

REVOLUÇÃO ENERGÉTICA: UM CENÁRIO ENERGÉTICO SUSTENTÁVEL PARA 2050

Ricardo Lacerda Baitelo¹

Ricardo Junqueira Fujii²

Sven Teske³

RESUMO

O cenário Revolução Energética 2013 é uma atualização dos cenários publicados em 2007 e 2010 e incorpora tendências atuais em termos de produção e consumo de energia, em especial o aumento de competitividade de fontes renováveis no curto e médio prazo. O cenário mostra como fontes renováveis podem fornecer mais de 60% da energia primária do país, a despeito do aumento dessa matriz até 2050. O Brasil pode estabilizar suas emissões de CO₂ no setor energético até 2025 e reduzi-las nas décadas seguintes, sem comprometer seu crescimento econômico. O cálculo dos cenários foi feito por meio do modelo MESAP/PlaNet, alimentado por dados incluindo custos, potenciais, parâmetros técnicos e premissas referentes a fontes energéticas entre 2010 e 2050.

Palavras-chave: energias renováveis, projeção de demanda energética, eficiência energética, emissões de CO₂.

ABSTRACT

The Energy [R]evolution 2013 scenario is an update of the scenarios published in 2007 and 2010. It takes up recent trends in energy demand and production, especially the increase in competitiveness of renewable energy sources in the short and mid run. The Energy [R]evolution scenario shows how renewable energy can provide more than 60% of Brazil's primary energy needs by 2050. Brazil can stabilise its CO₂ emissions by 2025 and reduce afterwards, whilst at the same time increasing their energy demand for economic growth. The MESAP/PlaNet energy system model is used for simulating energy supply strategies with the input of data including costs, potentials, technical parameters and premisses related to energy sources from 2010 to 2050.

Keywords: renewable energy; demand projection, energy efficiency, CO₂ emissions.

¹ Greenpeace Brasil, rbaitelo@greenpeace.org, 11 98361 0074.

² Universidade de São Paulo, ricardo.fujii@gmail.com.

³ Greenpeace Internacional, sven.teske@greenpeace.de.

1. INTRODUÇÃO

O cenário [R]evolução Energética 2013 projeta o consumo e a geração de energia no Brasil até 2050. Para isso, considera o potencial do país em utilizar alternativas sustentáveis, economicamente viáveis e menos impactantes em termos sociais e ambientais. A versão internacional do [R]evolução Energética já teve quatro edições, tornando-se uma referência global do setor. No Brasil, a primeira edição foi lançada em 2007. Sua proposta sempre foi o de propor um futuro com energia limpa e renovável para o Brasil, indicando o caminho a seguir para alcançar esse objetivo. Esta terceira edição brasileira, além de explorar ao máximo o que seria uma matriz diversificada e renovável no país, é a primeira a trabalhar projeções da matriz energética incluindo os setores industrial e de transportes.

2. METODOLOGIA

2.1. Cenários

Para esse relatório, foram elaborados dois cenários. O primeiro, chamado de referência ou tendencial, usa dados da EPE (Empresa de Pesquisa Energética), que constam nos estudos “Plano Decenal de Energia Elétrica 2012-2021” e “Balanço Energético Nacional 2012”. O segundo, o [R]evolução Energética, foi elaborado com projeções de pesquisadores da USP e da Coppe/UFRJ e premissas do Conselho Europeu de Energias Renováveis, DLR (Agência Aeroespacial Alemã) e Greenpeace.

Ambos baseiam-se nas mesmas projeções de crescimento populacional, econômico e de demanda de energia para 2050. O que diferencia os dois panoramas é que o cenário de referência tem como premissa as tendências de planejamento energético sinalizadas pelo governo brasileiro para as próximas décadas. Já o [R]evolução Energética prevê maior implantação de novas fontes renováveis e esforços de redução de uso de energia nos setores de eletricidade, transportes e indústria. A produção desses cenários contou com a execução, a supervisão técnica e a revisão de profissionais dos setores elétrico, de transportes e economistas.

