



## Desempenho ambiental da matriz de geração de energia elétrica brasileira utilizando ACV em termos de categorias *endpoints*

### RESUMO

José Guilherme de Paula do Rosário

[jrosario@alunos.utfpr.edu.br](mailto:jrosario@alunos.utfpr.edu.br)

Bolsista da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Cassiano Moro Piekarski

[piekarski@utfpr.edu.br](mailto:piekarski@utfpr.edu.br)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Murillo Vetroni Barros

[murillo.vetroni@gmail.com](mailto:murillo.vetroni@gmail.com)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

**OBJETIVO:** O presente trabalho visa avaliar os aspectos e potenciais impactos gerados pelas tecnologias adotadas na matriz de geração de energia elétrica do Brasil em cenários de anos passados e futuros do *mix* das fontes da matriz elétrica. **MÉTODOS:** Foram utilizados os dados do *mix* de geração de energia elétrica de 2014 a 2024, fornecidos pelos órgãos públicos: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Ministério de Minas e Energia (MME) e Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o método utilizado foi o *ReCiPe Endpoint e*, categorias de danos a: Ecossistema, Saúde Humana, Recursos e Total, através da modelagem no *software* Umberto NXT Universal. **RESULTADOS:** Os resultados obtidos mostraram uma melhoria do desempenho nas quatro categorias avaliadas (com base em 2014 a 2024), sendo a principal melhoria na categoria Saúde Humana com um melhoria relativa de 11,59% (em pontos de impacto/kWh). **CONCLUSÕES:** Nota-se que o desenvolvimento de novas tecnologias e futuros investimentos na matriz de geração de energia elétrica tiveram e terão um impacto positivo em termos de desempenho ambiental. Com os resultados obtidos foi possível concluir que a penetração das energias renováveis no *mix* da matriz de energia elétrica e maior participação dessas energias em cada kWh produzido resultam em um melhor desempenho ambiental por kWh produzido no país.

**PALAVRAS-CHAVE:** ACV. ReCiPe. Endpoint. Impacto ambiental. Energia Elétrica

## INTRODUÇÃO

Desde sua criação e disponibilidade a energia elétrica vem se tornando cada vez mais necessária para o desenvolvimento da humanidade e avanços tecnológicos. Durante a evolução histórica das tecnologias de produção de energia elétrica o ser humano buscou e transformou condições para que essas favorecessem o desenvolvimento dessas tecnologias, tal busca e transformação em ambientes que houvessem recursos capaz de satisfazer suas necessidades foi muitas vezes e ainda se dá de maneira a não considerar fatores de todas as vertentes (LEITE, 2015).

Buscar o conhecimento de quais os impactos de cada fonte que compõe a matriz elétrica do Brasil motivou a realização do presente trabalho. Segundo a ABNT (2009) a Avaliação do Ciclo de Vida é uma ferramenta utilizada para avaliação dos aspectos e potenciais impactos ambientais relacionados aos produtos, processos ou atividades. Desta maneira a ferramenta utilizada no presente trabalho foi a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) que avalia as várias fases do ciclo de vida para que o objeto de pesquisa realize suas funções pré-estabelecidas, desde a retirada de recursos até sua disposição final.

Para a realização da Avaliação do Ciclo de Vida temos diversos métodos de avaliação de impactos, com níveis de avaliação diferentes e categorias de abordagens diversas dentro de cada método (MENDES, 2016).

O presente trabalho objetiva apresentar os resultados da avaliação do desempenho ambiental das fontes de geração de energia elétrica no Brasil para o anos de 2014 a 2024 de acordo com o *mix* da matriz de energia elétrica conforme informações dispostas em EPE(2015), MME (2016) e ANEEL (2017).

## MÉTODOS

Um estudo realizado por Barros (2017) trouxe uma tabela adaptada e com todas as informações necessárias para a modelagem no *software* Umberto NXT Universal que foi utilizado para o estudo da avaliação do ciclo de vida.

