



**Grupo de Estudo de Desempenho Ambiental de Sistemas Elétricos-GMA**

**AValiação Comparativa de Desempenho Ambiental da Produção de Energia Elétrica no Brasil nos Anos de 2014 a 2016**

**TIAGO CHAGAS DE OLIVEIRA TOURINHO(1);  
Furnas(1);**

**RESUMO**

Este estudo realiza uma avaliação comparativa de desempenho ambiental da produção de Energia Elétrica no Brasil entre os anos de 2014 e 2016, visando verificar se houve evolução da qualidade ambiental da matriz elétrica. Para a análise, se utiliza um *software* de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). O ano de 2016 foi o menos impactante em 13 categorias intermediárias de impacto, seguido por 2014 (menos impactante em 03 categorias) e 2015 (menos impactante em 02 categorias). Na pontuação única, 2016 apresentou uma redução de impacto de 31% em relação a 2015 e de 36% em relação a 2014.

**PALAVRAS-CHAVE**

Avaliação de Ciclo de Vida, Matriz Elétrica Brasileira, SimaPro, Impactos Ambientais, Análise Sistêmica

**1.0 - INTRODUÇÃO**

O aquecimento global é um dos temas que mais geram preocupações ambientais, promovido, sabidamente, pelo aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE). A preocupação na redução das emissões dos GEE se apresenta como tema atual, visto que vai ao encontro do atingimento das metas brasileiras no Acordo de Paris, assinado, pelo Congresso Nacional, em 2016. O acordo foi aprovado por 195 países participantes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC) para reduzir as emissões de GEEs no contexto do desenvolvimento sustentável (MMA, 2019).

No ano de 2016, o total de emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira atingiu 428,95 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente ( $CO_{2eq}$ ), sendo o setor elétrico brasileiro responsável pela emissão, em média, de 101,3 kg  $CO_2$  / MWh (EPE, 2017a). A Figura 1 apresenta as parcelas das fontes de energia elétrica (EE) que compuseram a matriz elétrica brasileira entre os anos de 2014 a 2016, segundo dados do Balanço Energético Nacional (BEN) 2017 (EPE, 2017b).

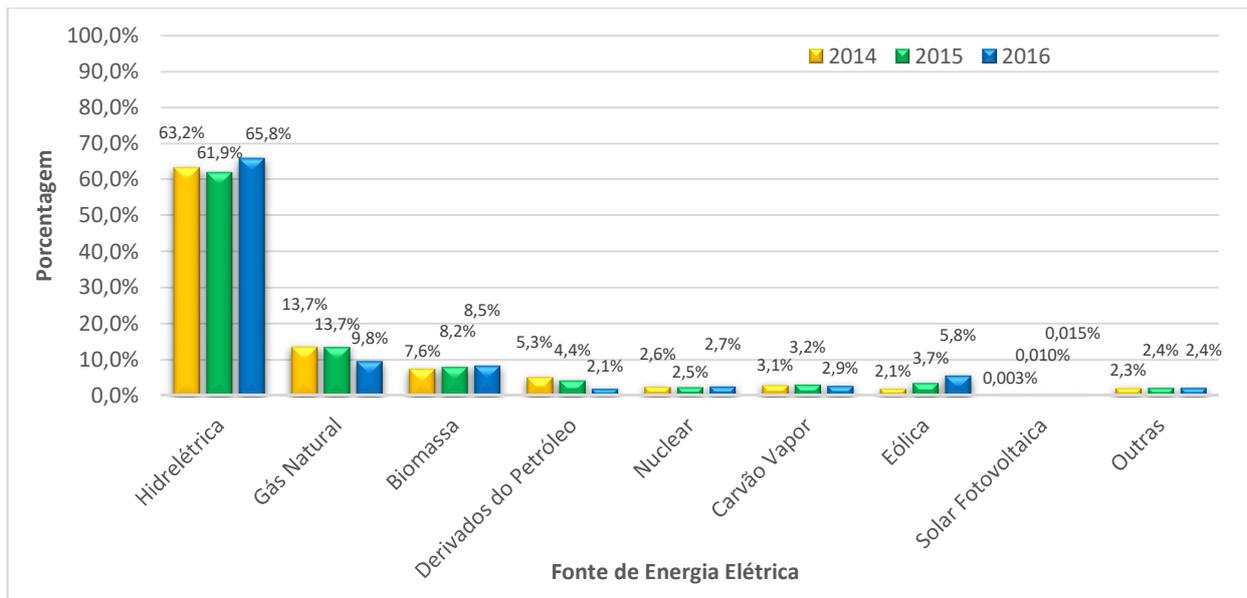


FIGURA 1 – Distribuição das parcelas de EE, por fonte, na matriz elétrica brasileira entre os anos de 2014 a 2016

Visando à redução das emissões de  $CO_{2eq}$ , é salutar a gradual substituição das fontes térmicas de geração de eletricidade por fontes menos poluentes. Por meio da Figura 1, é possível observar, em 2016, uma maior porcentagem de produção de EE por fontes renováveis (hidráulica, biomassa, eólica e solar), totalizando 80,0%, se comparada com 2015 (73,8%) e 2014 (72,9%).

