hidreletricidade, a energia eólica, os potenciais geotermais e, especialmente no mundo em desenvolvimento, a biomassa moderna.

Impactos ambientais: locais, regionais, globais

Pode-se dizer com razoável grau de certeza que a principal ameaça à existência da raça humana sobre a Terra são as mudanças climáticas, causadas pelo aumento nas concentrações atmosféricas dos gases que causam o aumento do efeito estufa.

Mas há outros impactos a considerar. O sistema energético mundial é responsável por severos impactos ambientais, como derramamentos de óleo, perda de biodiversidade, chuva ácida e a poluição urbana.

Os impactos ambientais podem ser categorizados em locais, regionais e globais.

Em nível *local*, as emissões decorrentes da queima de combustíveis fósseis, inclusive as do setor de transportes, são as maiores responsáveis pela poluição urbana e, conseqüentemente, por centenas de milhares de mortes por problemas respiratórios, cardiovasculares e câncer (Molina & Molina, 2004). Metade da população mundial vive em cidades. No início do século passado existiam apenas 3 cidades com mais de 1 milhão de habitantes, hoje existem 281. Várias metrópoles têm mais de 10 milhões de moradores e a conurbação de pequenas cidades também cria focos de problemas com material particulado (MP, principalmente os finos e ultrafinos que penetram nos bronquíolos pulmonares), dióxido de enxofre e sulfatos (SO_2 e SO_4^{2-}), óxidos de nitrogênio (NO e NO_2 , os chamados NO_x), compostos orgânicos voláteis (COVs, que incluem os hidrocarbonetos –HCs), monóxido de carbono (CO), ozônio de baixa altitude (O_3 troposférico⁴) e outros poluentes.

Em nível *regional*, precursores da chuva ácida (SO_2 , NO_x e outros) gerados por processos de combustão podem se precipitar milhares de quilômetros de distância de seu ponto de origem, muitas vezes atravessando fronteiras de países. Com a chuva e a neve, tais óxidos se convertem em ácidos (como o sulfúrico e o nítrico), atingindo diretamente ecossistemas, plantações, edifícios históricos, estruturas e outros receptores vulneráveis. Um exemplo está no carvão queimado na Europa, emitindo enxofre que se precipita sobre rios na Escandinávia, abaixando seu pH (medida de acidez) de 7 (neutro) para 4 ou menos.

Globalmente, um assunto crítico são as mudanças climáticas causadas pelo aumento do efeito estufa, que por sua vez se deve às crescentes emissões de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e outras substâncias na atmosfera por processos naturais e antropogênicos (causados pelo homem). O principal desses processos é a produção de energia (como termelétricas, transporte, indústrias, aquecimento de ambientes, etc.) de origem fóssil⁵. O carbono depositado na crosta terrestre durante eras é lançado quase

4 Não confundir com o ozônio estratosférico (O_3), formado por descargas elétricas, localizado a 40 km da superfície da Terra e que filtra os raios ultravioleta que vêm do Sol. A camada troposférica é basicamente o ar que respiramos, e o ozônio "urbano" (O_3) é um poluente tóxico ao sistema respiratório, formado principalmente pela ação dos raios solares sobre os NO_x e HCs.

5 A geração de eletricidade em reatores nucleares não emite gases de efeito estufa, mas os processos de mineração de urânio e seu enriquecimento sim. Também há emissões no final de seu ciclo, quando os rejeitos perigosos têm de ser estocados por décadas e até séculos. Fora as emissões, existem os riscos dos acidentes e da proliferação de armamentos.

que imediatamente em termos geológicos pelos processos pós-Revolução Industrial e pela queima de florestas. Na atmosfera, o carbono atua como um vidro, que deixa passar os raios do Sol para a Terra mas não deixa o calor sair: esse é o chamado efeito estufa.

A participação dos países em desenvolvimento (pouco menos de 30%) no total de emissões por queima de combustíveis fósseis vem crescendo rapidamente nos últimos anos e deve se igualar à dos países

desenvolvidos até 2035, quando cerca de 12 bilhões de toneladas de CO₂ ao ano serão lançadas no total (hoje são pouco menos de 7)⁶.

O desmatamento também é uma fonte importante a considerar: pouco menos de 2 bilhões de toneladas/ano de CO₂ são lançadas e o Brasil é o maior emissor. Ainda que com uma matriz energética consideravelmente “limpa”, o país está bem “avançado” no *ranking* dos maiores emissores do planeta graças ao desmatamento.

⁶ Environmental Protection Agency, 2004 (<http://www.epa.gov/reg3airtd/images/warm.jpg>).

ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE CARBONO EM 2000

País		(1) Desmatamento (mil toneladas equivalentes de carbono)	(2) Combustíveis (mil toneladas equivalentes de carbono)	(3) =(1)+(2) Total (mil toneladas equivalentes de carbono)
1	EUA	-10.476	1.528.796	1.518.320
2	China	-27.542	761.586	734.045
3	Rússia	-1.890	391.664	389.774
4	Japão	-66	323.281	323.215
5	Índia	-694	292.265	291.572
6	Alemanha	0	214.386	214.386
7	Brasil	120.645	83.930	204.575
8	Reino Unido	-323	154.979	154.656
9	México	8.519	115.713	124.232
10	Canadá	0	118.957	118.957

(1) estimativa multiplicando o desmatamento líquido pela quantidade de madeira nas florestas (dados da UN FAO, 2004) e por 25% (isto é, 50% de madeira seca e 50% de carbono contido). (2) Gregg Marland et al, 2004

AS SOLUÇÕES POSSÍVEIS

Energias renováveis são a única solução para tais problemas, pois são intrinsecamente duráveis. A conservação de energia, fóssil ou não, é complementar à transição para um novo padrão de desenvolvimento, e prolongará a vida útil das reservas existentes.