A Figura 1 traz a evolução da capacidade de geração de eletricidade no Brasil no período de 2014 a 2024. O autor do estudo utilizou como base os estudos e dados fornecidos pela EPE(2015), MME (2016) e ANEEL (2017).

Figura 1 - Evolução da capacidade instalada (em MW) de geração de energia elétrica no Brasil entre 2014 e 2024

| Fonte                   | 2014          | 2015          | 2016          | 2017          | 2018          | 2019<br>MW    | 2020          | 2021          | 2022          | 2023          | 2024          |
|-------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Hidrelétrica + PCH      | 87789         | 91840         | 97752         | 102487        | 107554        | 108540        | 108915        | 110649        | 112537        | 115035        | 117972        |
| Importação PY (69,16%)  | 4841,2        | 4841,2        | 4841,2        | 4841,2        | 4841,2        | 4841,2        | 4841,2        | 4841,2        | 4841,2        | 4841,2        | 4841,2        |
| Importação AR (27,54%)  | 1927,8        | 1927,8        | 1927,8        | 1927,8        | 1927,8        | 1927,8        | 1927,8        | 1927,8        | 1927,8        | 1927,8        | 1927,8        |
| Importação VE (2,45%)   | 171,5         | 171,5         | 171,5         | 171,5         | 171,5         | 171,5         | 171,5         | 171,5         | 171,5         | 171,5         | 171,5         |
| Importação UY (0,86%)   | 60,2          | 60,2          | 60,2          | 60,2          | 60,2          | 60,2          | 60,2          | 60,2          | 60,2          | 60,2          | 60,2          |
| Eólica                  | 5000          | 6900          | 8800          | 10700         | 12600         | 14500         | 16400         | 18300         | 20200         | 22100         | 24000         |
| Solar                   | 480           | 1132          | 1784          | 2436          | 3088          | 3740          | 4392          | 5044          | 5696          | 6348          | 7000          |
| Cana de Açúcar (78,82%) | 8670          | 9222          | 9774          | 10325         | 10877         | 11429         | 11981         | 12532         | 13084         | 13636         | 14188         |
| Licor Negro (19,28%)    | 2121          | 2256          | 2391          | 2526          | 2661          | 2796          | 2931          | 3066          | 3200          | 3335          | 3470          |
| Outros (1,89%)          | 208           | 221           | 234           | 248           | 261           | 274           | 287           | 301           | 314           | 327           | 340           |
| <b>Renováveis</b>       | <b>111269</b> | <b>118572</b> | <b>127736</b> | <b>135723</b> | <b>144042</b> | <b>148280</b> | <b>151907</b> | <b>156893</b> | <b>162033</b> | <b>167783</b> | <b>173972</b> |
| Nuclear                 | 1990          | 1990          | 1990          | 1990          | 1990          | 3395          | 3395          | 3395          | 3395          | 3395          | 3395          |
| Gás Natural             | 11043         | 11317         | 11486         | 12026         | 12427         | 14903         | 16419         | 17619         | 18819         | 20019         | 21219         |
| Carvão                  | 3064          | 3064          | 3064          | 3064          | 3064          | 3404          | 3404          | 3404          | 3404          | 3404          | 3404          |
| Petróleo                | 3586          | 3586          | 3586          | 3201          | 3201          | 3201          | 3201          | 3201          | 3201          | 3201          | 3201          |
| Óleo Diesel             | 1239          | 1269          | 1269          | 1124          | 1124          | 1124          | 1124          | 1124          | 1124          | 1124          | 1124          |
| Gás de Processo         | 687           | 687           | 687           | 687           | 687           | 687           | 687           | 687           | 687           | 687           | 687           |
| <b>Não Renováveis</b>   | <b>21609</b>  | <b>21913</b>  | <b>22082</b>  | <b>22092</b>  | <b>22493</b>  | <b>26714</b>  | <b>28230</b>  | <b>29430</b>  | <b>30630</b>  | <b>31830</b>  | <b>33030</b>  |
| <b>Total</b>            | <b>132878</b> | <b>140485</b> | <b>149818</b> | <b>157815</b> | <b>166535</b> | <b>174994</b> | <b>180137</b> | <b>186323</b> | <b>192663</b> | <b>199613</b> | <b>207002</b> |

Fonte: Barros (2017) "Adaptado de EPE (2015), MME (2016), ANEEL (2017)".

