

## Modelo de sistema energético TIMES\_BR\_light: dos serviços de energia à oferta de energia solar

Juliana Barbosa, Luís Dias e João Pedro Gouveia

1. Overview - A atual crise climática impõe à sociedade a necessidade de realizar uma transição energética no sentido do baixo carbono, tornando-se mais eficiente, mais eletrificada e usando as energias renováveis em larga escala [1]. Os níveis de concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera atingiram em outubro de 2016 patamares superiores a 400 partes por milhão de CO<sub>2</sub> equivalente [2] o que é incompatível com a meta de limitação do aquecimento médio global em 1.5° até 2100 [3, p. 227]. No Brasil, em [4], a estimativa de emissões de gases de efeito estufa divide-se em energia, mudança do uso do solo, agropecuária, indústria e resíduos. Os setores de produção e consumo de energia incluem os transportes, a produção de combustíveis, o consumo de energia nos setores industrial, residencial e o agropecuário além da geração de eletricidade. Sendo este último o segundo maior emissor em termos de emissões líquidas (32%), ficando apenas atrás da mudança do uso do solo (37%) [4]. Na última década a matriz elétrica tem sofrido uma significativa carbonização: as emissões de gases de efeito estufa provenientes da geração de eletricidade no sistema integrado nacional tendo como combustível o gás natural aumentaram de 3.85MtCO<sub>2e</sub> em 2009 para 26.08 MtCO<sub>2e</sub> em 2013, as de carvão aumentaram de 5.8MtCO<sub>2e</sub> em 2009 para 15.86MtCO<sub>2e</sub> em 2013 e as de óleo de 0.3MtCO<sub>2e</sub> em 2009 para 8.01MtCO<sub>2e</sub> em 2013[5], [6]. Assim o planejamento energético do país não pode mais tratar as questões ambientais e climáticas sob uma ótica de elementos acessórios e limitantes da expansão [7, p. 54]. O planejamento energético futuro atualmente está formulado com utilização de modelos paralelos para a projeção da demanda e da oferta, o MIPE e o MESSAGE respectivamente [8]. Como alternativa poderia ser usado um sistema integrado, onde seria possível relacionar diferentes fontes de energia e tecnologias às diferentes necessidades de serviços de energia, um modelo bottom-up que considera não a energia final demandada mas os serviços prestados por esta energia (aquecimento de água, resfriamento de espaços, etc) pode ser uma forma de não bloquear futuras opções tecnológicas e de fontes de energia para o sistema energético [9].

2. Methodology – Para responder à necessidade de uma alternativa de planejamento energético integradora, este trabalho descreve a criação de um modelo integrado de projeção da oferta, da demanda e da necessidade de políticas energético climáticas para o futuro: o modelo TIMES\_BR\_light. Este modelo está a ser desenvolvido para o Brasil e assenta na ferramenta TIMES – The Integrated Markal EFOM System desenvolvido pela ETSAP/IEA, que é usado atualmente para modelar diferentes sistemas energéticos: mundial TIAM [10]; europeu [11], português [12], chinês [13]. Este trabalho pretende apresentar o modelo supracitado, incluindo a descrição do modelo bem como com a apresentação de alguns dos seus principais pressupostos e a função objetivo do modelo.

3. Results - O principal objetivo do modelo é a identificação das tecnologias que permitam a minimização dos custos totais do sistema energético por meio de programação linear, é um modelo de otimização do tipo *bottom-up*.

A função objetivo do modelo é:  $VPL = \sum_{y \in YEARS} (1 + d_y)^{REFYR - y} . ANNCOST(y)$

Onde o VPL é o valor presente líquido dos custos totais,  $d$  é a taxa de desconto,  $y$  é o ano e REFYR é o ano de referência. ANNCOST são os custos totais anuais e YEARS são os anos para os quais há custos.

Neste modelo o Brasil é tratado como uma única região. A ferramenta permite a consideração da sazonalidade, a diferenciação entre os perfis intra-diários e as diferenças entre os dias de semana e finais de semana. Neste modelo foram criadas 18 *timeslices*, as estações do ano foram consideradas verão, inverno e intermediárias, os períodos do dia foram separados em dia, noite e pico e os dias da semana divididos em dias de semana e de final de semana.

Nesta ferramenta o fluxo de energia da geração ao uso ocorre por um encadeamento de processos que estão ligados pelas commodities que eles usam e produzem. Este modelo apresenta atualmente 125 processos e 105 commodities. Cada fonte de energia, produzida ou importada, entra no sistema e é direcionada à transformação ou ao uso final, ou à transformação e depois ao uso final, conforme sua natureza. Por exemplo, no caso da energia solar são considerados duas formas, a fotovoltaica para geração de eletricidade e a energia solar térmica. A energia solar entra no sistema como uma *commodity* SOL que terá quatro usos, cada um será encaminhado para um processo. A ELSOL é a

*commoditie* que será direcionada ao uso para eletricidade por meio do processo ELCSOL00, ou seja, a transformação de energia solar em energia elétrica com a tecnologia existente no ano 0 ou ano de referência do modelo. A RESSOL é a *commoditie* que será direcionada para o setor residencial onde por meio do processo RWHSOL00 será transformada para atender diferentes demandas como por exemplo a água quente. Um processo similar ocorre nos setores comercial e industriais, contudo o modelo só está desagregado por usos finais no setor residencial e transportes, portanto a demanda do setor comercial e industrial não inclui desagregação por tipo de usos. Para cada processo é considerado a eficiência, o fator de utilização e tempo de vida.

