



“TEN YEARS WORKING TOGETHER FOR A SUSTAINABLE FUTURE”

Avaliação de Ciclo de Vida de sistemas de geração de energia elétrica mais limpa: uma análise de produção científica

BARROS, M. V. ^{a*}, PIEKARSKI, C. M. ^a, SALVADOR, R. ^a

a. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa

**Corresponding author, murillo.vetroni@gmail.com*

Abstract

The search for electricity cleaner production has become a research and development item in several countries. There are demands for investments, developments of new technologies and knowledge generation about the environmental performances of different sources of electricity generation. Thus, this work aims to perform a systematized theoretical analysis of scientific research on Life Cycle Assessment (LCA) of electric power generation systems. The systematized theoretical analysis was constructed using Methodi Ordinatio method. The criteria for theoretical analysis were: keywords ("LCA + Electric* Mix*", "LCA + Electric* Energy + Life Cycle Assessment + Energy Production"), author, year, country, university, periodic, JCR, number of citations and Methodi Ordinatio. After the application of the method 26 articles were selected for discussion. that the results show that there is a higher incidence of articles published in European countries. Among the main evaluation methods used are the ReCipe, CML, Impact 2002+, CED. Another highlight is that the studies show that wind energy has one of the lowest environmental impact indexes in its generation compared to other sources according to the articles addressed. In some countries, cleaner sources are promising due to their capacity to generate electricity through locations with high wind rates and high sunlight capture. In this way, the results can be used in public policies, development actions and incentives of different energy matrices and contribute to the scientific literature on LCA and electric power generation.

Keywords: LCA, Electricity, Environmental performance, Energy matrix

1. Introdução

Ao longo do tempo, a energia elétrica ganhou novos meios de geração, obtenção e aproveitamento, sendo demandada nos mais diversos tipos de equipamentos - eletrônicos, digitais, domésticos e industriais. A energia elétrica pode ser obtida de diversas maneiras, tanto através de fontes renováveis como não renováveis. As chamadas fontes não renováveis são aquelas cuja matéria prima pode-se esgotar no decorrer do tempo. Entre elas, destacam-se o gás natural, derivados do petróleo e o carvão mineral. Já as energias renováveis, como por exemplo, a energia solar e eólica, proporcionam energia limpa à população. Por meio desses novos desenvolvimentos tecnológicos, as energias renováveis estão ganhando destaque mundialmente por se caracterizarem como fontes de produção mais limpas.

A busca por conhecimentos sobre os potenciais impactos que cada fonte energética produz, motiva o desenvolvimento de pesquisas científicas sobre o assunto.

“TEN YEARS WORKING TOGETHER FOR A SUSTAINABLE FUTURE”

São Paulo - Brazil - May 24th to 26th - 2017

Nesse sentido, destaca-se a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), cuja metodologia é utilizada na avaliação de aspectos e potenciais impactos ambientais que estão relacionados com produtos ou processos. A ACV pode ser caracterizada como a metodologia mais importante na gestão ambiental industrial moderna (LÖFGREN, TILLMAN E RINDE, 2011).

Segundo Lelek et al, (2016) a abordagem da ACV para a avaliação de sistemas de energia a nível nacional pode ser uma ferramenta útil, pois ela indica as áreas que apresentam um impacto significativo sobre o meio ambiente, levando em conta fatores relevantes que permite a comparação com diferentes alternativas, visto que, tal abordagem pode impulsionar o progresso tecnológico que permite a transição para um caminho sustentável a médio e longo prazo para o sistema energético.

O uso da ACV neste contexto é válida para compreender e analisar matrizes de energia elétrica quanto ao desempenho ambiental. Portanto, o objetivo deste artigo é realizar uma análise sistematizada científica na Avaliação de Ciclo de Vida de sistemas de geração de energia elétrica.

