



XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA
Rio de Janeiro, 17 a 19 de novembro de 2008
Centro de Convenções SulAmérica
TEMA OFICIAL
“Desafios do Setor Energético Brasileiro”

CONTRADIÇÕES ENTRE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E RETOMADA NUCLEAR

MARCIO SOARES DIAS¹⁾

JOÃO ROBERTO LOUREIRO DE MATTOS²⁾

RESUMO

As variações climáticas estão próximas de limites perigosos que exigem a ação coordenada dos países na busca da estabilização para a concentração atmosférica do dióxido de carbono e a mitigação do aquecimento global. Há milhares de anos, o desenvolvimento da humanidade é determinado por sua capacidade no uso da energia para a produção de bens e serviços e o próprio bem-estar humano. Ao longo de milênios esta capacidade ficou contida e totalmente atendida no processo de queima de combustíveis de origem orgânica. Atualmente, o padrão não sustentável do suprimento e uso mundial da energia é questionado no âmbito da própria definição do desenvolvimento econômico e bem-estar humano. O mundo necessita de uma revolução energética global, envolvendo as energias nucleares e renováveis, que transforme completamente a forma como produzimos e utilizamos energia, mesmo que esta revolução traga em seu bojo contradições e revisões de conceitos estabelecidos.

Palavras Chaves: emissão de CO₂, energia elétrica, energia nuclear

Apresentação oral, tema: Meio Ambiente, perspectiva: Ambiental

¹⁾ Dr. Eng. Química, CDTN/CNEN, Belo Horizonte, MG, tel. (31)3069 3217, e-mail: marciod@cdtn.br

²⁾ Dr. Eng. Química, CDTN/CNEN, Belo Horizonte, MG, tel. (31)3069 3206, e-mail: jrmattos@cdtn.br

INTRODUÇÃO

Em 6 de junho de 2008, durante o lançamento da última edição do Energy Technology Perspectives (ETP), (IEA/OECD, 2008), foi afirmado por Nobuo Tanaka, Diretor Executivo da Agência Internacional de Energia (IEA): “O mundo enfrenta a assustadora combinação da demanda de energia crescente com aumento das emissões dos gases de efeito estufa e escassez dos recursos. Uma revolução tecnológica mundial de energia é necessária e viável, mas será um desafio árduo”

As projeções do International Energy Outlook 2007 (EIA/DOE, 2007) indicam que o consumo mundial de energia deverá crescer cerca de 65% de 2003 a 2030. Os consumos de gás natural e carvão com taxas de crescimento acima de 70% sustentam os consumos energéticos mundiais nos setores de transporte, industriais, comerciais e residenciais.

A geração de energia elétrica demanda 41% do consumo mundial de energia e é o principal vetor para as emissões de CO₂ relacionadas com o consumo de energia. A emissão de CO₂, com crescimento de 68% no período 2003 a 2030, acompanha o crescimento do consumo mundial de energia e constitui uma das grandes preocupações mundiais em virtude das alterações climáticas. Os efeitos destas alterações não têm fronteiras e provocam danos de forma globalizada.

A concentração atmosférica de dióxido de carbono - o principal gás responsável pela retenção de calor e, conseqüentemente, pelo aquecimento global - atingiu níveis que o planeta não experimentava há centenas de milhares de anos, e como resultado a temperatura média do planeta está aumentando progressivamente há mais de um século (IPCC, 2007).

O aquecimento global representa uma ameaça profunda para a humanidade e o mundo natural, sendo um dos mais sérios desafios na história da humanidade. Os reflexos dos efeitos das variações climáticas já se fazem presente no dia-a-dia das pessoas por meio do noticiário ávido por catástrofes. Entretanto, o dano silencioso já está também presente na perda de biodiversidade e na redução da produtividade mundial de alimentos. Por nossas responsabilidades frente às

gerações futuras estamos obrigados a enfrentar as mudanças climáticas de uma forma eficaz e em tempo hábil.

Há milhares de anos, o desenvolvimento da humanidade é determinado por sua capacidade no uso da energia para a produção de bens e serviços e o próprio bem-estar humano. Ao longo de milênios esta capacidade ficou contida e totalmente atendida no processo de queima de combustíveis de origem orgânica. Atualmente, o padrão não sustentável do suprimento e uso mundial da energia é questionado no âmbito da própria definição do desenvolvimento econômico e bem-estar humano.