Porém, a possibilidade de redução de um tipo de impacto ambiental, como no caso das Mudanças Climáticas, não garante a redução de outros tipos de impacto aos meios hídrico, terrestre e atmosférico. Portanto, uma análise sistêmica dos impactos ambientais no conjunto de fontes de EE é de grande valia.

Nesse contexto, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) se apresenta como uma ferramenta sistêmica de gestão ambiental, orientada pela série de normas ISO 14040, que pode ser aplicável a produtos, serviços e diferentes processos (ABNT, 2009a). Ela quantifica e avalia os aspectos ambientais e seus impactos potenciais, associados ao ciclo de vida de um serviço, processo, atividade ou produto, sendo seu estudo compreendido por quatro fases (ver Figura 2): i) definição de objetivo e escopo; ii) análise de inventário; iii) avaliação de impacto; e, iv) interpretação (ABNT, 2009a).

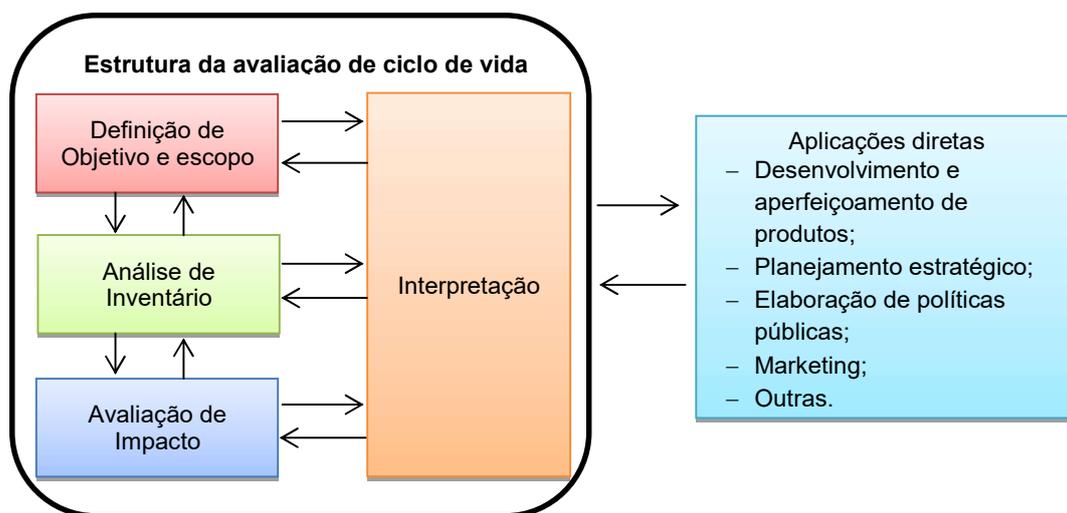


FIGURA 2 – Fases de uma ACV  
Adaptado de: ABNT (2009a).

A ACV leva em consideração um ciclo de vida completo do produto, desde a extração de recursos, produção, uso, reciclagem e a disposição final de resíduos. Apesar desta análise ter componentes subjetivos em alguns aspectos, como as fronteiras do sistema, definição de objetivos e escopo, além da qualidade dos dados, a ACV é

amplamente utilizada para a tomada de decisão em seleção de processos, projetos e otimização (PIERAGOSTINI *et al.*, 2012).

O objetivo e o escopo da ACV têm a função de esclarecer o motivo de sua realização e a abrangência do estudo. Dentre outros itens, deve-se mencionar (ABNT, 2009b):

- O sistema de produto do estudo – conjunto de processos elementares, que desempenha uma ou mais funções definidas e que modela seu ciclo de vida;
- A unidade funcional (UF) – define a quantificação das funções identificadas do produto, fornecendo uma referência em relação à qual os dados de entrada e saída são relacionados, permitindo uma comparação de diferentes sistemas;
- A fronteira do sistema – conjunto de critérios que determina quais processos elementares devem ser incluídos na ACV;
- A metodologia de Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV) e tipos de impacto – determina quais categorias de impacto, indicadores das categorias e modelos de caracterização serão incluídos no estudo da ACV. A AICV auxilia na transformação das entradas e saídas em um número de impactos ambientais;
- As premissas adotadas; e
- A existência de elementos opcionais, como: normalização (cálculo de magnitude dos resultados dos indicadores de categoria com relação a informações de referência) e ponderação (conversão e possível agregação dos resultados normalizados utilizando pesos baseados em escolha de valores).