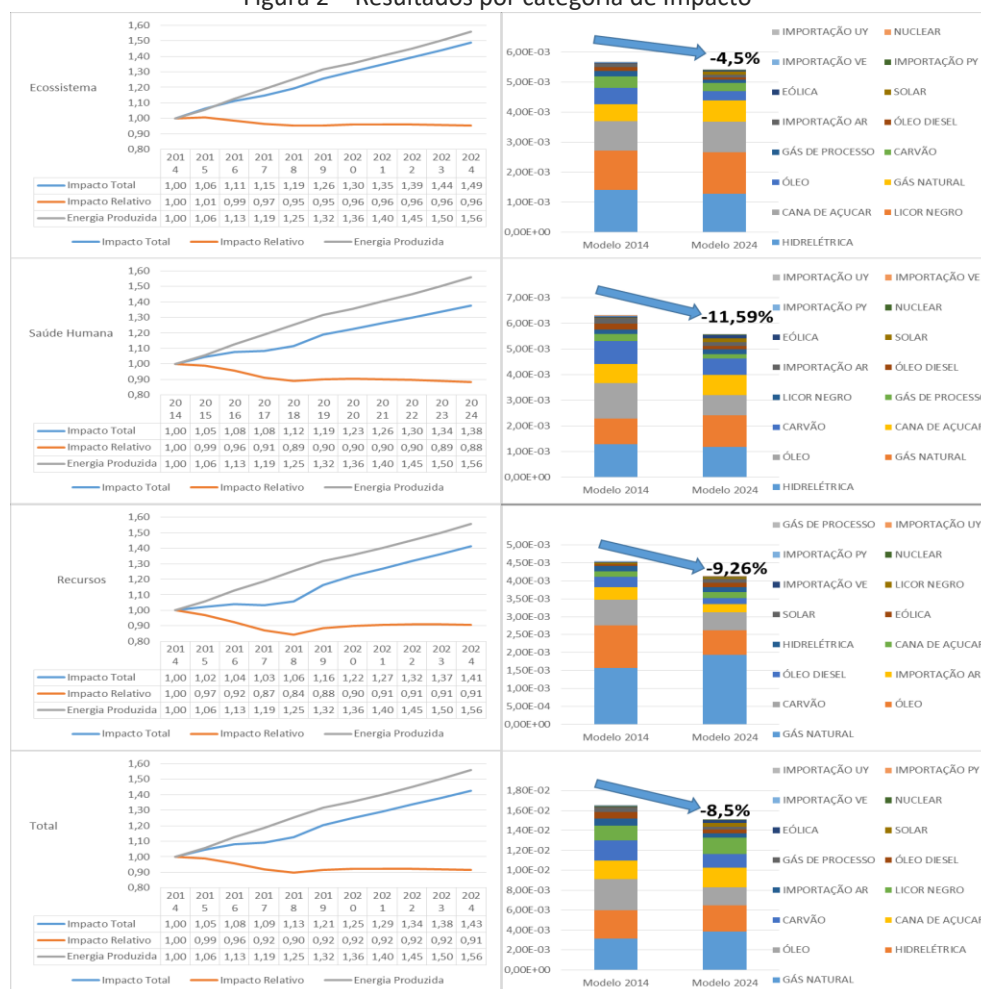
A partir dos dados apresentados na Figura 1 foi modelado o sistema de produto na produção de energia elétrica brasileira para os períodos analisados. A modelagem foi realizada no *software* Umberto NXT Universal, e o método para avaliação de impactos utilizado no presente trabalho foi o *ReCiPe Endpoint* nas categorias de impacto: Qualidade de Ecossistema; Saúde humana; Recursos; e Total.

