

Eixo Temático ET-06-005 - Energia

POTENCIAL DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA PARA MANUTENÇÃO DA PEGADA DE CARBONO DO MIX ELÉTRICO BRASILEIRO

Danielle Bandeira de Mello Delgado¹, Monica Carvalho^{2*}

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - Campus de Paulo Afonso. Rua Marcondes Ferraz, 200 - General Dutra - Paulo Afonso - BA. CEP 48607-000. Telefone: (75) 3282-1191 danielle.delgado@ifba.edu.br. ^{2*}Centro de Energias Alternativas e Renováveis, Universidade Federal da Paraíba. Caixa Postal 5115, Cidade Universitária - João Pessoa-PB. CEP 58051-970. Telefone: (83) 3216 7268 monica@cear.ufpb.br (autor para correspondência)

RESUMO

A utilização da Energia Solar Fotovoltaica para Geração Distribuída vem se consolidando no Brasil desde 2012. Esse crescimento vem acompanhado de um desconhecimento dos efeitos, tanto técnicos, quanto ambientais, da utilização desse recurso no Sistema Elétrico de Potência. A primeira etapa deste estudo foi aplicar a metodologia da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) a todas as etapas do Sistema Elétrico de Potência (SEP), para quantificar a pegada de carbono associada ao consumo de 1 kWh de eletricidade no Brasil. Incluem-se o potencial de geração, e as seguintes etapas (e conseqüentes perdas) associadas a transmissão, distribuição e transformação. A partir da quantificação da pegada de carbono associada ao consumo de eletricidade no Brasil, verificar-se-á o potencial da inclusão progressiva de energia solar fotovoltaica em Geração Distribuída para manter baixas as emissões de carbono associadas ao consumo de eletricidade no Brasil, já que ultimamente devido a crise hídrica, as termelétricas funcionam mais. Os documentos de referência utilizados para as projeções de geração de eletricidade foram os anuários estatísticos da Empresa de Pesquisa Energética e o Plano Decenal de Expansão de Energia 2024 (publicado pelo Ministério das Minas e Energia). Os mixes de eletricidade brasileira para os anos de 2001, 2006 a 2015 e 2024 foram construídos no Simapro (ferramenta especializada para desenvolvimento de ACV), para todas as etapas do SEP e inclusão da Energia Solar Fotovoltaica para geração distribuída. O método de avaliação de impacto ambiental IPCC 2013 GWP 100a foi aplicado para expressar os resultados da ACV em kg CO₂-eq. Uma importante contribuição desse estudo, e que será utilizada em trabalhos futuros de otimização de sistemas de fornecimento de energia com o software de otimização Lingo, é o estabelecimento de um valor de emissões associadas ao consumo de eletricidade no Brasil. Em 2015 a energia solar fotovoltaica apareceu na matriz energética brasileira, e depois da análise da representatividade para o ano de 2024, identificou-se uma redução na pegada de carbono do mix elétrico brasileiro a partir desses anos. Ainda que a energia solar fotovoltaica possua alto potencial de mitigação de mudanças climáticas, ainda é inexpressiva e não apresenta potencial para substituição de termelétricas na matriz energética brasileira.

Palavras-chave. Mix elétrico, Brasil, Avaliação de Ciclo de Vida, Energia Solar Fotovoltaica, Geração Distribuída.

INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos signatários da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, e mantém compromissos voluntários de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE). No ano de 2009 foi instituída no Brasil a Política Nacional sobre Mudanças do Clima, que possui como um dos objetivos a compatibilização do desenvolvimento econômico-social com a proteção do sistema climático e a redução das emissões antrópicas de GEE em relação a suas diferentes fontes (BRASIL, 2009). O setor energético é um importante emissor de GEE, contribuindo com mais da metade das emissões mundiais de GEE (IEA, 2008).

Para uma correta estimação do potencial de mitigação de mudanças climáticas, ou simplesmente para correta quantificação das emissões de GEE, uma das metodologias mais utilizadas atualmente é a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), aplicada inclusive na avaliação de emissões associadas a energia (KAMMEN; PACCA, 2004 apud MIRANDA, 2012).