A análise de inventário de ciclo de vida (ICV) envolve a coleta de dados (compilação) e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas relevantes de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida. Esta etapa é posteriormente utilizada na AICV, a qual visa ao entendimento e à avaliação da magnitude e significância dos impactos ambientais potenciais. Estes são calculados por métodos de AICV (GOEDKOOOP *et al.*, 2008), os quais auxiliam na modelagem dos efeitos dos aspectos ambientais no objeto de estudo, sugerindo categorias de impacto que serão afetadas (exemplo: mudanças climáticas, eutrofização, depleção de recursos, danos à saúde humana, etc.) e quantificando estes efeitos.

Por fim, na fase de Interpretação do Ciclo de Vida as constatações da análise de inventário e da avaliação de impacto são consideradas em conjunto, identificando questões significativas e tirando conclusões do estudo.

## 2.0 - OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo realizar uma avaliação comparativa de desempenho ambiental da produção de Energia Elétrica no Brasil entre os anos de 2014 a 2016, com o intuito de verificar se houve evolução da qualidade ambiental da matriz elétrica brasileira.

## 3.0 - METODOLOGIA

Por meio de uma busca por informações recentes, foram obtidos dados do Balanço Energético Nacional 2017: Ano base 2016 (EPE, 2017b). Estes dados são disponibilizados pelo próprio governo brasileiro.

Em seguida, as informações coletadas foram inseridas em um programa computacional (*software*) específico para a realização de ACV: o SimaPro 7.2 (PRé Consultants).

Os sistemas de produto em estudo são os processos de geração de EE, incluindo infraestrutura, em cada um dos anos de 2014 a 2016. A análise se limitou à geração anual da energia elétrica. A unidade funcional (UF) escolhida foi a maior geração anual observada dentre os três anos: 590.542 GWh (energia gerada em 2014). Visando atender ao valor estipulado na UF e buscando uma comparação adequada, multiplicou-se o valor de energia gerada em 2015 (e seus impactos) por 1,015771952, enquanto o valor de energia gerada em 2016 (e seus impactos) foi multiplicado por 1,01971748.

Alimentando o programa com os dados encontrados, é possível obter o inventário de ciclo de vida (ICV) de cada ano, sendo a compilação dos resultados realizada e apresentada pelo próprio ambiente computacional. Os dados das entradas e saídas do estudo são obtidos da base de dados suíça Ecoinvent (disponível no programa). Todos os conjuntos de dados são lidos e comentados antes de seu armazenamento na base de dados, tendo responsáveis pela revisão interna ou validação destes dados (FRISCHKNECHT *et al.*, 2007).

No cálculo do impacto, se utiliza um método de Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV), cujo objetivo é conectar, na medida do possível, cada resultado do ICV ao impacto ambiental correspondente (mudanças climáticas, danos ao ecossistema, etc.), utilizando fatores de caracterização (potencial de aquecimento global, potencial de depleção da camada de ozônio, etc.) (HUMBERT *et al.*, 2012).

O método selecionado para a realização da AICV foi o ReCiPe 2008, por apresentar harmonização entre categorias intermediárias de impacto e pontos finais de categoria, além de representar o estado da arte relacionado à AICV na Holanda (GOEDKOOP *et al.*, 2013).

Para se levantar o inventário das substâncias e se realizar a AICV, utilizou-se o próprio programa SimaPro 7.2, executando-se as etapas de classificação e caracterização, ao se analisar as categorias intermediárias de impacto, e as etapas de normalização e ponderação, para a análise da pontuação única de impacto.

Os dados compilados das entradas (matérias primas) e das saídas para o meio ambiente (emissões, efluentes e resíduos), totalizaram 820 substâncias, das quais 385 não são contempladas pelo método ReCiPe 2008 (PRÉ CONSULTANTS, 2010).