Frente aos danos materiais e perdas de vida que já ocorrem em termos globalizados, a questão do custo financeiro na geração de energia elétrica passa para um segundo plano e a questão primária a ser considerada passa a ser a ação em busca da sustentabilidade. Os especialistas devem então alertar a opinião pública e os governantes para o bem maior formado pelo desenvolvimento sustentável e o bem-estar humano.

O CRESCIMENTO DOS CONSUMOS DE ENERGIA E ELETRICIDADE

As projeções do International Energy Outlook 2007 estão resumidas na Tabela 1 e indicam que o consumo mundial de energia deverá crescer cerca de 65% de 2003 a 2030. Os consumos de gás natural e carvão com taxas de crescimento acima de 70% sustentam os consumos energéticos mundiais nos setores de transporte, industriais, comerciais e residenciais.

Tabela 1. Projeções 2007 do EIA/DOE para o consumo mundial de energia e emissões de CO₂.

| Combustível | Unidade | 2003 | 2010 | 2020 | 2030 | Taxas 2003-2030(%) | |
|----------------------------|----------------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|-------|
| | | | | | | anual | total |
| Óleo | Milhões de barris/dia | 79,8 | 90,7 | 103,7 | 117,6 | 1,4 | 47,4 |
| Gás Natural | Trilhões de m ³ | 2,72 | 3,28 | 4,00 | 4,62 | 2,0 | 70,0 |
| Carvão | Bilhões de toneladas | 4,74 | 6,12 | 7,50 | 8,93 | 2,4 | 88,5 |
| Nuclear | Trilhões de kWh | 2,52 | 2,72 | 3,26 | 3,62 | 1,4 | 43,7 |
| Renováveis | 10 ¹⁸ J | 33,87 | 42,63 | 49,06 | 56,45 | 1,9 | 66,7 |
| Total | 10¹⁸ J | 449 | 539 | 640 | 740 | 1,9 | 64,8 |
| | | | | | | | |
| Eletricidade | Bilhões kWh | 14781 | 19554 | 24959 | 30364 | 2,7 | 105,4 |
| | | | | | | | |
| Emissão de CO ₂ | Bilhões de toneladas | 25,5 | 30,8 | 36,8 | 42,9 | 1,9 | 68,1 |
| Líquidos | (%) | 41,1 | 38,4 | 36,9 | 36,0 | | |
| Gás Natural | (%) | 20,6 | 20,6 | 21,0 | 21,0 | | |
| Carvão | (%) | 38,4 | 41,0 | 42,1 | 43,1 | | |

A geração de energia elétrica demanda cerca de 41% do consumo mundial de energia e, em 2003, teve como fontes primárias 66% de combustíveis fósseis, 16% de fonte nuclear e 18% de fontes renováveis (hidrelétricas e outras). A emissão de CO₂, com crescimento de 68% no período 2003 a 2030, acompanha o crescimento do consumo mundial de energia e constitui uma das grandes preocupações mundiais em virtude das alterações climáticas. Os efeitos destas alterações não têm fronteiras e provocam danos de forma globalizada. Em termos de emissão a geração mundial de eletricidade contribui com 40% das emissões de CO₂, enquanto o transporte contribui com cerca de 20% (Bouttes, 2006). Nos EUA estes números são da ordem de 33% na geração de eletricidade, 28% no transporte e 24% na produção de vapor e calor para processos industriais, aquecimento comercial e residencial, água quente e cozimento. Portanto, a geração de eletricidade é um vetor importante no contexto das variações climáticas e do aquecimento global.

Em termos ambientais é preocupante o crescimento projetado para a emissão de CO₂ da Tabela 1. Na avaliação do IEO 2007 da EIA/DOE, China e EUA foram responsáveis por 38% das emissões de CO₂ em 2003 e responderão por 45% das emissões em 2030. Em função das projeções de custos do petróleo e gás natural, os crescimentos das matrizes energéticas de ambos os países têm forte componente baseada no carvão. Nos EUA, a redução relativa do uso do gás natural na geração de eletricidade será compensada, em grande parte, com o aumento da contribuição do carvão. Em termos do consumo de carvão, China, EUA e Índia responderão, respectivamente por 66%, 13% e 8%, ou seja, um total de 87%, do aumento no consumo mundial de carvão até 2030. China e EUA não devem ratificar o protocolo de Quioto.

