

Impactos socioambientais devidos à geração de energia elétrica de carvão mineral no Município de Figueira (Estado do Paraná, Sul do Brasil)

Vinicius G. M. Silva, Fidéllis B. G. L. Estanislau e Carlos E. Velasquez*

Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. Departamento de Engenharia Nuclear. Avenida Antônio Carlos, 6627. Pampulha. Belo Horizonte-MG, Brasil (CEP 31270-901). *E-mail: carlosvelcab@nuclear.ufmg.br.

Resumo. Entre as várias fontes de geração de energia elétrica no mundo, as termoeletricas a carvão são as que mais contribuem para a oferta de energia elétrica, entretanto emitem grandes quantidades de poluentes na atmosfera. O presente estudo busca quantificar os danos à saúde devido às emissões dos poluentes produzidas na Termoeletrica a carvão mineral no Município de Figueira, localizada no Estado do Paraná, que tem capacidade de geração elétrica de 20 MW. Este estudo é realizado em duas áreas, no município de Figueira (25 km²) e englobando outros municípios nas proximidades (2.500 km²). Para calcular os impactos socioambientais ocasionados pelo funcionamento da usina, utiliza-se o SIMPACTS, que estima e quantifica os custos de danos ambientais e à saúde pelas emissões dos gases SO_x, NO_x e de material particulado, além de mostrar sua dispersão em torno da usina. Os danos para o Município de Figueira custam em média US\$ 56,60/GWh, atingindo no ano de maior poluição um total de US\$ 127,60/GWh. Levando em consideração a região no entorno (2.500 km²), a média dos custos dos impactos pela poluição aumenta para US\$ 4.475,50/GWh, com um pico de US\$ 17.675,30/GWh, em 2017. Os resultados evidenciam uma disparidade dos impactos entre os anos de maior e menor emissão de poluentes, podendo indicar que um controle rigoroso das emissões pode causar uma redução significativa nos mesmos.

Palavras-chave: Energia; Termelétrica; Figueira; Poluição; Saúde; Carvão.

Abstract. *Socio-environmental impacts due to the electric power generation at the Figueira Coal Power Plant (Paraná State, Southern Brazil).* Among various sources of electricity generation in the world, coal-fired power plants are the ones that contribute the most to the electricity supply; however they emit large amounts of pollutants into the atmosphere. The present study intends to quantify the health effects due to pollutant emissions produced around the coal power plant at Municipality Figueira, located in Paraná State, Brazil, which have 20 MW of

Recebido
07/08/2020

Aceito
10/04/2021

Disponível *on line*
12/04/2021

Publicado
30/04/2021



Acesso aberto



ORCID

- 0000-0002-4097-6580
Vinicius G. M. Silva
- 0000-0002-8617-9413
Fidéllis B. G. L.
Estanislau
- 0000-0002-2960-3150
Carlos E. Velasquez

electrical generation capacity. This study is carried out in two areas: one of 25 km² comprehending the Municipality of Figueira and another of 2,500 km² in the vicinity of the plant. To calculate the socio-environmental impacts caused by the operation of the plant, SIMPACTS is used, which estimates and quantifies the costs of environmental and health damage due to the emissions of SO_x, NO_x and particulate matter, MP₁₀, in addition to showing its dispersion in the surroundings of the power plant. The impacts on Municipality of Figueira costs an average of US\$ 56.60/GWh, reaching a total of US\$ 127.60/GWh in the year of higher pollution. Taking into account the surrounding region (2,500 km²), the average cost of impacts from pollution increases to US\$ 4,475.50/GWh, with a peak of US\$ 17,675.30/GWh, in 2017. The results show a disparity in socio-environmental impacts between the years of highest and lowest emission of pollutants, which may indicate that strict control of emissions can cause a significant reduction in them.

Keywords: Energy; Thermoelectric; Figueira; Pollution; Health; Coal.

Introdução

O uso da eletricidade favoreceu o desenvolvimento tecnológico e é imprescindível para manter atividades humanas básicas. Por consequência, cada vez mais a humanidade possui maior dependência dessa forma de energia. No entanto, a geração de energia elétrica deve ser estudada em função da curva de carga necessária para poder garantir seu suprimento de forma econômica e com menor prejuízo ambiental. Dentre as diferentes formas de geração de energia elétrica estão as renováveis e não renováveis, que de maneira mais ou menos intensa causam impactos adversos e consequentemente geram prejuízos à saúde humana e ao meio ambiente. Por exemplo, a usina termelétrica (UTE) a carvão mineral localizada no Município de Figueira, utiliza como combustível o carvão mineral do tipo CE-6000 com 29,8% de cinzas, 3,2% de enxofre e poder calorífico de 6.070 kcal/kg (Gomes et al., 2003).