#### 4.0 - RESULTADOS

Para a etapa de classificação e caracterização, dezoito categorias intermediárias de impacto foram analisadas, a saber: Mudanças Climáticas (em kg CO<sub>2eq</sub>); Redução da Camada de Ozônio (em kg CFC-11<sub>eq</sub>); Toxicidade Humana (em kg 1,4-DB<sub>eq</sub><sup>1</sup>); Formação de Oxidantes Fotoquímicos (em kg NMVOC<sup>2</sup>); Formação de Material Particulado (em kg PM<sub>10eq</sub><sup>3</sup>); Radiação Ionizante (em kg de U<sup>235</sup><sub>eq</sub>); Acidificação Terrestre (em kg SO<sub>2eq</sub>); Eutrofização da Água Doce (em kg P<sub>eq</sub>); Eutrofização Marinha (em kg N<sub>eq</sub>); Ecotoxicidade Terrestre (em kg 1,4-DB<sub>eq</sub>); Ecotoxicidade da Água Doce (em kg 1,4-DB<sub>eq</sub>); Ecotoxicidade Marinha (em kg 1,4-DB<sub>eq</sub>); Ocupação de Terra Agrícola (em m<sup>2</sup>.ano); Ocupação do Solo Urbano (em m<sup>2</sup>.ano); Transformação de Área Natural (em m<sup>2</sup>); Depleção Hídrica (em m<sup>3</sup>); Depleção de Recursos Minerais (em kg de Fe<sub>eq</sub>); Depleção de Combustíveis Fósseis (em kg de óleo<sub>eq</sub><sup>4</sup>).

A comparação de cada uma dessas categorias, a nível intermediário de impacto, pode ser observada na Figura 3.

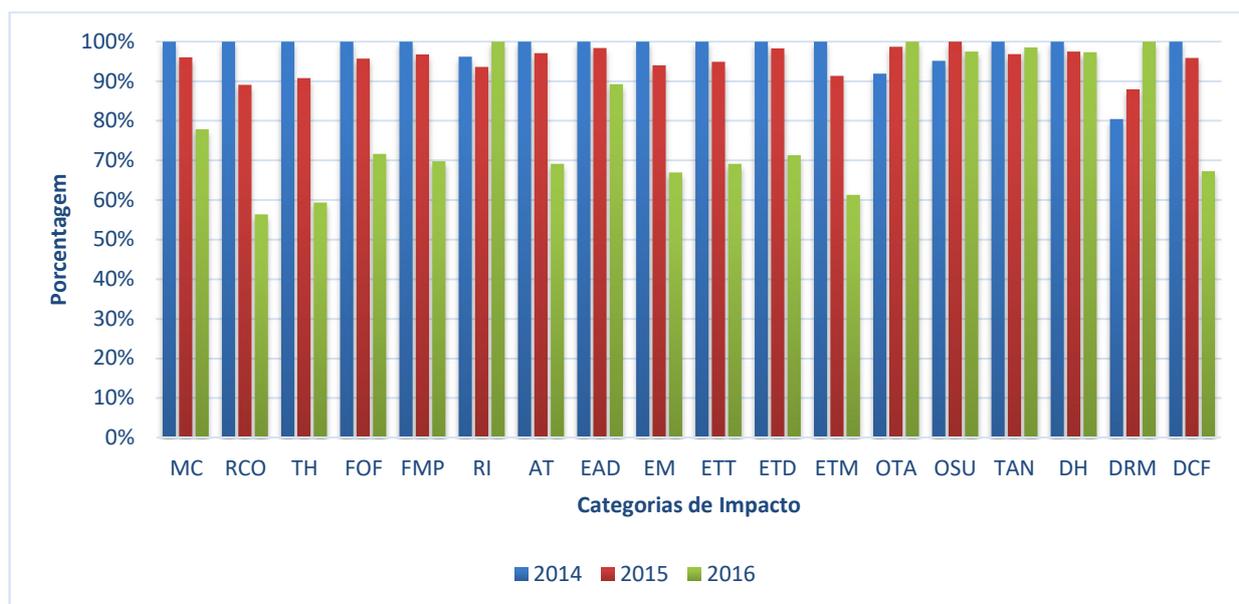


FIGURA 3 – Classificação e caracterização do inventário da análise para os três anos estudados. Legenda: MC – Mudanças Climáticas; RCO – Redução da Camada de Ozônio; TH – Toxicidade Humana; FOF – Formação de Oxidantes Fotoquímicos; FMP – Formação de Material Particulado; RI – Radiação Ionizante; AT – Acidificação Terrestre; EAD – Eutrofização da Água Doce; EM – Eutrofização Marinha; ETT – Ecotoxicidade Terrestre; ETD – Ecotoxicidade da Água Doce; ETM – Ecotoxicidade Marinha; OTA – Ocupação de Terra Agrícola; OSU – Ocupação do Solo Urbano; TAN – Transformação de Área Natural; DH – Depleção Hídrica; DRM – Depleção de Recursos Minerais; DCF – Depleção de Combustíveis Fósseis.

Na Figura 3, o eixo vertical apresenta o impacto potencial em porcentagem, estipulando o valor de 100% para o ano que apresentou a matriz elétrica mais impactante em cada uma das categorias, e os valores de impacto dos

<sup>1</sup> 1,4-Diclorobenzeno.