O que é preciso é mudar as atuais prioridades de maneira rápida e significativa. Pequenas mudanças em suas prioridades podem fazer uma grande diferença em termos de sustentabilidade.

A energia move todo ano vultosas cifras econômicas, algo em torno de 1,5 trilhão de dólares. As energias fósseis recebem vultosas somas de subsídios, das mais variadas formas, algo como 151 bilhões de dólares ao ano entre 1995 e 1998. Os renováveis receberam no mesmo período 9 bilhões de dólares ao ano.

Um considerável esforço vem sendo feito por muitos países para “limpar” as impurezas de combustíveis fósseis, mas isso não consegue resolver o problema das mudanças climáticas. A captura de CO₂ (e lançamento em depósitos subterrâneos) é complexa, cara e limitada a poucos processos. Além disso, vazamentos são uma possibilidade desastrosa. Acima de tudo, não reduz os padrões de extração dos recursos presentes no planeta.

Os renováveis evitam todos esses problemas, pois emitem pouquíssimo carbono em seu ciclo de vida e são praticamente inexauríveis. Além disso, emitem muito menos poluentes locais e geram muitos empregos (biomassa gera 150 vezes mais

empregos por unidade de energia que petróleo; energia solar ainda mais).

Para acelerar o crescimento dos renováveis é preciso:

- 1) vencer as resistências dos mercados e eliminar os subsídios às fontes não-renováveis (fósseis e nuclear);
- 2) subvencionar a entrada de novas tecnologias, reduzindo seus custos;
- 3) estabelecer políticas mandatórias e progressivas para sua introdução;
- 4) disseminar as tecnologias para que os países em desenvolvimento as incorporem mais rapidamente sem ter de passar por estágios intermediários e mais poluentes (efeito *leapfrogging*).

O Brasil sabe bem como isso funciona, pois desde 1975 o Proálcool obrigou a adição do biocombustível na gasolina. A produção cresceu, a tecnologia se desenvolveu e, hoje, temos os veículos *flex*, que dão liberdade de escolha ao consumidor, e um combustível competitivo nos mercados internacionais. Os custos baixaram com o tempo e tornaram o etanol competitivo com a gasolina no mercado de Rotterdam.

O mesmo deve ser feito em nível mundial para todos os renováveis “modernos”, em suas curvas de aprendizado que vêm evoluindo ao longo dos anos.

Para que isso aconteça, uma postura proativa de todos os países é necessária. Uma meta tangível e perfeitamente possível seria a expansão das energias renováveis de 4 para 10% na matriz mundial até 2012. Tal objetivo seria um importante passo na direção de um futuro energético sustentável.

BIBLIOGRAFIA

GOLDEMBERG, José; COELHO, Suani Teixeira. “Renewable Energy – Traditional Biomass vs Modern Biomass”, in *Energy Policy*, 32/6, 2003, pp. 711-4.

GOLDEMBERG, José. “The Case for Renewable Energies”. Thematic Background Paper for the International Conference for Renewable Energies, Bonn, 2004. <http://www.renewables2004.de/pdf/tbp/TBP01-rationale.pdf>.

- GOLDEMBERG, José; COELHO, Suani Teixeira; NASTARI, Plínio Mário; LUCON, Oswaldo. "Ethanol Learning Curve — the Brazilian Experience", in *Biomass and Bioenergy*, vol. 26/3, 2003, pp 301-4.
- GOLDEMBERG, José; COELHO, Suani Teixeira; LUCON, Oswaldo. "How Adequate Policies Can Push Renewables", in *Energy Policy*, 32/9, 2003, pp. 1.141-6.
- INTERNATIONAL Energy Agency. *Energy Balances of non-OECD Countries 2000-2001*. Paris, OECD/IEA, 2003.
- KAREKEZI, Stephen; CHAUREY, Akanksha; COELHO, Suani Teixeira; LUCON, Oswaldo & GUARDABASSI, Patricia. "Synthesis Paper on Biomass — Status, Challenges and Prospects", in *Continental Paper: Latin America and the Caribbean (LAC)*. GNESD — Global Network on Energy for Sustainable Development (website <http://www.gnesd.org>).
- MACEDO, Isaías. "O Ciclo da Cana-de-açúcar e Reduções Adicionais nas Emissões de CO₂ Através do Uso como Combustível da Palha da Cana", in *Inventário de Emissões de Gases Efeito Estufa, Report to the International Panel on Climate Change (IPCC)*. Brazil, Ministério de Ciência e Tecnologia, March/2000.
- MOLINA, Mario & MOLINA, Luisa T. "Megacities and Atmospheric Pollution", in *J. Air & Waste Management Association*, 54, 2004, pp. 644-80.
- RAIN-ASIA. "An Assessment Model for Acid Deposition", in Asia, World Bank, Washington D.C. From Teri, 2004 (The Energy Resources Institute, New Delhi, India) (<http://www.teri.res.in/teriin/news/terivsn/issue1/specprep.htm>).
- UNDP, UNDESA, WEC "World Energy Assessment — Energy and the Challenge of Sustainability. Overview: 2004 Update" (<http://www.undp.org/energy/weaover2004.htm>).
- WEA. "World Energy Assessment 2000". New York, UNDP, ISBN 9211261260, 2002 (<http://www.undp.org/seed/eap/activities/wea>).
-