O nível de avaliação *Endpoint* trata se de um nível de avaliação até o ponto final e traz uma pontuação do impacto voltado as áreas de proteção do ambiente natural (Joint Research Centre, 2011).

## RESULTADOS

Os resultados obtidos na ACV realizada no *software* Umberto foram exportados e com eles foi possível montar uma figura para mostrar o comportamento das curvas de impacto total (pontos por ano), energia produzida (kWh por ano) e impacto relativo (pontos/kWh de energia produzido por ano) sobre cada categoria de impacto *endpoint* analisada, como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Resultados por categoria de Impacto



A Figura 2 mostra que o impacto total pela categoria total obteve um aumento de 43% no ano 2024 em relação a 2014 o que seria negativo se

analisado isoladamente, já que o impacto causado pela geração de energia elétrica está aumentando. Porém é o resultado da expansão em 56% da matriz de geração elétrica no Brasil, com isso ao analisarmos o impacto relativo que representa o impacto por kWh produzido todas as categorias mostraram uma significativa melhoria com destaque para a categoria Saúde Humana que demonstrou melhor desempenho dos impactos gerados, com uma queda de 11,59 % de impacto a menos gerado por kWh produzido.

A melhora de desempenho visível nos impactos gerados por kWh produzido ocorre tanto pelo crescimento da participação de fontes renováveis dentro da matriz de energia elétrica, especialmente as fontes eólica e solar que não consomem recursos em suas operações, quanto pela redução de 66% para 60% de participação relativa das hidrelétricas.

Na categoria de impactos no ecossistema temos uma melhoria de 4,5% da previsão do *mix* da matriz do ano de 2014 para o ano de 2024, ressaltando que essa melhoria é causa da redução de fontes que geram maior impacto, as principais reduções foram a de 5,7% da participação das hidrelétricas, redução em 1,15% da participação do óleo e a redução da participação do carvão em 0,66% por kWh, enquanto a fonte eólica teve um acréscimo de 7,83% e a solar acréscimo de 3,02%. A melhora não foi mais positiva pelo aumento de 1,94% da fonte gás natural.

A categoria com a maior redução foi a de saúde humana com -11,59% (pontos por kWh), resultado da penetração das fontes eólica (+7,83%) e solar (+3,02%) no *mix*, e as reduções das fontes hidrelétrica (-5,7%), óleo (-1,15%), carvão (-0,66%), importação AR (-0,52%) e gás de processo (-0,19%).

Já a categoria de Recursos obteve uma redução de impactos de 9,26% sendo a segunda categoria mais beneficiada pelas mudanças no *mix* da matriz de energia elétrica, embora o aumento do gás natural que mostra um aumento de 1,94% e que passará de uma participação de 34,65% no ano de 2014 para 47,10% no ano de 2024 em impactos aos recursos, a redução de outras fontes: óleo (-1,15%), carvão (-0,66%), importação AR (-0,52%) e óleo diesel (-0,39%) vão gerar melhor desempenho para essa categoria de impacto.

Podemos visualizar o bom desempenho nas três categorias que resultam na da categoria Total, uma melhora de 8,5% em relação a pontos por kWh produzido de 2014 a 2024.

## CONCLUSÕES

Destaca-se a importância do estudo que envolve a ferramenta ACV com as fontes de energia elétrica brasileira, visto que, com a modelagem e a análise do ciclo de vida é possível chegar a conclusões de possíveis melhorias baseadas na perspectiva de ciclo de vida, além de conseguir identificar avanços e retrocessos no âmbito energético brasileiro juntamente com o desempenho ambiental para o método de impacto ReCiPe Endpoint.

A produção de energias limpas no Brasil nos últimos anos tem representado um avanço significativo na área, visto que as gerações de energia como a eólica, solar e biomassa são de fontes renováveis. Evidenciando ainda que para a projeção, as fontes limpas irão aumentar e tomar espaço das fontes não renováveis como o petróleo, gás natural e carvão, por exemplo. A energia eólica é uma das que mais se destacam na matriz energética e vem ganhando espaço na demanda de produção de energia elétrica brasileira.