Pouco a pouco os estudos de otimização de fornecimento de energia começam a incorporar critérios ambientais para decisão que tipo de sistema instalar e como operá-lo (CARVALHO; SERRA; LOZANO, 2011; CARVALHO; LOZANO; SERRA, 2012; DELGADO et al., 2015; DELGADO; MEDEIROS; CARVALHO, 2015; CARVALHO; DELGADO; CHACARTEGUI, 2016; CARVALHO; ABRAHAO; DELGADO, 2016). Como a pegada de carbono é um indicador de fácil entendimento, é amplamente utilizada como método de avaliação de impacto ambiental, e introduzida em estudos e projetos de engenharia.

O termo "pegada de carbono" tem se popularizado nos anos recentes e agora está bastante disseminado nas mídias; agora que as mudanças climáticas são prioridade em níveis políticos e também corporativos, os cálculos de pegada de carbono vem sendo bastante demandados (WIEDMANN; WINX, 2008). A pegada de carbono é um indicador internacionalmente normatizado que agrupa as emissões de gases de efeito estufa (GEE) durante as fases do ciclo de vida de um bem, serviço ou atividade, de acordo com o Protocolo de Quioto e os princípios de Pensamento de Ciclo de Vida (RUGGANI et al., 2013).

A pegada de carbono é adequada para comunicar resultados de estudos de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), e vem recebendo visibilidade pronunciada graças a sua popularidade; dois fatores podem ser destacados como responsáveis pela aceitação da pegada de carbono como um indicador válido de disseminação de informação de ACV (RUGGANI et al., 2013): o interesse público nas mudanças climáticas é extremo em comparação a outros problemas ambientais, e a pegada de carbono está fortemente ligada ao uso de energia e pode representar outros impactos ambientais subjacentes.

Para uma melhor avaliação de sistemas energéticos mais complexos, como aqueles que incorporam energias renováveis, cogeração ou trigerção, e armazenamento de energia, faz-se necessário estabelecer o cenário no qual se instala ou avalia o sistema energético. O cenário inclui aspectos econômicos (*e.g.*, tarifas, taxas de juros), legais (normativas sobre geração de energia e sua venda) e ambientais (emissões ou impactos ambientais associados a fluxos energéticos e equipamentos), e até termodinâmicos (*e.g.*, evacuar calor ao meio ambiente, cumprimento de rendimentos).

Os aspectos ambientais introduzidos em modelos matemáticos de otimização estão associados principalmente a fluxos energéticos, para contabilização, por exemplo, das emissões evitadas quando se gera energia a partir de fontes renováveis e não por

combustíveis fósseis. Um dos algoritmos de otimização é o *branch-and-bound*, que percorre todas as possíveis soluções, e identifica a solução ótima dentro do universo de possibilidades (SCHRAGE, 1998; GOLDBARG; LUNA, 2005). Para a otimização de um sistema energético geralmente se utilizam intervalos horários, ao longo de um ano, para definir as demandas energéticas a serem satisfeitas. O modelo matemático possui intensa carga computacional, já que vai verificar, hora a hora, ao longo de um ano, todas as possíveis soluções. A solução ótima é aquela que satisfaz a função objetivo, que pode ser a minimização do custo anual, maximização da eficiência termodinâmica, ou até minimização de impactos ambientais.

Para a minimização de impactos ambientais, deve-se introduzir no modelo matemático os impactos ambientais associados a cada fluxo energético disponível *in situ* (eletricidade, diesel, biomassa, gás natural, *etc.*). Já que o mix elétrico brasileiro vem sofrendo mudanças ao longo dos anos, é conveniente contar com versões atualizadas das emissões embutidas no consumo de eletricidade para corretamente refletir essas mudanças nos resultados das simulações e poder contabilizar corretamente as emissões anuais absolutas e evitadas.