<sup>2</sup> *Non-Methane Volatile Organic Compounds*.

<sup>3</sup> *Particulate Matter*.

<sup>4</sup> A extração de referência precisa é "oil, crude, feedstock, 42 MJ per kg, in ground" (petróleo bruto, matéria-prima, 42 MJ por kg, no solo "tradução do autor").

demais anos, na mesma categoria intermediária, são apresentados em relação ao mais impactante, dentro de cada uma das categorias. Na categoria intermediária MC, por exemplo, o ano mais impactante é “2014”, ou seja, ao qual foi atribuída a percentagem de impacto de 100% (máxima), sendo as percentagens de impacto dos anos de 2015 e 2016, expressas em relação à primeira: 96% e 78%, respectivamente.

Da análise da Figura 3, observa-se que, das 18 categorias analisadas, o ano de 2014 foi o mais impactante em 14 delas (MC, RCO, TH, FOF, FMP, AT, EAD, EM, ETT, ETD, ETM, TAN, DH e DCF). O ano de 2015 foi o mais impactante na categoria OSU enquanto o ano de 2016 foi o mais impactante nas categorias RI, OTA e DRM.

Analisando complementarmente, o ano de 2016 foi o menos impactante em 13 categorias (MC, RCO, TH, FOF, FMP, AT, EAD, EM, ETT, ETD, ETM, DH e DCF). O ano de 2014 foi o menos impactante em 03 categorias (OTA, OSU e DRM), enquanto o ano de 2015 foi o menos impactante em 02 categorias (RI e TAN).

As fontes que mais contribuíram para a categoria Ocupação do Solo Urbano (OSU), medida em m<sup>2</sup>.ano, na matriz elétrica de 2015 são apresentadas na Figura 4, a seguir.

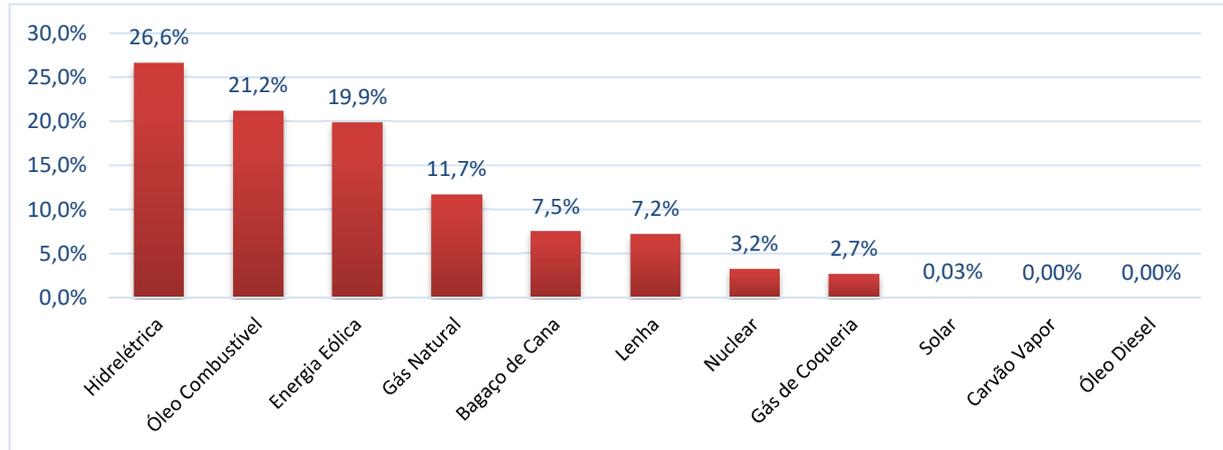


Figura 4 – Maiores contribuições da Matriz-2015 para a Categoria OSU

Após análise na base de dados, verificou-se que a maior contribuição da fonte hidrelétrica para o resultado apresentado na Figura 4 é na disposição final, em aterro, do descomissionamento de uma usina, seguido da área utilizada para obtenção dos agregados (materiais pétreos) para a construção da mesma.

Remetendo-se, novamente, à Figura 3, a fonte que mais contribuiu para a categoria Radiação Ionizante (RI) na matriz elétrica de 2016 foi a nuclear (96% de impacto na categoria), com  $2,05 \times 10^{10}$  kg de  $U^{235}_{eq}$ .

Em relação à categoria Ocupação de Terra Agrícola (OTA), a fonte mais contribuinte foi o bagaço de cana (83,4% de impacto na categoria), com  $3,19 \times 10^9$  m<sup>2</sup>.ano, seguida por lenha (15% de impacto na categoria), com  $5,73 \times 10^8$  m<sup>2</sup>.ano.