2. Métodos

Para a realização do levantamento científico foi optado pela a utilização do Methodi Ordinatio (PAGANI, KOVALESKI, RESENDE; 2015). Primeiramente, o Methodi Ordinatio equaciona os três fatores mais importantes a serem considerados na busca de um artigo científico, cujos fatores são: o ano de publicação do artigo; o número de citações que o artigo obteve até o presente momento e o fator de impacto (JCR). Portanto, o método auxilia a encontrar os artigos relevantes em cada tema e apresenta a fórmula (1):

$$\text{Methodi Ordinatio} = (\text{IF}/1000) + \alpha * [10 - (\text{ResearchYear} - \text{PublishYear})] + (\sum \text{Ci}) \quad (1)$$

- IF: Fator de Impacto do artigo;
- α : fator de ponderação que varia de 1 a 10 para ser atribuída pelo pesquisador;
- ResearchYear: ano em que a pesquisa foi desenvolvida;
- PublishYear: ano em que o documento foi publicado;
- $\sum \text{Ci}$: número de vezes que o artigo tem sido citado.

Deste modo, o pesquisador indica as variáveis para todos os artigos filtrados em bases de dados. Os principais trabalhos resultarão em uma maior pontuação, visto que, quanto mais recente for publicado o trabalho, quanto maior o número de citações e maior o fator de impacto, resultará numa alta pontuação. Foi realizada uma pesquisa na base de dados internacional Scopus com as seguintes combinações de palavras-chaves "LCA + Electric* Mix*" e foram apresentados um total de 180 artigos. O filtro para escolha dos artigos mais apropriados foi feito através do Methodi Ordinatio, no qual foram selecionados 15 artigos, com base na leitura dos abstracts para verificar concordância ao tema da pesquisa. Os artigos selecionados estão referenciados no Quadro 1 com as identificações de 1 a 15.

Posteriormente, foi combinado na mesma base de dados "LCA + Electric* Energy + Life Cycle Assessment + Energy Production" e foram apresentados no total 455 artigos na área segundo as quatro palavras-chaves. O filtro para seleção dos trabalhos foi realizado através do Methodi Ordinatio. Por fim, ficaram sete artigos a serem referenciados. Esses trabalhos estão disponibilizados no Quadro 1 com as identificações de 16 a 22. Além disso, foram incluídos outros artigos considerados válidos a partir de citações dos artigos previamente selecionados, isto é, esses trabalhos foram encontrados individualmente sem realizar uma pré-seleção. Nesse caso, eles também compõe o Quadro 1 com as identificações de 23 a 26.

Nos artigos pesquisados, foram filtradas as publicações mais recentes, ou seja, entre os anos de 2012 e 2016. Os artigos pesquisados levaram em conta o Fator de Impacto JCR ≥ 3 que abordavam os temas de ACV e geração de energia elétrica nos diferentes países do mundo. Há quatro artigos, com JCR < 3 , identificados no Quadro 2 que foram considerados importantes para o objetivo proposto neste artigo.

Os critérios analisados nos 26 artigos selecionados foram: análise dos métodos de Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV) utilizados, localidade de publicação, a universidade/instituição que

desenvolveu a pesquisa, o ano de publicação, o periódico/*journal* que foi publicado, o Fator de Impacto JCR, o número de citações que o artigo obteve até o presente momento e o índice do Methodi Ordinatio.

3. Estudos de ACV em matrizes de geração de energia elétrica no mundo

Evidencia-se que vários autores, de diversos países e universidades têm elaborado pesquisas e trabalhos referentes à ACV aplicados na matriz de geração de energia elétrica mundial, deste modo, a seguir foram analisadas abordagens de alguns autores, com intuito de caracterizar os principais avanços e resultados encontrados em diferentes contextos.

Şengül et al, (2016) elaborou na Turquia um estudo de potenciais impactos ambientais a partir da extração da lenha. A geração de energia elétrica foi avaliada através da ACV baseado em dados de 12 locais de mineração do país. No estudo foi utilizado os métodos CML, TRACI e ReCiPe e com isso pôde-se observar as emissões locais e quantificar os impactos ambientais.

Outro estudo na Turquia mostrou que o país é um dos mais ricos do mundo em termos de recursos de energia geotérmica, com o potencial global atual de 31,5 GW. Com o vento, apenas uma fração do potencial geotérmico é realizado no momento, com a capacidade elétrica instalada de 94,2 MW, que em 2010 gerou 668 GWh, segundo Atilgan et al, (2016). Segundo os autores, este estudo representa a primeira tentativa para analisar o ciclo de vida através de impactos ambientais de eletricidade renovável no país, sendo que, e a energia geotérmica é a melhor opção para seis impactos ambientais, tais como, eutrofização, esgotamento da camada de ozônio, toxicidade humana e outras três categorias de eco-toxicidade.