OBJETIVO

Aplicar a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para o cálculo da pegada de carbono associada ao mix elétrico brasileiro nos anos de 2001 até 2024. Outro objetivo deste artigo é verificar o potencial da inclusão progressiva de energia solar fotovoltaica em geração distribuída para manter baixas as emissões de carbono associadas ao consumo de eletricidade no Brasil. Os documentos de referência utilizados para as projeções energéticas foram o Plano Decenal de Expansão de Energia 2024 (BRASIL, 2015b) e o Plano Nacional de Energia 2030 (BRASIL, 2007). Esses documentos são importantes ferramentas de planejamento para o setor elétrico brasileiro, e podem ajudar a estabelecer estratégias de desenvolvimento nacional.

MATERIAIS E MÉTODOS

Avaliação de Ciclo de Vida

A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) pode ser descrita como um procedimento objetivo para desenvolvimento e interpretação de estudos, como mostra a Figura 1.

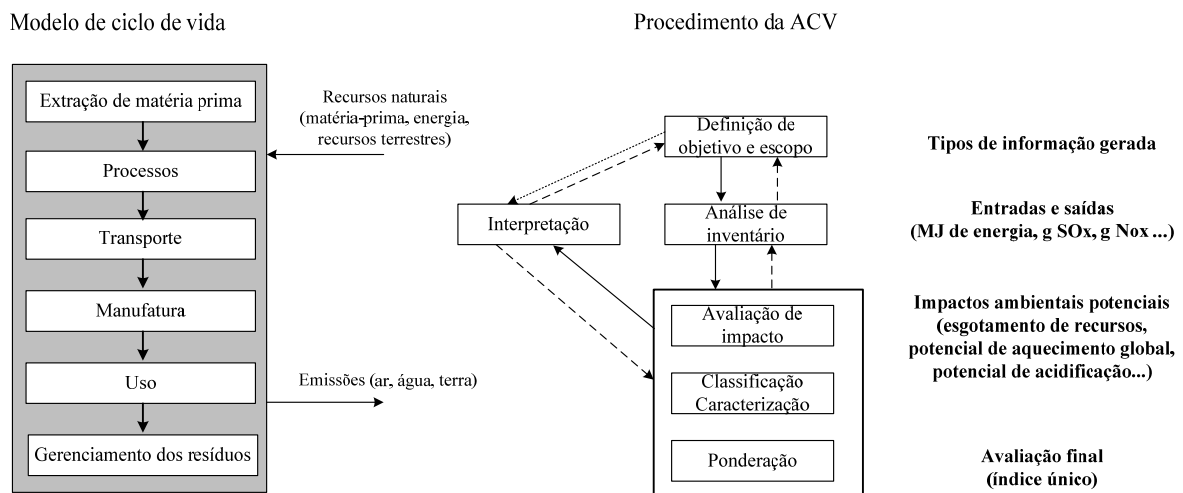


Figura 1. O modelo de ciclo de vida e o procedimento de ACV. Traduzido de BAUMANN e TILLMAN (2004).

No modelo, as caixas indicam os processos físicos e as flechas indicam fluxos de matéria e energia. No procedimento, as caixas indicam passos do procedimento e as flechas indicam a ordem na qual esses passos são percorridos. Flechas pontilhadas indicam possíveis interações.

A ACV é um processo desenvolvido a partir de conceitos da engenharia química e análise energética, sendo um método para contabilizar os impactos ambientais associados a um produto ou serviço (HAES *et al.*, 2002). A ACV está internacionalmente normatizada pela *International Organization for Standardization* (ISO 14040, ISO 14044), que no Brasil foi traduzida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044 (ABNT, 2014a; ABNT, 2014b).

Atualmente a ACV possui quatro fases: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto, e interpretação (ABNT, 2014a; ABNT, 2014b). As descrições a seguir seguem Haes *et al.* (2002). A primeira fase serve para definir o propósito e extensão do estudo, e contém uma descrição do sistema estudado. Um aspecto importante é a definição da unidade funcional, a qual estão relacionadas todas as entradas e saídas do sistema e facilita comparação com outros estudos. A segunda fase consiste em coleta de dados e análise. Dados sobre as intervenções ou estressores ambientais associados a cada processo durante o ciclo de vida são coletados, geralmente guiados por um diagrama de fluxo. Os dados são processados para produzir um inventário de intervenções ambientais associado a unidade funcional. A terceira fase avalia o significado das intervenções ambientais dentro do inventário de ciclo de vida. A avaliação de impacto ambiental consta obrigatoriamente de classificação e caracterização, com três elementos opcionais: normalização, agrupamento e ponderação. A última etapa de uma ACV é a interpretação, para avaliar o estudo e gerar conclusões e recomendações.