2.1.1. O modelo MESAP/PlaNet

O cálculo dos cenários foi feito através do desenvolvimento de conjuntos de dados de entrada detalhados tendo em conta objetivos definidos, potenciais energéticos e parâmetros específicos para energia, produção de calor e uso de combustíveis em sistemas energéticos. Estes conjuntos de dados foram introduzidos no modelo MESAP/PlaNet, que calculou o balanço energético do sistema até 2050. O modelo de simulação MESAP/PlaNet foi criado para o planejamento estratégico de longo prazo em nível nacional, regional ou local.

O modelo possui módulos independentes para o cálculo de oferta e demanda energética e para o cálculo de custos macroeconômicos associados, ambos por meio de equações lineares.

2.1.2. Projeções de demanda energética

O potencial de aumento de eficiência energética em usos finais é contabilizado de forma adicional ao cenário de referência. Os cenários de baixa demanda energética são baseados em estudos e cálculos consideram critérios como a penetração de tecnologias emergentes, manutenção de nível de conforto da população e substituição de equipamentos ao final de sua vida útil.

A seleção dessas medidas é baseada no atual uso de energia no mundo por setores e subsetores.

No cenário de referência, a demanda total de energia final aumenta em 108%, dos atuais 8.173 PJ/ano para 17.040 PJ/ano em 2050. No cenário [R]evolução Energética, a demanda final de energia aumenta em 54% em comparação com o consumo atual e alcança cerca de 12.600 PJ/ano em 2050.

Em relação à eletricidade, o cenário [R]evolução Energética prevê um aumento da demanda total de 438 TWh/ano em 2010 para 1.023 TWh/ano em 2050. Em comparação ao cenário de referência, medidas de eficiência nos setores da indústria, residencial e de serviços evitarão a geração de 205 TWh/ano. Essa redução pode ser alcançada com conjunto de ações, como o uso de equipamentos eficientes em todos os setores, racionalização do uso da energia, substituição de chuveiros elétricos por aquecimento solar de água e também pela introdução de dispositivos eletrônicos de alta eficiência, utilizando as melhores tecnologias disponíveis.

As projeções de demanda energética foram obtidas com base na (i) definição da demanda energética do cenário de referência e a partir do (ii) desenvolvimento de cenários de baixa demanda energética, incluindo potenciais melhorias de eficiência.

2.1.3. Principais impulsionadores do crescimento energético

Crescimento populacional:

De acordo com o cenário de referência da IEA (Agência Internacional de Energia) – que utiliza as projeções de crescimento demográfico da ONU – e com projeções do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), a população do Brasil aumentará em proporção semelhante à média latino-americana e de forma menos acentuada que outras regiões em desenvolvimento, chegando a 2050 com 223 milhões de habitantes.

O crescimento médio anual será de 0,64%. Essa tendência de estabilização do crescimento traz consequências positivas porque alivia a pressão sobre a demanda de recursos energéticos e sobre o ambiente.

Crescimento econômico:

O crescimento econômico é determinado pelos setores produtivos da economia nacional e é um dos principais fatores responsáveis pelo aumento da demanda por energia e eletricidade. Os dados de expansão da economia foram projetados pelo Itaú, resultando nos índices da tabela 1.

Tabela 1 – Projeção de crescimento do PIB. (Itaú, 2012).

| | 2011-2015 | 2016-2020 | 2021-2030 | 2031-2040 | 2041-2050 |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Crescimento anual do PIB | 3,70% | 3,50% | 2,50% | 2,50% | 2,50% |

Os valores da década de 2011 a 2020 são próximos aos valores médios da década anterior – 2001 a 2010 – e superiores aos PIBs médios das décadas de 1980 e de 1990, e consideram o crescimento econômico possível no período. Já a estimativa para as próximas décadas (2020, 2030 e 2040) é amparada na projeção da atual situação econômica, considerando diferentes fatores que tendem a manter o crescimento no patamar de 2,5%.

A relação entre PIB e energia pode ser medida por sua elasticidade, ou seja, a relação entre o aumento do PIB e o consumo adicional de eletricidade necessário para produzi-lo. Quanto mais eficiente o uso da energia, menor será a quantidade necessária para produzir a mesma unidade de PIB. De acordo com o PDE 2012-2021, a elasticidade-renda prevista para a próxima década é estimada em 1,04 para eletricidade e 1,01 para energia, ou seja, para cada ponto percentual de crescimento de PIB, a demanda de eletricidade aumenta 1,04%.