Desde que a Turquia é signatária do Protocolo de Quioto, as tecnologias energéticas sustentáveis existentes no país caminham para tentar reduzir as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e impactos ambientais relacionados à eletricidade. No entanto, os impactos ambientais do setor energético são desconhecidos atualmente e não há nenhuma base para ajudar o país a identificar o melhor caminho a seguir, deste modo, foi desenvolvido o trabalho por Atilgan et al, (2016) para estimar os impactos ambientais da energia elétrica na Turquia pela primeira vez baseado no ciclo de vida nos últimos 25 anos (1990-2014). Um dos resultados sugere que os principais impactos do estudo estão relacionados com a eutrofização, destruição da camada de ozônio e categorias de toxicidade.

O trabalho elaborado por Stamford et al, (2014) realiza uma abordagem do ciclo de vida para avaliar a sustentabilidade de cenários futuros de energia elétrica no Reino Unido. Os autores utilizaram o método CML para realizar a análise do estudo. Cinco cenários até 2070 são consideradas com uma gama de opções tecnológicas apropriadas para o país. Ainda no Reino Unido, Raugeri et al, (2016) mostrou que: carvão (37,0%), gás natural (26,7%) e nuclear (19,1%) são as principais fontes de geração de energia elétrica no país.

Segundo os dados do Ministério de Minas e Energia (MME) (2016), comparando os dados anteriores, com a geração brasileira para o mesmo ano, obtém-se: carvão (4,5%), gás natural (12,9%) e nuclear (2,4%), ou seja, todas as fontes brasileiras ficaram bem abaixo da inglesa, visto que, no Brasil a fonte predominante é a hidrelétrica.

O estudo elaborado por BERRILL et al, (2016) utiliza uma estrutura de modelagem integrada a ACV híbrido para examinar 44 cenários diferentes para o fornecimento de eletricidade na Europa no ano de 2050. A metodologia ACV incorpora os efeitos de um mix de geração de eletricidade e insumos de energia elétrica em sua produção. A conclusão do estudo indica que, entre outras, o aumento de fontes renováveis como a eólica e a solar irão criar aspectos positivos além das reduções das emissões de GEE.

Outro trabalho, ainda na Europa, aborda a análise do ciclo de vida completo de geração de eletricidade e abastecimento em Portugal, que foi realizada com o objetivo de analisar os efeitos das mudanças recentes difundidas no sistema elétrico por meio dos impactos ambientais, a fim de compreender a demanda futura de eletricidade e reduzir potenciais impactos ambientais. Uma redução global dos impactos foi observada entre os anos de 2003 a 2012. Nos últimos 10 anos, a energia renovável mais

do que dobrou sua capacidade de produção, impulsionado pelos grandes investimentos que ocorreram especialmente na fonte eólica instalada. Por fim, os autores utilizaram alguns métodos de AICV, tais como, IPCC 2007 e CML para compor o estudo (GARCIA, MARQUES e FREIRE et al, 2014).

No Reino Unido foi desenvolvido um modelo para ajudar a aperfeiçoar a oferta futura de energia elétrica considerando os custos de ciclo de vida e os impactos ambientais. Os custos econômicos e os impactos são determinados com base no ciclo de vida. No caso da ilustração do modelo, foram consideradas as possíveis vias para o sistema de eletricidade no Reino Unido. O método utilizado foi o CML 2001, juntamente com a otimização de duas funções, os custos do sistema de ciclo de vida e o Potencial de Aquecimento Global (GWP – *Global Warming Potential*) (BARTECZKO-HIBBERT et al, 2014).

No Brasil, um estudo aborda as principais emissões de GEE relacionados à energia elétrica, isto é, no futuro as hidroelétricas continuarão como fonte principal no país, entretanto, fontes limpas como eólica e solar possuem grande possibilidade de crescimento (DALE et al, 2013). Deste modo, observa-se que tanto no passado como no futuro as hidrelétricas continuarão sendo a principal fonte energética no Brasil, devido às instalações já presentes, além do terreno favorável. Além disso, como visto no MME, (2016) as fontes limpas estão aumentando gradativamente, como é o caso da eólica.