Como a ACV é um processo iterativo, as interpretações podem levar a um ajuste de objetivo e escopo, ou a mais investigações acerca do inventário (HAES *et al.*, 2002). Segundo Fullana e Puig (1997), a ACV também pode ser concebida como um conceito, uma maneira de "ver" e "afrentar" a interação entre sistemas tecnológicos e o meio ambiente para poder tomar decisões corretas sobre uma determinada situação. Uma revisão detalhada sobre a metodologia da ACV encontra-se em GUINÉE (2001) e GUINÉE (2002).

O método de avaliação de impacto ambiental escolhido foi o IPCC 2013 GWP 100a, disponível no software SimaPro 8.1.0.60 (PRÉ CONSULTANTS, 2015). A caracterização aplica modelos às categorias de impacto para obter indicadores ambientais: dados de distintas cargas ambientais se agregam dentro da categoria de impacto "Potencial de Aquecimento Global (*Global Warming Potential, GWP*) utilizando fatores de peso ou equivalência, que se denominam fatores de caracterização (FULLANA, PUIG, 1997). Este método utiliza os fatores de conversão atualizados do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) para a quantificação das contribuições de emissões atmosféricas para o problema das mudanças climáticas, e caracteriza as diferentes emissões gasosas de acordo com o seu GWP (IPCC, 2013), proporcionando a pegada de carbono.

A vida troposférica média dos gases de efeito estufa (até dos que possuem vida mais curta, como o CH₄, de 10 anos) excede o tempo de mistura troposférica (1 ano), não importa onde as emissões ocorrem, e o GWP pode ser considerado então uma

categoria de impacto realmente global (HAES *et al.*, 2002). O impacto ambiental é expresso em kg CO₂-eq.

Mix elétrico brasileiro

O ponto de partida foi Delgado e Carvalho (2016): a partir da base de dados EcoInvent v.3.2 (2016), processos foram adaptado para refletir o mix elétrico de geração do ano de 2001 e de 2006 a 2015. Para os anos de 2006 a 2010, foram utilizados os dados fornecidos pela Empresa de Pesquisa Energética - EPE (BRASIL, 2011). Os dados referentes ao período de 2011 a 2014 foram obtidos do anuário estatístico da EPE para 2015 (BRASIL, 2015).

Para o ano de 2001, foram utilizadas as informações fornecidas pelo Operador Nacional do Sistema - ONS em seu Informativo Diário de Operação, o IPDO (ONS, 2016). Os percentuais de geração, por fonte, para composição do mix foram calculados pela média entre o primeiro, décimo quinto e último dia de cada mês dos anos considerados, e em seguida, calculada a média dos percentuais de cada mês (DELGADO; CARVALHO, 2016). A matriz de geração considerada para o ano de 2015 seguiu a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (BRASIL, 2016). A Tabela 1 mostra os percentuais de geração de eletricidade, por fonte, no Brasil. "Outras" refere-se a recuperações, gás de coqueria e outros combustíveis secundários. A Tabela 1 inclui as importações da Argentina, Paraguai, Uruguai e Venezuela.

Tabela 1 Percentuais de geração de eletricidade, por fonte, no Brasil.

	2001	2006	2007	2008	2009	2010
Termelétricas	6,09%	8,52%	7,62%	11,04%	6,73%	11,18%
Hidráulica	81,36%	83,18%	84,04%	79,80%	84,21%	78,19%
Nuclear	0,00%	3,28%	2,78%	3,02%	2,80%	2,82%
Biomassa	6,39%	3,44%	3,87%	4,15%	4,44%	6,05%
Eólica	0,00%	0,08%	0,15%	0,26%	0,27%	0,42%
Solar	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Outras	0,00%	1,49%	1,55%	1,74%	1,56%	1,34%
	2011	2012	2013	2014	2015	2024
Termelétricas	8,24%	12,92%	18,55%	22,21%	16,92%	14,30%
Hidráulica	80,55%	75,18%	68,49%	63,24%	61,30%	56,70%
Nuclear	2,94%	2,90%	2,71%	2,60%	1,32%	1,60%
Biomassa	5,95%	6,27%	6,95%	7,58%	7,49%	8,70%
Eólica	0,51%	0,91%	1,15%	2,07%	5,64%	11,60%
Solar	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	3,30%
Outras	1,81%	1,81%	2,14%	2,30%	5,80%	3,80%