Pesquisadores, empresários, governo e sociedade cada vez mais estão preocupados com questões ambientais, em função da melhor produção e aproveitamento de recursos naturais e não naturais para a produção de energia. Portanto, o projeto gerou novos conhecimentos, avanço científico e mostrou a importância da produção de energia elétrica limpa no país.

## Environmental development of brazilian electric power generating matrix using ACV in terms of endpoint categories

### ABSTRACT

**OBJECTIVE:** The following work seeks to evaluate the aspects and potential impacts made by the technologies adopted in Brazil's electric power generating matrix in past years and the future of the mix of sources for the electric power matrix. **METHODS:** The data used was from the mix of electric power generation from 2014 to 2024 released by the following public agencies: Energy Research Company (EPE), Ministry of Mines and Energy (MME) and Electric Power National Agency (ANEEL), the method utilized was the ReCiPe Endpoint and damage categories of: Ecosystem, Human Health, Resources and Total, through modelling with the Umberto NXT Universal software. **RESULTS:** The results obtained showed an improvement of performance in all four categories evaluated (based between 2014 to 2024), being the main improvement the Human Health category, with a relative improvement of 11,59% (in impact points/kWh). **CONCLUSIONS:** It's noticeable that the development of new technologies and future investments in the electric power generating matrix had and will have positive environmental impact. With the results obtained it was possible to conclude that the penetration of renewable energies in the mix of the electric power matrix and higher participation of these energies in each kWh produced results in a better environmental performance per kWh produced in the country.

**KEYWORDS:** ACV. ReCiPe. EndPoint. Environmental Impact. Electricity.

## AGRADECIMENTOS

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

## REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas). **ABNT NBR ISO 14040:2009** Versão Corrigida: 2014: Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e Estrutura. Brasil, 2009a.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). (Org.). **Banco de Informações de Geração (BIG)**, 2017. Disponível em: < <https://goo.gl/1FbuiK> >. Acesso em: 20 mai. 2017.

BARROS, Murillo Vetroni. **Avaliação do Ciclo de Vida de geração de energia elétrica no Brasil: histórico e perspectivas futuras em termos de aquecimento global**. 2017. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). (Org.). **Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil - Condicionantes e Impactos**. 2014. Disponível em: < <https://goo.gl/4EtyBh> >. Acesso em: 16 abr. 2017.

Joint Research Centre. **Recommendations based on existing environmental impact assessment models and factors for life cycle assessment in European context**. (ILCD Handbook). – JRC. (2011).

LEITE, Djane Barbosa; SOUZA, Ênio Pereira de. **Tendências do cenário energético brasileiro: a energia de fonte eólica e o “olhar” dos atingidos**. Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas, Campina Grande, p.243-250, dez. 2015.

MENDES, Natalia Crespo; BUENO, Cristiane; OMETTO, Aldo Roberto. **Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos**. Production, [s.l.], v. 26, n. 1, p.160-175, mar. 2016. FapUNIFESP (SciELO).

MME (Ministério de Minas e Energia). (Org.). **Balanco Energético Nacional (BEN)**. 2016. Disponível em: < <https://goo.gl/rT4Nno> >. Acesso em: 16 out. 2016.

**Recebido:** 31 ago. 2017.

**Aprovado:** 02 out. 2017.

**Como citar:**

ROSÁRIO, J. G. de P.; PIEKARSKI, C; BARROS, M. V. M. Desempenho ambiental da matriz de geração de energia elétrica brasileira utilizando ACV em termos de categorias *endpoints*. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UTFPR, 22., 2017, Londrina. **Anais eletrônicos...** Londrina: UTFPR, 2017. Disponível em: <<https://eventos.utfpr.edu.br/sicite/sicite2017/index>>. Acesso em: XXX.

**Correspondência:**

José Guilherme de Paula do Rosário

Rua Dr Lauro Lopes, número 59, Bairro Jardim Carvalho, Ponta Grossa, Paraná, Brasil.

**Direito autoral:**

Este resumo expandido está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional.