Na Bélgica, segundo Rodríguez et al, (2013) no estudo teórico de energia elétrica pode-se concluir que a energia eólica irá desempenhar um papel importante na redução GWP no país nos próximos anos. Foi possível obter também um caminho de transformação na matriz energética belga considerando uma base potencial de indicador de sustentabilidade previamente definido no ciclo de vida.

Pela primeira vez foi realizada uma ACV para a geração de energia elétrica na Polônia, com o objetivo de determinar e comparar o impacto potencial de geração de energia sobre o meio ambiente nos anos de 2007, 2010 e 2012. Um dos resultados foi a necessidade de atingir uma redução de 20,0% nas emissões de CO₂ até 2020 no país. Além disso, verificou-se na análise que as maiores emissões de GEE estão relacionados com a produção de energia elétrica a partir do carvão (LELEK et al, 2016).

Ainda na Europa, a Itália elaborou um estudo com o objetivo de sugerir uma abordagem metodológica para realizar uma comparação mais viável das diversas tecnologias renováveis, tornando assim, a melhor utilização dos resultados da ACV para informar aos políticos. Foi realizada uma revisão de mais de 100 estudos de casos diferentes - em matéria de energia solar, eólica, hídrica e geotérmica. Na comparação dos resultados, a energia eólica teve as mais baixas emissões de CO₂ equivalente devido à sua fonte ser renovável e limpa (ASDRUBALI et al, 2015).

Já no continente americano um trabalho realizado no Canadá fornece uma ACV das emissões de GEE relacionadas com a geração de eletricidade em 2008 na cidade de Ontário. A análise foi conduzida para informar decisões relativas à operação do sistema de energia elétrica, a política energética e os cálculos de emissões de GEE. Reconhece-se, no entanto, que o governo do país continuou o progressivo de instalações de energia provenientes do carvão até 2014, além de expandir a geração renovável de energia elétrica como, eólica e solar. Os resultados refletem o impacto do aquecimento global da geração de eletricidade, além de outros fatores ambientais, sociais, culturais, institucionais e econômicos (MALLIA e LEWIS et al, 2013).

Sobre o continente oceânico, a Austrália elaborou pela primeira vez uma abordagem de ACV completo para análise de cenários de geração de energia elétrica. O trabalho apresenta uma ACV híbrido que se baseia em uma solução analítica de input-output. A abordagem é capaz de capturar as emissões de carbono incorporadas na cadeia de abastecimento do fornecimento de eletricidade. Além disso, o trabalho investiga quão eficaz é a aplicação em larga escala de energia renovável, incluindo o total de emissões durante todo o ciclo de vida de diferentes tecnologias. O país desfruta dos benefícios de recursos energéticos abundantes, tanto fóssil como renovável (WOLFRAM, WEIDMANN e DIESENDORF et al, 2016).

Por fim, o trabalho referente à ACV e fontes energéticas realizado em Maurício é considerado o primeiro trabalho no país com a abordagem do ciclo de vida e impactos ambientais da energia elétrica com o objetivo de informar os produtores de eletricidade e os decisores políticos sobre os impactos

atuais e ambientais no setor da eletricidade. Os resultados sugerem que a eletricidade a partir do petróleo e do carvão apresentam os maiores impactos. O GWP da geração de eletricidade em Maurício é estimado em 868 kg eq./MWh CO₂. Com base no consumo de energia elétrica em 2012, isto é equivalente a 2,22 Mt eq./ano CO₂. No entanto, outras fontes renováveis, como a energia solar e eólica poderia desempenhar um importante papel no futuro, visto que são abundantes no país (BRIZMOHUN, RAMJEAWON e AZAPAGIC et al, 2015).