A energia solar fotovoltaica começou a aparecer em 2015. Os percentuais previstos para 2024 foram obtidos do Plano Decenal de Energia 2024, da EPE (BRASIL, 2015). Para introduzir este tipo de fonte no mix elétrico brasileiro, considerou-se o processo que considera 1 kWh de eletricidade produzida por uma usina solar de 570 kWp com células de silício multi-cristalino (EcoInvent, 2016).

O processo de geração de eletricidade (alta tensão) foi editado com os percentuais da matriz elétrica de cada ano, assim como os processos que incluem

geração, transmissão e distribuição para consumo em baixa tensão, que foram adaptados no Simapro considerando a matriz elétrica dos anos estudados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

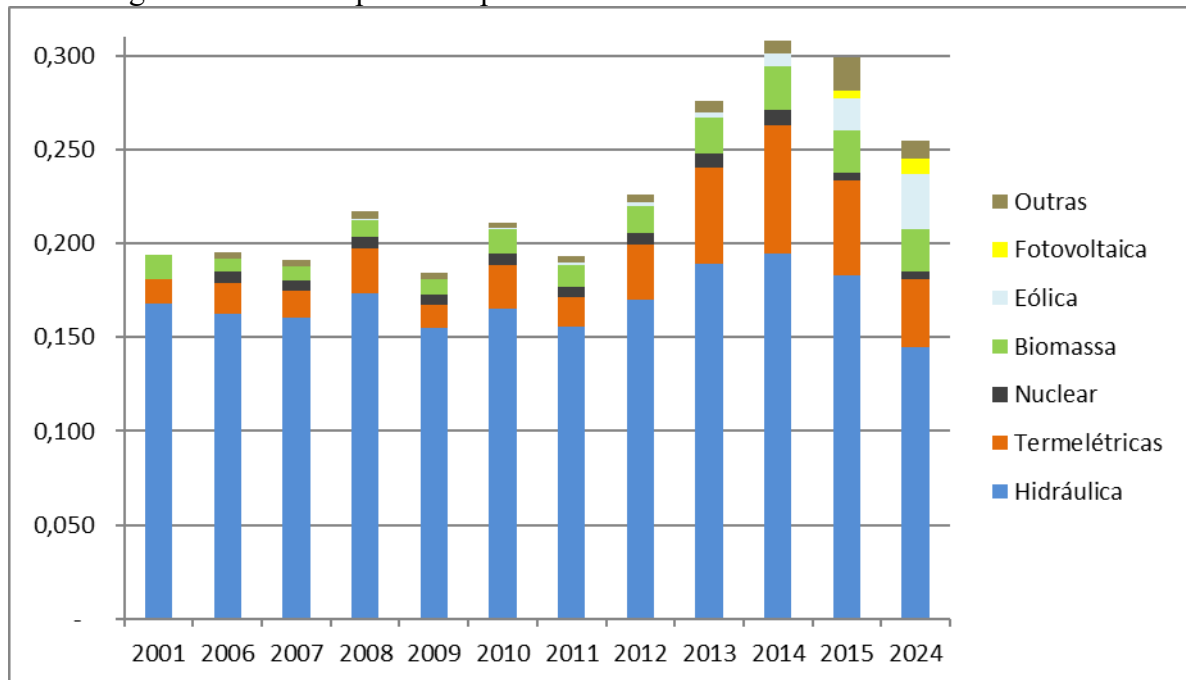
O presente estudo apresenta a pegada de carbono associada às matrizes elétricas brasileiras dos anos de 2001, 2006 a 2015 e a prevista para o ano de 2024, buscando avaliar como a introdução progressiva da energia solar fotovoltaica nessa matriz influencia os resultados de pegada de carbono obtidos nos cálculos.