Para as fontes primárias foram considerados os custos por unidade de energia, além das reservas e da produção anual, o levantamento dos custos foi feito em [14], [15], [16] entre outras. Para a caracterização da frota de veículos automóveis foram usados [17]–[19]. Para as tecnologias futuras serão incluídos os custos de investimento e de manutenção e operação.

São consideradas todas as fontes presentes na Matriz Energética Nacional do Balanço Nacional de Energia [20] tendo como ano de referência 2013. Os setores econômicos considerados são: a indústria, a agricultura, comércio, setor público, transportes e o residencial. A desagregação da demanda permite que, por exemplo as necessidades de água quente possam ser atendidas não apenas com gás e eletricidade, mas também com energia solar térmica.

#### 4. Conclusion

O setor elétrico e a energia solar são o foco principal do trabalho final, mas para o planejamento de médio e longo prazo, as fontes de energia do sistema (fósseis, nuclear e renováveis) são indissociáveis entre si e especialmente para política energética e climáticas conjuntas, todo o sistema deve ser considerado. Finalmente, para questionar o paradigma hídrico-fóssil e pensando fora da caixa em formas de permitir o uso da energia solar de uma forma mais ampla, o modelo se propõe a incluir os serviços de energia em cada setor.

O modelo ora apresentado permitirá incluir análise de políticas de mitigação de alterações climáticas tais como soluções custo-eficazes para atingir um máximo de emissões de CO<sub>2eq</sub> ou diferentes cenários de custo de carbono. O modelo de equilíbrio parcial, de otimização tecnológica e planejamento energético pode ser fornecer informação essencial para a discussão dos papéis que a energia solar poderá desempenhar na matriz energética brasileira, e analisar a sua competitividade para com outras opções tecnológicas.

#### 5. Referencias

- [1] S. Pacala, 'Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next 50 Years with Current Technologies', *Science*, vol. 305, no. 5686, pp. 968–972, Aug. 2004.
- [2] N.-E. NASA, 'Trends in Atmospheric Carbon Dioxide'. 11-Nov-2016.
- [3] B. Metz and Intergovernmental Panel on Climate Change, Eds., *Climate change 2007: mitigation of climate change: contribution of Working Group III to the Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge ; New York: Cambridge University Press, 2007.
- [4] Observatório do Clima, 'Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG)'. 2016.
- [5] EPE, 'Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2014. Ano Base 2013.' Brasil, Empresa de Pesquisa em Energia, 2014.
- [6] EPE, 'Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2011. Ano Base 2010.' Brasil, Empresa de Pesquisa em Energia, 2011.
- [7] Brasil and Empresa de Pesquisa Energética, 'Plano Nacional de Energia 2030'. EPE, 2007.
- [8] Brasil and Ministério das Minas e Energia, 'Volume 2 - Projeções. Plano Nacional de Energia 2030 / Ministério de Minas e Energia ; colaboração Empresa de Pesquisa Energética . 12 v.' EPE, 2007.
- [9] J. P. Gouveia, P. Fortes, and J. Seixas, 'Projections of energy services demand for residential buildings: Insights from a bottom-up methodology', *Energy*, vol. 47, no. 1, pp. 430–442, Nov. 2012.
- [10] UCL, 'TIAM\_UCL Global Energy Model'. Feb-2011.
- [11] S. Simoes *et al.*, *The JRC-EU-TIMES model: assessing the long-term role of the SET plan energy technologies*. Luxembourg: Publications Office, 2013.
- [12] J. P. Gouveia, L. Dias, P. Fortes, and J. Seixas, 'TIMES\_PT: Integrated Energy System Modeling', presented at the Proceedings of the First International Workshop on Information Technology for Energy Applications, Lisboa, 2012, vol. 923, pp. 69–78.
- [13] L. Jia, C. Wenying, and L. Deshun, 'Scenario analysis of China's future energy demand based on TIMES model system', *Energy Procedia*, vol. 5, pp. 1803–1808, 2011.
- [14] D. N. de P. M. Brasil, 'Sumário Mineral'. 2014.
- [15] N. E. A. OECD and International Atomic Energy Agency, 'Uranium 2014: Resources, Production and Demand'. 2014.
- [16] Agência Nacional do Petróleo, Gás and Natural e Biocombustíveis, 'Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis : 2014'. ANP, 2014.
- [17] Agência Nacional de Aviação Civil, 'ANUÁRIO DO TRANSPORTE AÉREO. Dados Estatísticos e Econômicos de 2013'. ANAC, 2014.
- [18] A. N. de T. A. Brasil, 'Anuário Estatístico Aquaviário 2013'. 2016.
- [19] D. N. de T. Brasil, 'Estatística. Frota 2013.' 2016.
- [20] EPE, 'Balanço Energético Nacional 2014: Ano base 2013'. Brasil, Empresa de Pesquisa em Energia, 2014.