Ainda no tocante à matriz elétrica de 2016, no que se refere à categoria Depleção de Recursos Minerais (DRM), a fonte de energia hidrelétrica contribuiu com 54,4% do impacto ( $7,92 \times 10^8$  kg de  $Fe_{eq}$ ), enquanto que a energia eólica contribuiu com 34,4% do impacto ( $4,72 \times 10^8$  kg de  $Fe_{eq}$ ).

Em uma segunda parte do estudo, visando uma comparação das pontuações únicas de impacto dos anos analisados, realizaram-se as etapas de normalização e ponderação nos dados de inventário classificados e caracterizados. As categorias “Depleção Hídrica” e “Eutrofização Marinha” não são consideradas nesta parte da análise, pois uma limitação do método ReCiPe 2008 é a ausência de pontos finais de categoria para estas duas. Os resultados desta parte são apresentados na Tabela 1, assim como sua representação gráfica é apresentada na Figura 5.

TABELA 1 – Resultados normalizados e ponderados dos processos avaliados

Categorias de impacto	Unidade	Matriz Elétrica			
		2014	2015	2016	
Mudanças Climáticas (Saúde Humana)	Pt	6,48E+09	6,22E+09	5,04E+09	
Redução da Camada de Ozônio		8,35E+04	7,39E+04	4,45E+04	
Toxicidade Humana		2,57E+10	2,34E+10	1,53E+10	
Formação de Oxidantes Fotoquímicos		1,60E+05	1,53E+05	1,14E+05	
Formação de Material Particulado		6,64E+08	6,42E+08	4,63E+08	
Radiação Ionizante		4,35E+06	4,23E+06	4,52E+06	
Mudanças Climáticas (Ecossistema)		5,90E+08	5,67E+08	4,59E+08	
Acidificação Terrestre		2,69E+06	2,61E+06	1,86E+06	
Eutrofização na Água Doce		2,07E+04	2,03E+04	1,85E+04	
Ecotoxicidade Terrestre		1,68E+06	1,60E+06	1,17E+06	
Ecotoxicidade da Água Doce		4,70E+04	4,62E+04	3,35E+04	
Ecotoxicidade Marinha		1,38E+05	1,26E+05	8,46E+04	
Ocupação de Terra Agrícola		1,33E+07	1,42E+07	1,45E+07	
Ocupação de Solo Urbano		3,84E+05	4,04E+05	3,94E+05	
Transformação da Área Natural		8,75E+07	8,50E+07	8,58E+07	
Depleção de recursos Minerais		7,79E+05	8,52E+05	9,68E+05	
Depleção de Combustíveis Fósseis		5,85E+09	5,61E+09	3,94E+09	
<b>Total</b>		<b>Pt</b>	<b>3,94E+10</b>	<b>3,65E+10</b>	<b>2,53E+10</b>