Tabela 2: Pegada de carbono associada ao consumo de 1 kWh de eletricidade no Brasil.

Ano	kgCO ₂ eq/kWh
2001	0,194
2006	0,195
2007	0,191
2008	0,217
2009	0,184
2010	0,211
2011	0,193
2012	0,226
2013	0,276
2014	0,308
2015	0,299
2024	0,255

A Tabela 1 e a Figura 2 mostram que os mixes de geração dos anos de 2013 e 2014 foram os que apresentaram maior índice de emissão GEE no período avaliado. Apesar desse período ser representado pela inserção crescente da micro e minigeração distribuída no Brasil, esses anos foram marcados, inicialmente por uma acentuada crise hídrica, principalmente no ano de 2014, cuja consequência foi a criação das bandeiras tarifárias. A geração hidroelétrica respondeu por 373 TWh, (participação de 63,2%), anotando uma queda de 4,5% sobre o valor produzido em 2013 (BRASIL, 2015). Esta queda foi compensada por um aumento na geração termelétrica, sobretudo proveniente de derivados de petróleo, carvão e gás natural, que expandiram respectivamente 43,4%, 24,2% e 17,5% em relação a 2013, totalizando 131 TWh, atingindo 22,2% de participação na matriz elétrica (BRASIL, 2015).

Figura 2: Emissões por fonte para cada ano.



A Figura 2 mostra que os recursos da matriz elétrica que mais contribuem para emissão de kg CO₂ - eq/kWh são as termelétricas e as hidrelétricas. As emissões por tipo de fonte foram adaptadas de acordo com o previsto no Balanço Energético Nacional do ano de 2015; elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE, incluindo a projeção para o ano de 2024. A Biomassa considerada é proveniente da lenha, do bagaço de cana e da lixo. Foram classificados como “Outros”, os recursos provenientes de recuperações, gás de coqueria e outros recursos secundários. Deve-se destacar ainda nesse contexto, as emissões devido aos sistemas de transmissão e distribuição de energia da energia elétrica.

As emissões mais representativas dos anos de 2013 e 2014, conforme previsto, foram referentes às fontes hidrelétricas e termelétricas. A partir do ano de 2015, percebe-se uma discreta redução na emissão de kg CO₂ - eq/kWh, que se consolida a partir do ano de 2024, e coincide com o início do aparecimento da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira. Esse resultado, associado à uma análise mais generalista, poderia contribuir em um estudo de balanço energético para substituição de usinas térmicas por usinas solares fotovoltaicas. Atualmente, se comparada à utilização das térmicas, em capacidade de geração, ainda não é possível pensar na substituição de usinas termelétricas por usinas solares.

COMENTÁRIOS FINAIS

Este estudo aplicou a metodologia da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) para calcular a pegada de carbono associada ao consumo de 1 kWh de eletricidade no Brasil, para atender às demandas dos estudos de otimização que necessitam deste dado. Também se verificou como a introdução progressiva da energia solar fotovoltaica influenciou a matriz energética brasileira. Foram obtidos valores de pegada de carbono para os anos 2001, 2006 a 2015, e 2024 (projeção). Os documentos de referência utilizados para as projeções energéticas foram o Plano Decenal de Expansão de Energia 2024 e o Plano Nacional de Energia 2030.

Entre os resultados apresentados, destaca-se o benefício ambiental como consequência da introdução da geração com utilização de energias renováveis, a exemplo da energia solar fotovoltaica, no mix elétrico brasileiro. Embora se demonstre que o impacto ambiental desses sistemas não é nulo a ACV possibilitou a quantificação das emissões de GEE associadas a cada cenário, para verificação do potencial de mitigação.

A geração distribuída, apesar de apresentar um alto potencial para mitigação ambiental, com a consequente redução na emissão de kg CO₂-eq/kWh e de estar em pleno crescimento no Brasil, ainda é inexpressiva na matriz elétrica brasileira.