A demanda por eletricidade foi calculada com base em estimativas de crescimento do PIB e da elasticidade. Já a elasticidade foi estimada com base em dados do Itaú, números calculados pelo governo no PDE 2012-2021 e extrapolada até 2050:

Tabela 2 – Projeção de crescimento do PIB. (Itaú, 2012).

| | 2011-2015 | 2016-2020 | 2021-2030 | 2031-2040 | 2041-2050 |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Elasticidade - residências | 1,1 | 1,1 | 1,06 | 0,97 | 0,83 |
| Elasticidade - indústria | 0,85 | 0,85 | 0,8 | 0,78 | 0,78 |
| Elasticidade - comércio | 1,1 | 1,1 | 1,06 | 0,97 | 0,83 |

3. RESULTADOS

Em 2011, as fontes de energia renováveis responderam por 45,8% da demanda de energia primária do Brasil – um êxito mundial, uma vez que a média global foi de 13% em 2010, segundo o World Energy Outlook 2012. As principais fontes renováveis utilizadas no Brasil são o etanol e outros derivados de cana. Já no que diz respeito à geração de eletricidade, a participação das renováveis chegou a 89% em 2011, graças principalmente às hidrelétricas.

O [R]evolução Energética aponta a expansão do uso de renováveis no Brasil e uma redução considerável das emissões de CO₂ quando comparadas com o cenário de referência. Isso excluindo as usinas nucleares e a exploração não convencionais de combustíveis fósseis, como o pré-sal ou o gás do xisto.

A participação da energia renovável na matriz energética brasileira chega a 66,5% em 2050. No cenário de referência, esse valor é de 45,1%. Quanto ao consumo final de energia, o cenário [R]evolução Energética indica uma demanda 25% menor em 2050 do que o cenário de referência. Essa redução é puxada principalmente pelos setores de transportes (redução de 29%) e indústria (redução de 22%), como pode ser visto na figura 1 abaixo.

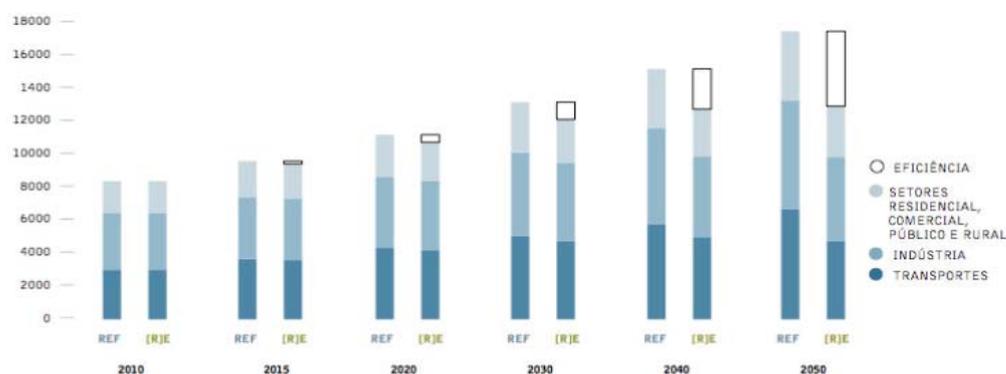


Figura 1 – Projeção da demanda final de energia por setores em ambos os cenários (em PJ).

Em relação ao setor elétrico, projeta-se uma matriz brasileira quase quatro vezes maior do que a atual em 2050. Mesmo assim, o [R]evolução Energética prevê uma participação das renováveis de 91,9%. No cenário de referência, a participação de renováveis é de 69,9% (figura 2).



Figura 2 – Geração de eletricidade em ambos os cenários (em TWh).

O cenário apresentado não apenas consolidaria o Brasil como uma potência energética renovável como contribuiria para um corte de 60% das emissões brasileiras de CO₂ projetadas para 2050 – seriam 312 milhões de toneladas pelo [R]evolução Energética, em comparação com os 777 milhões de toneladas do cenário de referência.