Em relação ao consumo de eletricidade do Brasil, de 371 bilhões de kWh em 2003 (EIA/DOE 2006), o consumo projetado para 2030 de 1030,1 bilhões de kWh (EPE/MME, 2007) representa um acréscimo de 178%. Em termos gerais, a capacidade de produção de eletricidade instalada ao longo do século XX deverá ser quase triplicada nos primeiros 30 anos do século XXI.

AS ALTERNATIVAS NA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE

Entre as alternativas para a geração de eletricidade, as tecnologias de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural) têm as maiores taxas de emissão de CO₂ por kWh (Figura 1) e geram a maior parte das emissões GHG relacionadas com a energia. A Figura mostra as taxas de emissão para a totalidade do ciclo do combustível, incluindo a construção da instalação, a fabricação de equipamentos, extração dos recursos, transporte, processamento e conversão.

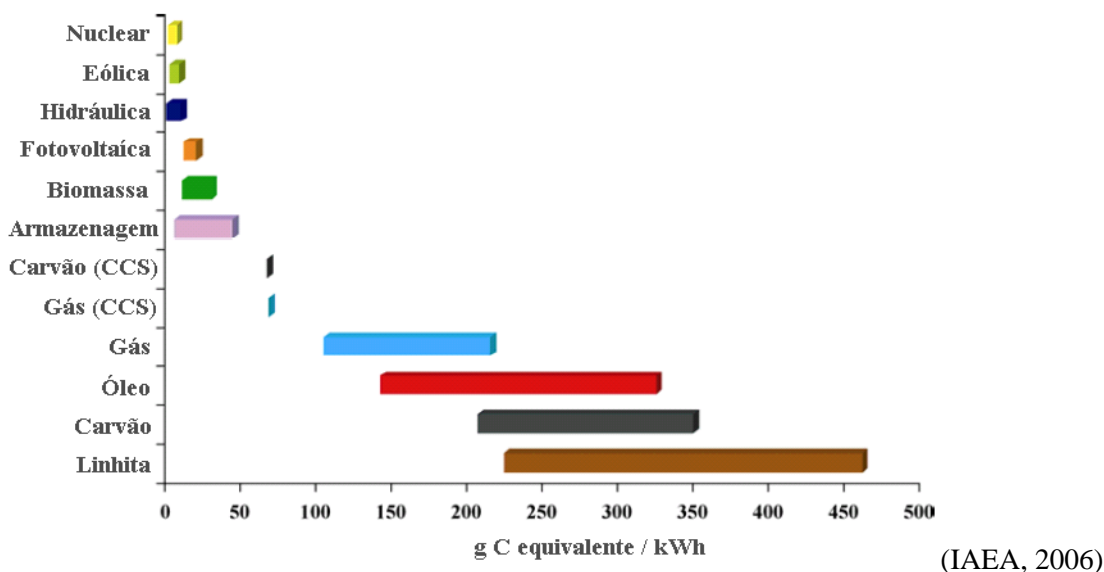


Figura 1. Emissões de CO₂ na cadeia completa de energia elétrica por fonte primária

A cadeia completa da energia nuclear, a partir da extração do recurso mineral até a disposição do rejeito e incluindo a construção de instalações e do reator, emite de 2 a 6 gramas de carbono equivalente por kilowatt-hora (Ceqg/kWh). Esta taxa é aproximadamente a mesma que da energia eólica e hidráulica, incluindo construção e fabricação de componentes. Todos os três, juntamente com a energia solar e a biomassa, estão bem abaixo do carvão, petróleo e gás natural (60-460 gCeq/kWh), mesmo levando em conta o processo de captura e armazenamento do carbono (CCS).

A Figura 1 indica que a estabilização da concentração de CO₂ na atmosfera vai exigir uma redução significativa das emissões das usinas elétricas a base de combustíveis fósseis, seja com a redução direta de suas emissões por meio da utilização mais eficiente da energia ou por meio de uma maior utilização de tecnologias renováveis e energia nuclear.

POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL

O Potencial de Aquecimento Global (GWP) é uma medida da capacidade de um gás na atmosfera para reter a radiação de calor proveniente da superfície da terra, em comparação com um gás de referência, geralmente, o dióxido de carbono. Os períodos de vida dos gases na atmosfera variam muito, e, por conseguinte, os resultados são integrados ao longo de diferentes intervalos de tempo. O Potencial de Aquecimento Global é calculado sobre um intervalo de tempo específico e este valor deve ser declarado para a comparação. Abaixo são fornecidas as estimativas mais recentes dos GWP's calculados pelo IPCC (2007) para os gases de efeito estufa mais comumente emitidos na cadeia de geração de eletricidade:

Tabela 2. Potenciais de aquecimento de gases da cadeia de energia elétrica.

| Nome Comum | Fórmula | Período de Vida (anos) | Horizonte de Tempo | | |
|---------------------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------|----------|----------|
| | | | 20 anos | 100 anos | 500 anos |
| Dióxido de Carbono | CO ₂ | * | 1 | 1 | 1 |
| Metano | CH ₄ | 12 | 72 | 25 | 7.6 |
| Óxido de Nitrogênio | N ₂ O | 114 | 289 | 298 | 153 |
| Hexafluoreto de Enxofre | SF ₆ | 3.200 | 16.300 | 22.800 | 32.600 |
| Tetrafluormetano | CF ₄ | 50.000 | 5.210 | 7.390 | 11.200 |
| Hidrofluorcarbono 134a | CH ₂ FCF ₃ | 14 | 3.830 | 1.430 | 435 |
| Clorofluorcarbono 114 | CClF ₂ CClF ₂ | 300 | 8.040 | 10.000 | 8.730 |
| Hidroclorofluorcarbono 22 | CHClF ₂ | 12 | 5.160 | 1.810 | 549 |

* A função resposta do CO₂ baseia-se na versão revista do ciclo Bern para o modelo com uma concentração de fundo do CO₂ de 378 ppm. O decaimento de um pulso de CO₂ com o tempo t é dada por $a_0 + \sum_{j=1}^3 a_j \cdot e^{-t/\tau_j}$ onde $a_0 = 0,217$, $a_1 = 0,259$, $a_2 = 0,338$, $a_3 = 0,186$, $\tau_1 = 172,9$ anos, $\tau_2 = 18,51$ anos, e $\tau_3 = 1,186$ anos (<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf>)

As estimativas de emissões ao longo da vida de diferentes tecnologias de geração elétrica são resumidas na Tabela 3 conforme publicado pela OECD (DTI, 2006):

A redução anual das emissões de carbono a partir do investimento em um GW nuclear é de aproximadamente 2,5 milhões de toneladas de CO₂ (700000 toneladas de carbono)/GW, em relação com o mesmo investimento em gás. Como ilustração para esta análise de custo/benefício, um programa para adicionar 6 GW de capacidades nucleares novas reduziria as emissões anuais

em cerca de 15 milhões de toneladas de CO₂ (4 milhões de toneladas de carbono). Avaliando a economia de emissões de CO₂ em um preço de £ 25/tonelada dá um valor atual de benefício em torno de 1,4 mil milhões de libras/GW ao longo dos quarenta anos das novas centrais construídas

Tabela 3. Liberações totais na vida útil de tecnologias selecionadas

| Tecnologia (2005-2010) | GC/kWh* | GeCO₂/kWh** |
|-------------------------------|----------------|-------------------------------|
| Linhita | 228 | 836 |
| Carvão | 206 | 755 |
| Gás Natural | 105 | 385 |
| Biomassa | 8-17 | 29-62 |
| Eólica | 3-10 | 11-37 |
| Nuclear | 3-6 | 11-22 |

*Gramas de carbono por kilowatt-hora de eletricidade produzida

** Gramas de dióxido de carbono por kilowatt-hora de eletricidade produzida

É importante notar que o cenário de redução das emissões acima liquefaz as emissões associadas com a construção de centrais nucleares, com a mineração, transporte e processamento de urânio.

A BAIXA EMISSÃO DE CO₂ COMO FORÇA POLÍTICA

No atual cenário de mudanças climáticas e aquecimento global, os países detentores de uma matriz energética diversificada e com ênfase em fontes primárias de baixa emissão deverão assumir uma posição credora frente a outras nações e exigir que ações reais sejam tomadas em direção a estabilização/redução do nível de CO₂ na atmosfera. A questão da diversificação é exemplificada na Tabela 4 abaixo para a Dinamarca, Alemanha, França e Suécia.