Uma importante contribuição desse estudo, e que será utilizada em trabalhos futuros de otimização de sistemas de fornecimento de energia com o software de otimização Lingo, é o estabelecimento de um valor de emissões associadas ao consumo de eletricidade no Brasil. Outro importante trabalho que pode ser realizado através desse estudo é a verificação da influência da micro e minigeração distribuída, no aspecto ambiental, nos sistemas de distribuição de energia elétrica do SEP brasileiro.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Projeto Universal, nº 475879/2013-9 e Bolsa de Produtividade 303199/2015-6).

REFERÊNCIAS

ALVIM, C. F. et al. Comparação da emissão de gases de efeito estufa (GEE) na geração nuclear de eletricidade no Brasil com as de outras fontes. **Economia & Energia**, v. 15, n. 79.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e estrutura: NBR ISO 14040, Rio de Janeiro: ABNT, 2009 – versão corrigida 2014a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações: NBR ISO 14044, Rio de Janeiro: ABNT, 2009 – versão corrigida 2014b.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica ANEEL. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acesso em 03 abr. 2016.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em <http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/20111213_1.pdf> Acesso em 03 abr. 2016.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em <<http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202015.pdf>>. Acesso em 03 abr. 2016.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. Plano Decenal de Expansão da Energia 2024. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2015 2v.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – CONMETRO. Resolução no 04, de 15 de dezembro de 2010. Dispõe sobre a Aprovação do Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida e dá outras providências.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Plano Nacional de Energia 2030. Brasil: MME, 2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. O Protocolo de Quioto. 2015a. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quioto>>. Acesso em: 01 mar. 2016.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Plano Decenal de Expansão de Energia 2024. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília, Brasil: MME/EPE, 2015b.

CARVALHO, M.; SERRA, L.M.; LOZANO, M.A.. Optimal synthesis of trigeneration systems subject to environmental constraints. **Energy**, v. 36, n. 6, p. 3779-3790, 2011.

CARVALHO, M.; LOZANO, M. A.; SERRA, L.M. Multicriteria synthesis of trigeneration systems considering economic and environmental aspects. **Applied Energy**, v. 91, n. 1, p. 245-254, 2012.

CARVALHO, M.; DELGADO, D. B. M. ; CHACARTEGUI, R. Life cycle analysis as a decision criterion for the implementation of solar photovoltaic panels in a northeast brazil hospital. In: GLOBAL CONFERENCE ON GLOBAL WARMING, 3., 2015, Atenas. Anais... Atenas: CERTH, 2015.

CARVALHO, M.; ABRAHAO, R. ; DELGADO, D. B. M. . Energía solar térmica en la síntesis y optimización ambiental de un sistema de suministro energético. In: CONGRESO INTERNACIONAL DE REFRIGERACIÓN, CLIMATIZACIÓN Y ENERGÍAS RENOVABLES, 10., 2016, La Havana. **Anais...** La Havana: CubaIndustria, 2016.

CARVALHO, M.; DELGADO, D. B. M.; CHACARTEGUI, R. Life Cycle Analysis as a Decision Criterion for the Implementation of Solar Photovoltaic Panels in a Northeast Brazil Hospital. In: GRAMMELIS, P. (Org.). **Energy, transportation and global warming**. 1. ed.: Springer International Publishing, 2016. v. 1, p. 295-314.

CURSINO, A. Emissões de CO₂ pela geração de eletricidade no Brasil superam em 2014 a previsão do governo para o ano de 2030. 2015. Disponível em: <<http://www.mitsidi.com/emissoes-de-co2-pela-geracao-de-eletricidade-no-brasil-superam-em-2014-a-previsao-da-epe-para-o-ano-de-2030/?lang=pt-br>>. Acesso em: 04 abr. 2016.

DELGADO, D. B. M. ; CARVALHO, M. ; CHACARTEGUI, R. ; COELHO JUNIOR, L. M. Optimization of energy supply and conversion in a northeast brazil hospital: use of photovoltaic panels. In: ABCM INTERNATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING, 23., 2015, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABCM, 2015.