Para alcançar esse cenário, as seguintes medidas são necessárias:

No cenário de referência, a demanda final de energia dobraria, dos atuais 8.173 PJ (peta-joule) para 17.040 PJ em 2050 (figura 1). No cenário [R]evolução Energética, o crescimento da demanda final de energia é metade desse valor, atingindo cerca de 12.600 PJ em 2050, como resultado do uso racional e mais eficiente da energia em edifícios, indústrias e meios de transportes.

No cenário [R]evolução Energética, a demanda de eletricidade aumentará na indústria, nos transportes, nas residências e no setor de serviços. A demanda anual de eletricidade subirá de 438 TWh para 1.023 TWh em 2050. Em comparação com o cenário de referência, medidas de eficiência para indústria, residências e para o setor de serviços evitarão a geração de 205 TWh nesse ano.

A redução será alcançada graças à utilização de equipamentos mais eficientes em todos os setores de consumo. Por outro lado, observa-se um maior uso de eletricidade no setor de transportes pelo cenário [R]evolução Energética.

O desenvolvimento da oferta de energia elétrica é caracterizado por um mercado crescente de renováveis, o que deve substituir as usinas nucleares e térmicas a óleo e carvão. Em 2050, pelo cenário [R]evolução Energética, 91,9% da eletricidade produzida no Brasil será proveniente de fontes renováveis de energia. As “novas” fontes

renováveis – principalmente eólica, fotovoltaica, CSP (energia solar heliotérmica ou concentrada) e biomassa – contribuirão com 38% da geração de eletricidade. A capacidade instalada de renováveis sairá de 92 GW em 2010 para 197 GW em 2030 e 396 GW em 2050.

Tabela 3 – Projeção da capacidade instalada de energias renováveis (em GW).

| | | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|---------------|------|------|------|------|------|------|
| Hidrelétricas | REF | 87 | 114 | 136 | 151 | 161 |
| | E[R] | 87 | 100 | 106 | 112 | 114 |
| Biomassa | REF | 4.5 | 10.4 | 15 | 19 | 24 |
| | E[R] | 4.5 | 13 | 20 | 25 | 28 |
| Eólicas | REF | 0.9 | 15 | 24 | 35 | 44 |
| | E[R] | 0.9 | 16 | 43 | 78 | 110 |
| Solar FV | REF | 0 | 0.4 | 1.1 | 3.0 | 8.0 |
| | E[R] | 0 | 2.8 | 24 | 68 | 100 |
| Solar CSP | REF | 0 | 0 | 0.9 | 2.3 | 3.0 |
| | E[R] | 0 | 0 | 4.5 | 24 | 39 |
| Oceânica | REF | 0 | 0 | 0 | 0.4 | 1.0 |
| | E[R] | 0 | 0 | 0.4 | 1.9 | 4.2 |
| Total | REF | 92 | 140 | 177 | 211 | 240 |
| | E[R] | 92 | 132 | 197 | 309 | 396 |

A introdução de tecnologias renováveis no cenário [R]evolução Energética reduz os custos da geração de eletricidade. Isso porque, no cenário de referência, o crescimento da demanda, o custo dos combustíveis fósseis para termelétricas e a inclusão dos custos de emissões de CO₂ elevará o valor de fornecimento de energia elétrica para mais de R\$ 440 bilhões em 2050 – hoje, com uma matriz quatro vezes menor, esse valor chega a R\$ 68 bilhões por ano. O cenário [R]evolução Energética apresenta um custo de geração de eletricidade de R\$ 88/MWh mais baixo do que o do cenário de referência em 2050. Outros fatores que determinam a redução do valor são as medidas de eficiência energética, capazes de reduzir os custos em longo prazo para o fornecimento de energia elétrica em 27% em relação ao cenário de referência.

O cenário de referência prevê investimentos totais no setor elétrico de R\$ 1,87 trilhão entre 2010 e 2050, enquanto que no [R]evolução Energética o investimento seria de R\$ 2,39 trilhões – R\$ 58 bilhões por ano. Aproximadamente 97% dos investimentos seriam direcionados para energias renováveis como eólica e biomassa – fontes já consolidadas no mercado brasileiro – e para eólicas offshore, energia fotovoltaica, usinas CSP (energia solar concentrada) e energia oceânica.