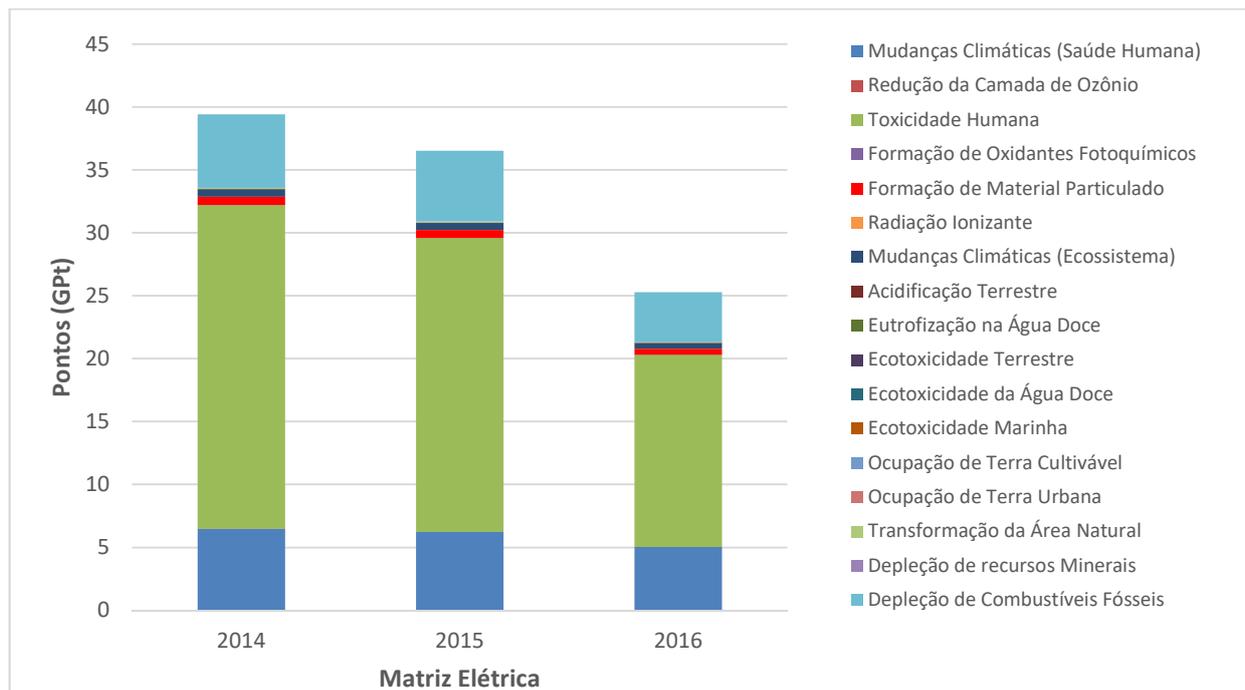


FIGURA 5 – Pontuações únicas de impacto ambiental potencial da matriz elétrica, analisada nos diferentes anos

A Figura 5 é uma representação gráfica da Tabela 1, e apresenta as pontuações únicas de impacto ambiental potencial da matriz elétrica nos anos de 2014 a 2016, após normalização e ponderação. Ela evidencia a diferença de impacto entre os três anos estudados, indicando uma progressiva redução do mesmo. É possível observar que o ano de 2016 apresentou o menor impacto: 25,3 GPts. Este foi seguido pelas matrizes de 2015, com 36,5 GPts de impacto, e de 2014, com 39,4 GPts. O ano de 2016 apresentou, portanto, uma redução de impacto de 31% em relação a 2015 e de 36% em relação a 2014.

A partir da Tabela 1, é possível observar as categorias de impacto com contribuição superior a 5% do impacto potencial total de cada ano (ver Tabela 2).

TABELA 2 – Categorias de impacto com contribuição de impacto superior a 2%

Categorias de impacto	Matriz Elétrica			Principais Fontes
	2014	2015	2016	
Mudanças Climáticas (Saúde Humana)	16,42%	17,04%	19,94%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gás natural</li> <li>• Hidrelétrica</li> <li>• Carvão vapor</li> <li>• Óleo combustível</li> <li>• Óleo diesel</li> </ul>
Toxicidade Humana	65,28%	63,99%	60,41%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gás natural</li> <li>• Óleo diesel</li> <li>• Carvão vapor</li> </ul>
Depleção de Combustíveis Fósseis	14,84%	15,36%	15,57%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gás natural</li> <li>• Carvão vapor</li> <li>• Óleo combustível</li> <li>• Óleo diesel</li> </ul>

\*Fontes apresentadas em ordem decrescente. Foram incluídas as fontes com, pelo menos, 0,5GPTs de impacto.

Da análise da Tabela 2, observa-se que dentre as categorias analisadas apresentadas, a mais impactada, nos três anos, foi Toxicidade Humana. Este resultado, de acordo com o *software*, se deve pelas contribuições, principalmente, das fontes: gás natural, óleo diesel e carvão vapor, as quais contribuem consideravelmente para esta categoria.

A categoria mudanças climáticas para a saúde humana é mais influenciada pelas fontes: gás natural, seguida por hidrelétrica, carvão vapor, óleo combustível e óleo diesel. Por último, a categoria depleção de combustíveis fósseis é mais influenciada pelas fontes: gás natural, carvão vapor, óleo combustível e, por fim, óleo diesel.

Portanto, é possível se verificar que, as fontes gás natural, óleo diesel, carvão vapor, hidrelétrica e óleo combustível foram as mais impactantes na pontuação única de impacto ambiental potencial em todos os anos.

O quadro ambientalmente favorável para a eletricidade produzida em 2016, na pontuação única, resulta do fato que, neste ano, houve a maior porcentagem de produção de EE por fontes renováveis (hidráulica, biomassa, eólica e solar), totalizando 80,0%, se comparado com 2015 (73,8%) e 2014 (72,9%). Além disso, houve, também, as menores porcentagens de fontes térmicas (gás natural, derivados de petróleo, nuclear e carvão vapor), perfazendo 17,5%, em comparação com 2015 (23,9%) e 2014 (24,8%).

A principal vantagem na utilização do estudo de ACV para verificar o impacto ambiental potencial da matriz elétrica brasileira é que o mesmo realiza uma investigação sistêmica, no momento em que observa tanto os impactos ao meio hídrico, terrestre e atmosférico, quanto à saúde humana, ao ecossistema e à depleção de recursos.