DELGADO, D. B. M. ; MEDEIROS, C. ; CARVALHO, M. . Environmental Loads Associated with a Polygeneration Superstructure for a Tertiary Sector Building. In: ABCM INTERNATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING, 23., 2015, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABCM, 2015.

DELGADO, D.B.M.; CARVALHO, M. Avaliação do Ciclo de Vida para verificação do potencial da energia solar fotovoltaica em reduzir a pegada de carbono do mix elétrico brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO EM GESTÃO DE CICLO DE VIDA, 5., 2016, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ABCV, 2016.

ECOINVENT. Base de dados. 2016. Disponível em: <<http://www.ecoinvent.ch>>. Acesso em: 01 mar. 2016.

FULLANA, P.; PUIG, R. **Análisis del ciclo de la vida**. Barcelona: RUBES, 1997.

GARSIDE, B. Brazil flags INDC of 2030 goal to cut GHGs 43% below 2005 levels. 2015. Disponível em: <<http://carbon-pulse.com/9450/>>. Acesso em: 01 mar. 2016.

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. **Otimização combinatória e programação linear**: modelos e algoritmos. Elsevier, 2005.

GUINÉE, J. B. (Ed). **Life Cycle Assessment: An operational guide to the ISO Standards; LCA in Perspective; Guide; Operational Annex to Guide**. Centre for Environmental Science, Leiden University, The Netherlands, 2001.

GUINÉE, J. B. **Handbook on life cycle assessment: operational guide to the ISO standards**. Kluwer Academic Publishers, Boston, 2002.

HAES, H.A.U. et al. Life cycle impact assessment: striving towards best practice. SETAC Press Proceedings, 2002.

IEA - International Energy Agency. World Energy outlook 2008. 2008. Disponível em: <<http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2008-1994/weo2008.pdf>> Acesso em: 04 abr. 2016.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE . Revised supplementary methods and good practice guidance arising from the kyoto protocol. 2013. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/kpsg/>> Acesso em: 01 mar. 2016.

ISO 14040. Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. International Organization for Standardization (ISO), Genebra, 2006.

ISO 14044. Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. International Organization for Standardization (ISO), Genebra, 2006.

MEDEIROS, D.L.; OLIVA, S.T.; KIPERSTOCK, A. Inconsistências Metodológicas em Estimativas de Emissões de Gases do Efeito Estufa na Matriz Elétrica Brasileira. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 4., 2013, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 2013.

MIRANDA, M.M. **Fator de emissão de gases de efeito estufa na geração de energia elétrica no Brasil: implicações da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida.** Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2012.

ONS. Informativo Preliminar Diário de Operação. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/publicacao/ipdo/>>. Acesso em: 03 abr. 2016.

PRé Consultants. SimaPro software. 2015 Disponível em: <<http://www.simapro.nl>>. Acesso em: 01 mar. 2016.

RUGANI, B. et al. A comprehensive review of carbon footprint analysis as an extended environmental indicator in the wine sector. **Journal of Cleaner Production**, v. 54, p. 61-77, 2013.

SCHRAGE, L. E. **Optimization modeling with LINGO.** Chicago, Ill, USA: Lindo Systems, 1998.

SEEG. Evolução das emissões de gases de efeito estufa no Brasil (1970-2013): setor de energia e processos industriais. São Paulo: Observatório do Clima, 2015.

TURCONI, R.; BOLDRIN, A.; ASTRUP, T. Life cycle assessment (LCA) of electricity generation technologies: Overview, comparability and limitations. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 28, p. 555-565, 2013.

VAHL, F. P. **Avaliação dos Impactos Ambientais e no Mercado da Trajetória Tecnológica Contemporânea para Geração de Eletricidade no Brasil.** 2014. Tese de doutorado, programa de pós-graduação em engenharia de produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

WIEDMANN, Thomas; MINX, Jan. A definition of 'carbon footprint'. **Ecological Economics Research Trends**, v. 1, p. 1-11, 2008.

WORLD BANK. Brazil Low-carbon Country Case Study. 2010. Disponível em: <http://siteresources.worldbank.org/BRAZILEXTN/Resources/Brazil_LowcarbonStudy.pdf>. Acesso em: 01 mar 2016.