Portanto, observa-se que há predominância de trabalhos em países europeus, visto que, todos os autores utilizaram a metodologia ACV juntamente com o uso de algum método, como ReCipe, CED, CML, dentre outros. Um dos principais objetivos dos trabalhos aborda a quantia que cada fonte energética emite de GGE no seu país, além de indicar as reduções no GWP. O uso de fontes de energia renovável e sistemas de produção mais limpos, como eólica e solar, são de origem limpa, além de serem sempre bem-vindas no portfólio da geração de energia elétrica. Com isso, vários autores fizeram uma previsão para a geração de energia elétrica a longo prazo que apontam justamente as fontes renováveis, principalmente as provenientes do sol e do vento como as mais limpas e menos impactantes ao meio ambiente.

4. Resultados

Foram demonstrados os resultados alcançados com a elaboração do referencial teórico sistematizado a partir dos artigos pesquisados que realizaram estudos de ACV na área de matrizes de energia elétrica. Os artigos referentes à ACV, com a abordagem da matriz energética estão descritos no Quadro 1. A identificação de cada artigo está descrita para o acompanhamento no Quadro 2.

Id	Título do Artigo	Autor e Ano
1	Life cycle inventories of electricity generation and power supply in version 3 of the ecoinvent database—part I: electricity generation	Karin Treyer et al, 2013
2	A cradle to gate life cycle assessment of Turkish lignite used for electricity generation with site-specific data	Hatice Sengül et al, 2016
3	Renewable electricity in Turkey: Life cycle environmental impacts	Burcin Atilgan et al, 2016
4	A comprehensive assessment of the energy performance of the full range of electricity generation technologies deployed in the United Kingdom	Marco Raugei et al, 2016
5	Environmental impacts of high penetration renewable energy scenarios for Europe	Peter Berrill et al, 2016
6	Assessing the environmental sustainability of electricity generation in Turkey on a life cycle basis	Burcin Atilgan et al, 2016
7	Is climate change-centrism an optimal policy making strategy to set national electricity mixes?	Ian Vázquez-Rowe et al, 2015
8	Life cycle sustainability assessment of UK electricity scenarios to 2070	Laurence Stamford et al, 2014
9	Life-cycle assessment of electricity in Portugal	Rita Garcia et al, 2014
10	A multi-period mixed-integer linear optimisation of future electricity supply considering life cycle costs and environmental impacts	Christian B. - Hibbert et al, 2014
11	Environmental impacts of future low-carbon electricity systems: Detailed life cycle assessment of a Danish case study	Roberto Turconi et al, 2014
12	Incorporating life cycle external cost in optimization of the electricity generation mix	Athanasios Rentizelas et al, 2014

13	Life cycle assessment (LCA) of electricity generation technologies: Overview, comparability and limitations	Roberto Turconi et al, 2013
14	Modeling future life-cycle greenhouse gas emissions and environmental impacts of electricity supplies in Brazil	Alexander T. Dale et al, 2013
15	Life cycle modeling of energy matrix scenarios, Belgian power and partial heat mixes as case study	M.A. Rubio Rodríguez et al, 2013
16	Hydrogen mobility from wind energy – A life cycle assessment focusing on the fuel supply	Jörg Burkhardt et al, 2016
17	Ecological and economic aspects of electric energy production using the biomass co-firing method: The case of Poland	Maciej Dzikuć et al, 2016
18	Life cycle assessment of energy generation in Poland	Lukasz Lelek et al, 2016
19	Life cycle assessment of electricity production from renewable energies: Review and results harmonization	Francesco Asdrubali et al, 2015
20	Considering supply and demand of electric energy in life cycle assessments - A review of current methodologies	M. Rehberger et al, 2015
21	Human health impacts in the life cycle of future European electricity generation	Karin Treyer et al, 2014
22	Life cycle greenhouse gas emissions of electricity generation in the province of Ontario, Canada	Eric Mallia et al, 2013
23	Environmental impact assessment of increasing electric vehicles in the Brazilian fleet	Ernani Francisco Choma et al, 2015
24	Carbon footprint scenarios for renewable electricity in Australia	Paul Wolfram et al, 2016
25	Environmental and economic analysis of residual woody biomass transport for energetic use in Chile	Edmundo Muñoz et al, 2015
26	Life cycle assessment of electricity generation in Mauritius	Ravina Brizmohun et al, 2015

Quadro 1 – Identificação, título e referência dos artigos pesquisados. Fonte: Autoria própria (2016)

Destaca-se que entre os principais artigos buscados na temática abordada, no Brasil não há significativa incidência de desenvolvimentos de ACV para estudos da composição da matriz elétrica, considerando os métodos e suposições utilizados neste artigo. Já em países Europeus, a ACV está presente há mais tempo, existindo mais pesquisas de impacto, pesquisadores e trabalhos nessa área. Ainda assim, o Brasil vem ganhando espaço e crescendo o número de trabalhos na temática. No Quadro 2, foram subdivididas algumas informações relevantes sobre cada artigo abordado.