Apesar de o investimento apresentado ser mais alto, as vantagens econômicas começam a ficar evidentes quando se comparam os gastos com combustíveis fósseis de cada cenário. Considerando o preço do gás natural e do óleo combustível, e sua crescente utilização ao longo do horizonte de análise, a construção de menos usinas termelétricas e mais renováveis no cenário [R]evolução Energética pouparia R\$ 1,11 trilhão até 2050, ou uma média de R\$ 28,4 bilhões por ano. A economia total seria, portanto, de mais do que o dobro dos investimentos adicionais necessários ao cenário [R]evolução Energética, como mostra a tabela 4.

Tabela 4 – Diferença de custos de investimentos em eletricidade e combustíveis entre cenários (em R\$)

| CUSTOS ACUMULADOS DE INVESTIMENTOS | | 2011 - 2020 | 2021 - 2030 | 2031 - 2040 | 2041 - 2050 | 2011 - 2050 | 2011 - 2050 |
|------------------------------------|--------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | MÉDIA ANUAL | | | | | |
| DIFERENÇA ENTRE REF E [R]E | | | | | | | |
| Fontes fósseis + nuclear | bilhões R\$ | 24.0 | 25.1 | 89.9 | 98.8 | 237.9 | 5.94 |
| Renováveis | bilhões R\$ | 65.3 | -58.2 | -386.3 | -375.3 | -754.5 | -18.92 |
| Total | bilhões R\$ | 89.4 | -33.1 | -296.4 | -276.4 | -516.6 | -12.98 |
| CUSTOS ACUMULADOS DE INVESTIMENTOS | | | | | | | |
| ECONOMIA ACUMULADA: [R]E - REF | | | | | | | |
| Óleo combustível | bilhões R\$ | 11.7 | 50.0 | 73.4 | 89.6 | 224.7 | 5.6 |
| Gás natural | bilhões R\$ | -63.0 | -144.4 | 157.7 | 843.5 | 793.8 | 19.8 |
| Carvão | bilhões R\$ | 2.3 | 8.7 | 14.1 | 18.2 | 43.1 | 1.1 |
| Nuclear | bilhões R\$ | 1.3 | 6.2 | 14.2 | 27.5 | 49.0 | 1.2 |
| Total | bilhões R\$ | -47.8 | -79.6 | 259.3 | 978.6 | 1110.6 | 27.8 |

A projeção da matriz energética no cenário de referência indica que as emissões podem atingir 777 milhões de toneladas até 2050 (figura 3). Pelo cenário [R]evolução Energética, as emissões do setor energético saem de 358 milhões de toneladas de CO₂ em 2010, atingem o pico de 512 milhões de toneladas de CO₂ por ano em 2020 e caem para 312 milhões de toneladas de CO₂ em 2050. As emissões anuais per capita caíram de 1,8 tonelada para 1,4 tonelada, praticamente um terço das emissões per capita do cenário de referência. Apesar do aumento da frota de veículos, da atividade industrial e do parque gerador de eletricidade, essa redução é possível graças à substituição das termelétricas pela ampliação do parque de usinas renováveis, ao uso de biocombustíveis e eletricidade em veículos e à redução do consumo fóssil na indústria.

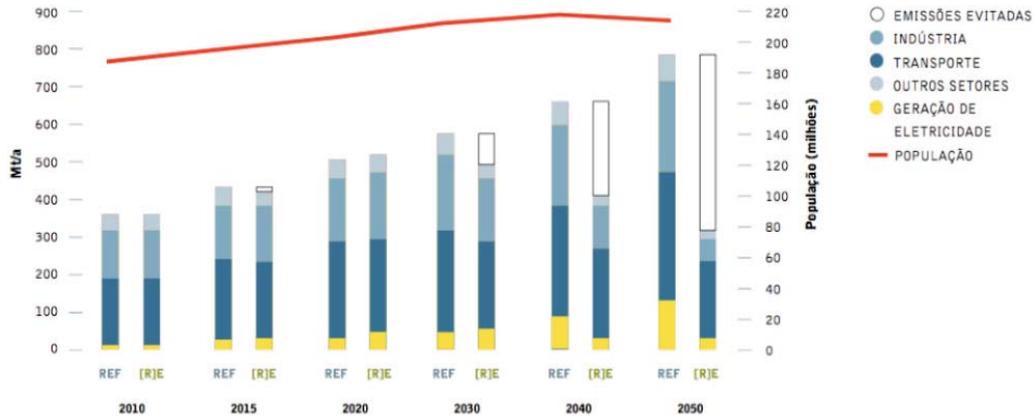


Figura 3 – Evolução das emissões de CO₂ por setores em ambos os cenários (em toneladas de CO₂).