Dentre os processos que intensificam as mudanças climáticas, encontram-se as atividades antropogênicas responsáveis pelo aumento das emissões de gases do efeito estufa (GEE) nas últimas décadas que desequilibram as dinâmicas dos ecossistemas e prejudicam a saúde humana (Parry et al., 2007). Na geração de energia, as termelétricas de combustíveis fósseis têm maior contribuição na emissão de poluentes quando comparadas a outras formas mais sustentáveis de produção energética. No mundo a quantidade de energia elétrica gerada a partir de combustíveis fósseis, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), é de 65,1%, enquanto no Brasil a participação fóssil na geração elétrica é de 17,5% (EPE, 2020).

Dentre os poluentes atmosféricos provenientes da geração térmica a base de combustíveis fósseis, destacam-se os óxidos nitrosos (NO_x), dióxido de enxofre (SO₂) e material particulado (MP). Também são produzidos GEE, principalmente CO₂ a partir da queima do combustível. Tais emissões, além de contribuírem para o aquecimento global, também provocam alterações na qualidade do ar, efeitos na saúde da população local e acidificação da água das chuvas (Tolmasquim, 2016).

Assim sendo, o Quarto Relatório de Avaliações das Mudanças Climáticas do Planeta (IPCC-AR4) (Parry et al., 2007), alerta com 90% de confiabilidade que até 2100 a

temperatura média terrestre aumentará entre 1,8 °C e 4 °C, acarretando problemas como degelo das calotas polares, mudanças nas dinâmicas climáticas e perda de biodiversidade. De acordo com as estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil (Brasil, 2017), no ano de 2014 a produção de energia foi responsável por 37% das emissões de GEE. Este aumento das emissões está diretamente ligado ao crescimento das doenças respiratórias, que de acordo com o estudo da saúde Brasil 2018 (Brasil, 2019), do Ministério da Saúde, as mortes por doenças respiratórias crônicas não transmissíveis (DCNT) aumentaram em 14% nos últimos dez anos.

Entre as usinas termelétricas a carvão no Brasil temos a UTE a carvão mineral, está localizada perto da maior bacia carbonífera do estado do Paraná. A configuração atual da usina é constituída de duas caldeiras PMTA 38 kgf/cm², com vazão de vapor cerca de 50 t/h, onde o carvão é queimado para gerar calor e transformar em vapor a água presente em tubos localizados na parede das caldeiras. Esse vapor em alta pressão aciona os dois geradores da termelétrica com potência de 10.000 kW. Os principais poluentes que saem pela chaminé são NO_x, SO₂ e MP que são extremamente danosos à saúde humana e podem gerar danos na agricultura, por exemplo, feijões expostos a poluição atmosférica tendem a crescer menos (Apro et al., 2012).

Portanto, o presente estudo busca investigar sobre as emissões de poluentes da UTE em Figueira e os efeitos produzidos à saúde. Procura de dados técnicos sobre a usina termelétrica a carvão localizada no Município de Figueira. Analisar a distribuição populacional ao redor da UTE assim como da distribuição de agricultura ao redor da usina. Introdução dos possíveis impactos à saúde que podem ser ocasionados pelos poluentes SO₂, SO₄, NO_x e MP10 emitidos pela UTE.

Metodologia

Os impactos socioambientais causados pela operação da UTE foram quantificados considerando dois casos, uma área de estudo de 5 km x 5 km (25 km²) e posteriormente 50 km x 50 km (2.500 km²). O período considerado inicia-se em 2004, devido à disponibilidade dos dados sobre emissão, até 2018. O *Simplified Approach of Estimating Impacts of Electricity Generation* (SIMPACTS) (IAEA, 2020) utiliza os dados demográficos e técnicos da usina para poder quantificar os danos à saúde ao redor da UTE de carvão mineral devido à atividade de geração de energia elétrica, trabalhos similares foram realizados em outros países usando o SIMPACTS (Hainoun et al., 2010; Nwanya, 2011; Fard et al., 2016; Jorli et al., 2017), no Brasil existem estudos similares em relação aos impactos ambientais causados pela poluição de termelétricas (Hoffmann, 2013; Almeida et al., 2019; Pedruzzi et al., 2019).

Tabela 1. Características UTE.

Altitude de UTE	593 m
Altitude da chaminé	40 m
Diâmetro chaminé	4 m
Temperatura de saída do vapor	723 k
Velocidade de saída do vapor	10 m/s
Combustível	Carvão mineral
Início das operações	1963
Coordenadas geográficas	23° 51' 09,0" S - 50° 23' 25,7" W

Fonte: Rohde e Machado (2016), Carbonífera Cambuí (2020) e Boz Neto (2013).