Id	País	Universidade	Métodos / categorias AICV	Ano	Jornal	FI (JCR)	Citações	M. Ordinalio
1	Suíça	Instituto Paul Scherre	Realizado uma análise de Inventário	2013	International Journal of LCA	3.324	24	66
2	Turquia	Hacettepe University	CML, TRACI, ReCiPe	2016	Cleaner Production	4.959	0	56
3	Reino Unido	The University of Manchester	CML 2001	2016	Renewable Energy	3.404	4	74

4	Reino Unido	Oxford Brookes University	CED	2016	Energy Policy	3.045	3	66
5	Noruega	Norwegian University of Science and Technology	ReMix	2016	Environmental Research Letters	4.134	3	57
6	Reino Unido	The University of Manchester	CML 2001	2016	Energies	2.077	2	74
7	Peru	Pontificia Universidad Católica del Perú	ReCiPe	2015	Applied Energy	5.746	4	64
8	Reino Unido	The University of Manchester	CML	2014	Energy for Sustainable Development	2.379	21	81
9	Portugal	University of Coimbra	CED, IPCC, CML	2014	Applied Energy	5.746	19	89
10	Reino Unido	The University of Manchester	CML	2014	Applied Energy	5.746	11	71
11	Dinamarca	Technical University of Denmark	EASETECH	2014	Applied Energy	5.746	15	95
12	Reino Unido	University of Strathclyde	Impact Pathway (Avaliação de custo)	2014	Energy Policy	3.045	16	56
13	Dinamarca	Technical University of Denmark	IOA, PCA	2013	Renewable and Sustainable Energy Reviews	6.798	96	159
14	Brasil	Universidade Federal do Rio de Janeiro	IMPACT 2002+	2013	Energies	2.077	7	67
15	Bélgica	Universidad Central Marta Abreu de Las Villas	Ecoindicator 99	2013	Applied Energy	5.746	8	71
16	Alemanha	Karlsruhe Institute of Technology	CED	2016	Applied Energy	5.746	0	50
17	Polónia	University of Zielona Góra	Ecoindicator 99	2016	Renewable and Sustainable Energy Reviews	6.798	6	51

18	Polônia	Mineral and Energy Economy Research Institute of the Polish Academy of Sciences	IMPACT 2002+	2016	International Journal of LCA	3.324	1	82
19	Itália	Università degli Studi di Perugia	IPCC, CED, Ecoindicator 99	2015	Renewable and Sustainable Energy Reviews	6.798	45	99
20	Alemanha	University of Kassel	Realizado uma revisão da literatura	2015	Materiaux et Techniques	0	1	41
21	Suíça	Paul Scherrer Institute	ReCipe, IMPACT 2002+	2014	Energy Policy	3.045	16	79
22	Canadá	University of Waterloo	Realizado uma análise de Inventário	2013	International Journal of LCA	3.324	26	71
23	Brasil	Universidade Tecnológica Federal do Paraná	CML 2000	2015	Cleaner Production	4.959	4	52
24	Alemanha	Berlin Institute of Technology	IPCC's 2007	2016	Cleaner Production	4.959	2	56
25	Chile	Universidad de La Frontera	ReCipe	2015	International Journal of LCA	3.324	4	54
26	Maurícia	University of Mauritius	CML	2015	Cleaner Production	4.959	7	70

Quadro 2 – Informações sobre os artigos. Fonte: Autoria própria (2016)

No Quadro 2, os trabalhos apresentaram alguns métodos principais e mais utilizados nessa abordagem mundialmente, dentre os quais, pode-se citar ReCipe, CML, Impact 2002+, CED e outros. Deste modo, observa-se que a grande maioria dos trabalhos é internacional, com foco principal nos países europeus, onde há grande incentivo a órgãos governamentais para o uso, implantação e a manutenção de fontes energéticas limpas para o futuro. Segundo BERRILL et al, (2016) o aumento de fontes renováveis como a eólica e a solar irão criar aspectos positivos além das reduções das emissões de GEE. O artigo que obteve o maior índice do Methodi Ordinatio foi o estudo elaborado por Roberto Turconi et al, (2013), devido ao maior FI e o grande número de vezes que o artigo foi citado.