## 5.0 - CONCLUSÃO

Através deste estudo, é possível observar que na análise das categorias intermediárias de impacto, o ano de 2014 foi o mais impactante em 14 delas: MC, RCO, TH, FOF, FMP, AT, EAD, EM, ETT, ETD, ETM, TAN, DH e DCF. O ano de 2015 foi o mais impactante em 01 delas – OSU – enquanto o ano de 2016 foi o mais impactante em 03 categorias: RI, OTA e DRM. Por outro lado, o ano de 2016 foi o menos impactante em 13 categorias (MC, RCO, TH, FOF, FMP, AT, EAD, EM, ETT, ETD, ETM, DH e DCF). O ano de 2014 foi o menos impactante em 03 categorias (OTA, OSU e DRM), enquanto o ano de 2015 foi o menos impactante em 02 categorias (RI e TAN).

Em uma análise crescente de pontos finais de categoria, a matriz elétrica em 2016 apresentou uma pontuação única de impacto ambiental potencial igual a 25,3 GPTs (Giga Pontos), seguida pelas matrizes de 2015, com 36,5 GPTs de impacto, e de 2014, com 39,4 GPTs. O ano de 2016 apresentou uma redução de impacto de 31% em relação a 2015 e de 36% em relação a 2014, indicando uma evolução da qualidade ambiental da matriz elétrica brasileira.

Verificou-se uma redução dos pontos finais de impacto, na medida em que a origem da eletricidade produzida se baseou em fontes renováveis (hidráulica, biomassa, eólica e solar), em detrimento das fontes térmicas (gás natural, derivados de petróleo, nuclear e carvão vapor).

Vale lembrar que os resultados obtidos são um produto das premissas adotadas neste estudo. Para outras considerações, novos cálculos devem ser realizados.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura - NBR ISO 14040. Brasil. Rio de Janeiro: 2009a. 21p.
- (2) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações - NBR ISO 14044. Brasil. Rio de Janeiro: 2009b. 46p.
- (3) MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (BRASIL). Acordo de Paris. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris.html>>. Acesso em: 29/04/2019.
- (4) EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (BRASIL). Balanço Energético Nacional 2017 – Relatório Síntese: Ano base 2016. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2017a.
- (5) \_\_\_\_\_. Balanço Energético Nacional 2017: Ano base 2016. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2017b.
- (6) FRISCHKNECHT, R., JUNGBLUTH, N., ALTHAUS, H.-J., DOKA, G., HECK, T., HELLWEG, S., HISCHIER, R., NEMECEK, T., REBITZER, G., SPIELMANN, M., WERNET, G. Overview and methodology. Ecoinvent report No. 1. Swiss Centre for LCI, Dübendorf, 2007.
- (7) GOEDKOOP, M., HEIJUNGS, R., HUIJBREGTS, M., DE SCHRYVER, A., STRUIJS, J., VAN ZELM, R. ReCiPe 2008, A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. First edition (version 1.08) Report I: Characterisation; May 2013. Disponível em: <<http://www.lcia-recipe.net/>> Acesso em: 26/12/2013.
- (8) GOEDKOOP, M., OELE, M., DE SCHRYVER, A., VIEIRA, M. SimaPro Database Manual – Methods library. Report version 2.2. Netherlands: PRé Consultants, 2008.
- (9) HUMBERT, S., DE SCHRYVER, A., BENGUA, X., MARGNI, M., JOLLIET, O. IMPACT 2002+: User Guide. Draft for version Q2.21 (version adapted by Quantis). Suíça, 2012. Disponível em: <[http://www.quantis-intl.com/pdf/IMPACT2002\\_UserGuide\\_for\\_vQ2.21.pdf](http://www.quantis-intl.com/pdf/IMPACT2002_UserGuide_for_vQ2.21.pdf)>. Acesso em 29/04/2019.
- (10) PIERAGOSTINI, C., MUSSATI, M. C., AGUIRRE, P. On process optimization considering LCA methodology. Journal of Environmental Management, v. 96, p. 43–54, 2012.
- (11) PRÉ CONSULTANTS. Software SimaPro 7 - Classroom. 7.2.3 Multi user. Copyright© PRé Consultants, 2010.

## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Tiago Chagas de Oliveira Tourinho  
 Mestrado em Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro / 2014  
 Graduação em Ciências Biológicas - Licenciatura e Bacharelado em Ecologia (UFRJ)  
 Diploma de Dignidade Acadêmica no grau CUM LAUDE – 2008 (UFRJ)  
 Especialização em Gestão Ambiental (UFRJ)  
 Mestrado profissional em Engenharia Ambiental (UFRJ)