Tabela 4. Emissões per capita em matrizes energéticas diversificadas

| | | Dinamarca | Alemanha | França | Suécia |
|------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------|-----------------|---------------|---------------|
| Emissões da geração (tCO ₂ /capita) | | 9,4 | 10,3 | 6,2 | 5,8 |
| Estrutura da matriz | Carvão (%) | 46 | 50 | 5 | 1 |
| | Nuclear, hidráulica e renováveis (%) | 25 | 38 | 91 | 97 |

A matriz do Reino Unido com 73% a base de carvão e gás alcança 9,6 tCO₂/capita (SDC, 2006). É evidente a vantagem das emissões per capita de países com a geração de energia elétrica baseada na energia nuclear e renováveis.

Em termos mundiais e para alguns países selecionados as emissões per capita em 1990 e a projetada para 2030 são mostradas na Figura 2, conforme avaliação EIA/DOE (2007).

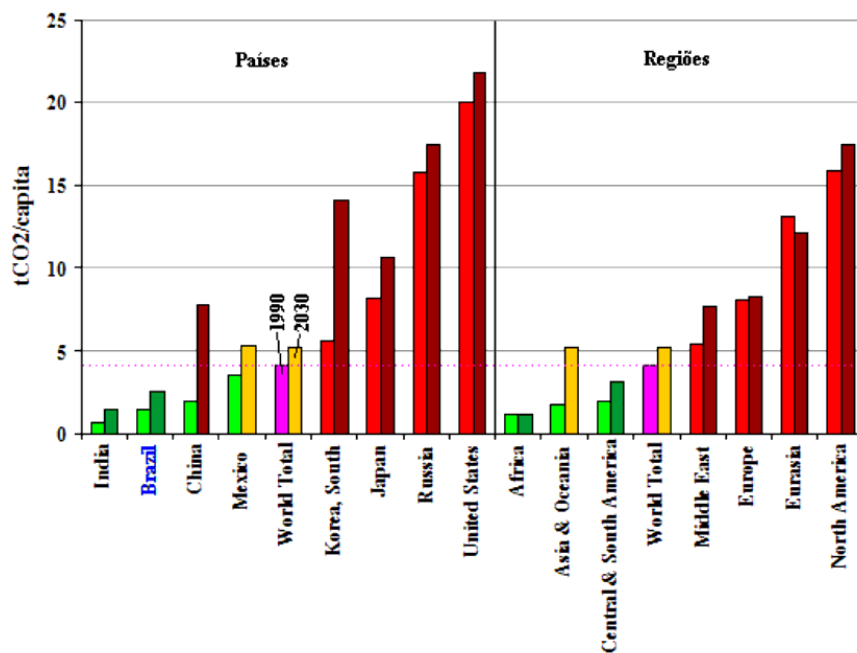


Figura 2. Emissões de CO₂ per capita de países e regiões

Diferentemente do esperado, frente às variações climáticas, as emissões mundiais continuarão a crescer na previsão EIA/DOE 2007. De acordo com Little Green Data Book 2007, o mundo produz hoje 16% mais CO₂ do que em 1990 (World Bank, 2007). Ainda conforme esta publicação do banco mundial, no presente momento a distribuição da emissão encontra-se na cota de 50% para os países industrializados e 50% para os demais países. No contexto de um acordo mundial para a estabilização da concentração de CO₂ no limite de 450 ppm, os países desenvolvidos já deveriam iniciar as suas reduções de modo a alcançar o limite de emissão per capita apropriado, e assim permitir que os demais países tenham espaço ambiental para buscar o desenvolvimento econômico e o bem-estar humano para suas populações, sem agravamento das variações climáticas.

De acordo o diretor da IEA, Nobuo Tanaka (IEA/OECD, 2008) mundo necessita de uma revolução energética global que transforme completamente a forma como produzimos e utilizamos energia. De modo a reduzir drasticamente a emissão mundial até 2050, manter a concentração de CO₂ na atmosfera abaixo de 450 ppm e atender o crescimento da demanda de

eletricidade seriam necessárias as instalações, em taxa anual, de 35 usinas a carvão e 20 unidades a gás equipadas com tecnologia de captura e armazenamento de CO₂ entre 2010 e 2050. O custo dessa mudança seria de US\$ 1,5 bilhão para cada tipo de usina. Além disso, precisariam ser construídas 32 usinas nucleares adicionais a cada ano e a capacidade eólica instalada teria que aumentar em 17.500 turbinas anualmente.