5. Conclusão

Pesquisadores, empresários, governos e sociedade estão cada vez mais preocupados com questões ambientais, no ecologicamente correto e no economicamente viável em função da produção mais limpa e aproveitamento de recursos naturais e não naturais para a produção de energia elétrica.

Deste modo, os resultados obtidos permitem concluir que já estão sendo desenvolvidos estudos científicos internacionais de alto impacto, cujos países analisaram suas composições energéticas ou realizaram análises do setor utilizando ACV para gerar conhecimento sobre o sistema e apoiar decisões

futuras e políticas públicas.

Os principais trabalhos elaborados nessa área referem-se a países europeus, cujos autores, utilizando os métodos de AICV apontam que no futuro as principais fontes de energia elétrica serão as fontes renováveis, pois se trata de geração limpa, contando com a mínima emissão de GEE e a redução do GWP de cada país.

Com isso, os resultados desse artigo, podem ser compreendidos a partir das influências dos impactos ambientais de acordo com a composição da matriz elétrica de cada país, além de poder ser utilizados para direcionamento de políticas públicas, promoções de ações de desenvolvimento e incentivos de diferentes matrizes energéticas.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Universidade Tecnológica Federal do Paraná/Brasil.

Referências

Asdrubali, Francesco et al. Life cycle assessment of electricity production from renewable energies: Review and results harmonization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Itália, v. 42, p. 1113-1122. 15 nov. 2014.

Atilgan, Burcin; Azapagic, Adisa. Assessing the Environmental Sustainability of Electricity Generation in Turkey on a Life Cycle Basis. *Energies*, Manchester, v. 9, p. 31-40. 07 jan. 2016.

Atilgan, Burcin; Azapagic, Adisa. Renewable electricity in Turkey: Life cycle environmental impacts. *Renewable Energy*, Reino Unido, v. 89, p. 649-657. 24 dez. 2015.

Barteczko-Hibbert, Christian et al. A multi-period mixed-integer linear optimisation of future electricity supply considering life cycle costs and environmental impacts. *Applied Energy*, Reino Unido, v. 133, p. 317-334. 20 ago. 2014.

Berrill, Peter et al. Environmental impacts of high penetration renewable energy scenarios for Europe. *Environmental Research Letters*, Noruega, v.11, p. 1-11. 27 jan. 2016.

Brizmohun, Ravina; Ramjeawon, Toolseeram; Azapagic, Adisa. Life cycle assessment of electricity generation in Mauritius. *Journal Of Cleaner Production*, Maurício, v. 106, p. 565-575. 15 nov. 2014.

Burkhardt, Jörg et al. Hydrogen mobility from wind energy – A life cycle assessment focusing on the fuel supply. *Applied Energy*, Alemanha, v. 181, p. 54-64. 16 ago. 2016.

Choma, Ernani Francisco; Ugaya, Cássia Maria Lie. Environmental impact assessment of increasing electric vehicles in the Brazilian fleet. *Journal Of Cleaner Production*, Brasil. 26 jul. 2015.

Dale, Alexander T. et al. Modeling Future Life-Cycle Greenhouse Gas Emissions and Environmental Impacts of Electricity Supplies in Brazil. *Energies*, Brasil, v. 6, n. 7, p. 3182-3208. 02 jul. 2013.

Dzikuć, Maciej; Piwowar, Arkadiusz. Ecological and economic aspects of electric energy production using the biomass co-firing method: The case of Poland. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, Polônia, v. 55, p. 856-862. 05 dez. 2015.

Garcia, Rita; Marques, Pedro; Freire, Fausto. Life-cycle assessment of electricity in Portugal. *Applied Energy*, Portugal, v.134, p. 563-572. 06 set. 2014.