4. CONCLUSÕES

O cenário [R]evolução Energética define uma projeção de demanda de energia incorporando medidas de eficiência energética aliada a um desenvolvimento ambicioso de energias renováveis. A base para a projeção de demanda de energia é um cenário de referência com base na extrapolação do PDE 2012-2021 para 2050 considerando crescimento econômico e acesso energético a toda a população. Nesse cenário, a demanda final de energia aumenta de 8.173 PJ em 2010 para 12.600 PJ em 2050, ou um aumento de 54%. A demanda é balizada pelo potencial técnico de tecnologias de uso final, bem como outros restritores como custos. Tal resultado possibilitou a inserção de fontes renováveis em 78% no setor industrial e 87% nos demais setores (residencial, comercial e rural).

Para alcançar um crescimento economicamente atraente de fontes de energia renováveis, o emprego equilibrado de todas as tecnologias é extremamente importante. Tal desenvolvimento depende de critérios de escolha baseados em potenciais técnicos, custos reais de fontes energias, e consideração de curva de aprendizado. Redes inteligentes de geração de energia renovável, bem como mais recursos para Pesquisa e Desenvolvimento em tecnologias de armazenamento de eletricidade, são vitais para transformar este cenário em realidade.

A implementação de redes inteligentes é vital de 2020 em diante porque a geração de energia dinâmica de parques eólicos e sistemas solares, requerem infraestrutura e operação diferentes da rede, em comparação ao sistema atual.

A principal barreira para triplicar a capacidade instalada das fontes renováveis não é a indústria. Políticas energéticas de longo prazo com um quadro claro para investimentos de infraestrutura são necessários para possibilitar essa matriz.

Além dos desafios técnicos de integração de grandes quantidades de energia eólica e solar fotovoltaica na rede, um modelo de negócios diferente é necessário para construir e operar sistemas de geração de energia descentralizada em vez de usinas centralizadas. O gerenciamento da demanda torna-se um fator importante para minimizar a necessidade de armazenamento de energia e otimizar o uso de fontes flutuantes como eólica e solar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EC (European Commission), 2005, A Vision for Photovoltaic Technology, Report by the Photovoltaic Technology Research Advisory Council (PV-TRAC), European Commission, 2005.

Greenpeace/EREC, 2007. Energy [R]evolution – a sustainable world energy outlook.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010, Censo Demográfico 2010 <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>

IEA 2011a. World Energy Outlook 2011. OECD/IEA, Paris.

IEA 2011b. Energy Balances of Non-OECD Countries, 2011 Edition. OECD/IEA Paris.

IPCC 2012: Relatório especial sobre fontes de energia renováveis e mitigação das mudanças climáticas. WG III IPCC, Cambridge University.

Krewitt, W., Simon, S., Graus, W., Teske, S., Zervos, A., Schäfer, O. 2007. The 2 °C scenario – A sustainable world energy perspective. Energy Policy 35 (2007) 4969-4980.

MESAP 2008. <http://www.seven2one.de/mesap.php>.

MME, EPE. PDE 2012-2021, 2012. Plano Decenal de Expansão de Energia. Rio de Janeiro.

Teske, S; Pregger, T; Simon, S.; Naegler, T.; O'Sullivan, M.; Schmid, S.; Frieske, B.; Pagenkopf, J.; Graus, W.; Kermeli, K.; Zittel, W.; Rutovitz, J.; Harris, S.; Ackermann, T.; Ruwahata, R.; Martensen, N. 2012: Energy [R]evolution - a sustainable world energy outlook - 4th edition 2012 world energy scenario. Report by Greenpeace International/EREC GWEC (Eds.).

UNPD 2011. World Population Prospects: The 2010 Revision (medium variant), United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. <http://www.un.org/esa/population/> (April 2011).