CONCLUSÕES:

As variações climáticas estão próximas de limites perigosos que exigem a ação coordenada dos países na busca da estabilização para a concentração atmosférica do dióxido de carbono e a mitigação do aquecimento global. Se analisada em uma base simples de emissões de CO₂/capita a ação requerida representa que países desenvolvidos devem reduzir drasticamente suas emissões de CO₂ de modo que os demais países possam buscar o desenvolvimento econômico e o bem-estar de seus povos de forma sustentada e sem riscos de agravamento das variações climáticas. Certamente, o equilíbrio exigirá uma ação coordenada globalizada e imporá alguma limitação no desenvolvimento mundial. De qualquer forma, as variações climáticas e seus efeitos já impõem taxas decrescentes de desenvolvimento econômico mundial na medida em que vidas, colheitas e bens materiais são perdidos.

Para as escalas de crescimentos das demandas mundial e brasileira de energia elétrica, que representam, respectiva e praticamente, dobrar e triplicar em 27 anos o consumo estabelecido ao longo do século XX, todas as formas de geração e suas fontes primárias podem e deverão ser usadas. A questão principal reside na “combinação assustadora da demanda de energia crescente com aumento das emissões dos gases de efeito estufa e escassez dos recursos. Uma revolução tecnológica mundial de energia é necessária e viável, mas será um desafio árduo”. As soluções apontam por uma desaceleração do crescimento dos países industrializados e de modo que haja espaço para o desenvolvimento econômico dos demais países. Nos tempos atuais a tecnologia nuclear, quase banida há 20 anos, assume um papel primordial para o atendimento das necessidades de crescimento do setor de energia elétrica. Neste contexto, a energia nuclear já é

defendida por cientistas fundadores de movimentos de conscientização pública da biodiversidade e sua relação com o meio ambiente. Desta forma uma nova revolução é necessária para combater as antigas formas de geração baseada na queima de combustíveis de origem orgânica.

Iniciativas, como o Protocolo de Quioto devem ser incentivadas por apelos públicos dos países que já atendem suas propostas. Uma revolução tecnológica mundial de energia é necessária. O desenvolvimento econômico a qualquer custo já não pode ter espaço no cenário mundial de conjugação de esforços para a mitigação das variações climáticas e do aquecimento global.

REFERÊNCIAS

Bouttes, Jean-Paul. Electricity Generation and Climate Change, In: *IEA-ENEL Workshop, Sectoral Approaches for Greenhouse Gas Mitigation in the Power Sector*, ROME, 30-31 October 2006.

DTI. The Energy Challenge Energy Review Report 2006, Department of Trade and Industry, Presented to Parliament by the Secretary of State for Trade and Industry by Command of Her Majesty, July 2006. www.official-documents.gov.uk/document/cm68/6887/6887.pdf

EIA/DOE - Energy Information Administration. International Energy Outlook – 2007, May 2007, (DOE/EIA-0484(2007)). Disponível em: www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/.

EIA/DOE - Energy Information Administration. *International Energy Outlook – 2006*, June 2006, (DOE/EIA-0484(2006)). Disponível em: www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/.

EPE/MME. *Matriz Energética Nacional 2030*, Ministério de Minas Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética, Brasília : MME :EPE, 2007.

IAEA *Nuclear Power and Sustainable Development*, IAEA, Austria, April 2006. iaea.org/Publications/Booklets/Development/npsd0506.pdf

IEA/OECD, Energy Technology Perspectives – 2008, Scenarios & Strategies to 2050, IEA, OECD, June 2008. <http://www.iea.org/>

IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Working Group I Contribution to the IPCC Fourth Assessment Report, WMO, 2007, <http://www.ipcc.ch/>

SDC *The role of nuclear power in a low carbon economy*, Paper 2: Reducing CO₂ emissions - nuclear and the alternatives. Sustainable Development Commission, UK, March 2006. www.sd-commission.org.uk

World Bank NEWS RELEASE: “*Little Green Data Book 2007*” Carbon dioxide emissions on the rise, warns World Bank publication, siteresources.worldbank.org/INTDATA/64199955-1178226923002/21326741/FINALPressReleaseLGDB2007.pdf