Lelek, Lukasz et al. Life cycle assessment of energy generation in Poland. *The International Journal Of Life Cycle Assessment*, Polônia, v. 21, n. 1, p. 1-14. 03 nov. 2015.

Löfgren, B.; Tillman, A.; Rinde, B. Manufacturing actor's LCA. *Journal of Cleaner Production*,

Amsterdam, v. 19, p.2025-2033, 2011.

Mallia, Eric; Lewis, Geoffrey. Life cycle greenhouse gas emissions of electricity generation in the province of Ontario, Canada. *The International Journal Of Life Cycle Assessment*, Canada, v. 18, n. 2. p. 337-391. 20 set. 2012.

Ministério de Minas e Energia (MME). (Org.). *Balanco Energético Nacional (BEN)*. 2016. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf>. Acesso em: 16 out. 2016.

Muñoz, Edmundo; Vargas, Sebastián; Navia, Rodrigo. Environmental and economic analysis of residual woody biomass transport for energetic use in Chile. *The International Journal Of Life Cycle Assessment*, Chile, v. 20, n. 7, p. 1033-1043. 25 abr. 2015.

Pagani, R. N; Kovaleski, J. L.; Resende, L. M. (2015). Método para seleção e ordenação de portfólio bibliográfico *Methodi Ordinatio*. Technical process for patent registration pending at INPI. Brasil: INPI, 2015.

Raugei, Marco; Leccisi, Enrica. A comprehensive assessment of the energy performance of the full range of electricity generation technologies deployed in the United Kingdom. *Energy Policy*, Reino Unido, v.90, p. 46-59. 18 dez. 2015.

Rehberger, M.; Hiete, M. Considering supply and demand of electric energy in life cycle assessments - A review of current methodologies. *Matériaux & Techniques*, Alemanha, v. 103, p. 105. 28 jan. 2015.

Rentizelas, Athanasios; Georgakellos, Dimitrios. Incorporating life cycle external cost in optimization of the electricity generation mix. *Energy Policy*, Reino Unido, v. 65, p. 134-149. 28 out. 2013.

Rodríguez, MA. Rubio et al. Life cycle modeling of energy matrix scenarios, Belgian power and partial heat mixes as case study. *Applied Energy*, Bélgica, v. 107, p. 329-337. 19 mar. 2013.

Şengül, Hatice et al. A cradle to gate life cycle assessment of Turkish lignite used for electricity generation with site-specific data. *Journal Of Cleaner Production*, Turquia, v. 129, p. 478-490. 14 abr. 2016.

Stamford, Laurence; Azapagic, Adisa. Life cycle sustainability assessment of UK electricity scenarios to 2070. *Energy For Sustainable Development*, Reino Unido, v. 23, p. 194-211. 12 out. 2014.

Treyer, Karin; Bauer, Christian. Life cycle inventories of electricity generation and power supply in version 3 of the ecoinvent database—part I: electricity generation. *The International Journal Of Life Cycle Assessment*, Suíça, v. 21, n. 9, p. 1236-1254. 27 nov. 2013.

Treyer, Karin; Bauer, Christian; Simons, Andrew. Human health impacts in the life cycle of future European electricity generation. *Energy Policy*, Suíça, v. 74, p. S31-S44. 9 maio 2014.

Turconi, Roberto et al. Environmental impacts of future low-carbon electricity systems: Detailed life cycle assessment of a Danish case study. *Applied Energy*, Dinamarca, v. 132, p. 66-73. 18 jul. 2014.

Turconi, Roberto; Boldrin, Alessio; Astrup, Thomas. Life cycle assessment (LCA) of electricity generation technologies: Overview, comparability and limitations. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, Dinamarca, p. 555-565. 03 set. 2013.

Vázquez-Rowe, Ian et al. Is climate change-centrism an optimal policy making strategy to set national electricity mixes? *Applied Energy*, Perú, v. 159, p. 108-116. 09 set. 2015.

Wolfram, Paul; Wiedmann, Thomas; Diesendorf, Mark. Carbon footprint scenarios for renewable electricity in Australia. *Journal Of Cleaner Production*, Austrália, v. 124, p. 236-245. 26 fev. 2016.