A UTE a carvão mineral encontra-se instalada no Município de Figueira, no Estado do Paraná, sul do Brasil, que, de acordo com o IBGE (2010) possui uma área de 129,769 km², com população de 8.293 habitantes e densidade demográfica de 63,91 hab/km². Os dados técnicos necessários da usina termelétrica (UTE) a carvão mineral para realizar o estudo são apresentados na Tabela 1.

Características demográficas

Para obter a densidade populacional da área em estudo, delimitou-se uma região de 25 km², tendo a chaminé da usina como ponto central. A área foi dividida em uma matriz 41 x 41, resultando em 1.681 quadrantes; processo feito no AutoCad (Autodesk, 2020). Dessa maneira, a estimativa populacional foi feita em cada quadrante da matriz, relacionando o número de casas com a densidade demográfica. A Figura 1 representa a área delimitada do estudo para uma região de 25 km².



Figura 1. Área no entorno da UTE: escala 5 km. Fonte: Google Earth.

A mesma metodologia foi aplicada para determinar a densidade populacional na área de 2.500 km² (50 km x 50 km). Esta área está representada na Figura 2. Com o aumento da área, novos municípios são englobados no estudo, dentre eles temos Sapopema (6.736 habitantes), Ibaiti (31.364 habitantes), Curiúva (15.101 habitantes) e Campinho, Região Metropolitana de Ibaiti (IBGE, 2010).

Para delimitar a produção agrícola utilizou-se a mesma metodologia de separação por quadrantes. A área plantada observada em cada quadrante foi medida em metros quadrados usando o AutoCad. A produção agrícola total das cidades foi obtida segundo dados do IBGE (2010).



Figura 2. Área no entorno da UTE: escala 25 km. Fonte: Google Earth.

Emissão de poluentes

Os dados das emissões de NO_x, SO₂, MP e CO₂ foram obtidos nos relatórios de sustentabilidade emitidos anualmente pela Companhia Paranaense de Energia (COPEL), responsável pela operação de UTE a carvão mineral (COPEL, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018). Os dados sobre material particulado só começaram a ser disponibilizados a partir de 2011, dessa maneira, para obter resultados completos no SIMPACTS foram calculadas as médias de todas as emissões de material particulado informadas entre 2011 e 2018, retirando os dois anos com maior e menor emissão devido a sua disparidade se comparado com os demais resultados. Esse valor médio foi atribuído aos anos de 2004 a 2010, portanto as emissões de MP durante esses anos são iguais.

Os dados de COPEL (2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018)), referentes à emissão de poluentes atmosféricos da UTE a carvão mineral, são disponibilizados de forma anual, porém devido à necessidade dos dados em unidades mensais utilizou-se o histórico de operação da ONS (2020) para conversão dos dados por meio da equação 1:

$$Em = (Et * GWm) / GWt \quad (1)$$

Onde *Em* = Emissão no mês; *Et* = emissão total no ano; *GWm* = energia gerada no mês e *GWt* = energia total do ano.

Por fim, o SIMPACTS calcula o dano gerado pela usina levando em consideração o número de pessoas que ficaram doentes em virtude das atividades da UTE e apresenta um custo relacionado a cada doença já estabelecido no programa, as enfermidades consideradas pelo modelo são:

- Mortalidade crônica - População inteira;
- Mortalidade infantil - Menores de 12 meses;
- Mortalidade aguda - População inteira;
- Uso de broncodilatador - Asma adultos maiores de 20 anos;
- Uso de broncodilatador - Asma criança de 5 a 14 anos;
- Dificuldade respiratória - Adultos com dificuldade respiratória crônica;
- Dificuldade respiratória - Crianças de 5-14 anos;
- Restrição de atividades diárias - Adultos que trabalham, de 15-64 anos;
- Restrição de atividades diárias - Adultos que não trabalham, de 15-64 anos;
- Internação cardíaca - População inteira;
- Internação por problemas respiratórios - População inteira;
- Bronquite crônica - Adultos maiores de 27 anos.

Resultados

Os dados de geração de energia elétrica da UTE a carvão mineral para o período de 2004 a 2018, segundo o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2020), são apresentados na Figura 3. Pode-se perceber que a geração de energia da UTE se manteve quase constante durante os 14 anos. Apenas em 2018 é possível observar uma queda na geração de energia, pois a usina parou de operar em julho devido a reformas que visavam melhorar a eficiência da UTE.



Figura 3. Geração de energia elétrica da UTE (Figueira). Fonte: (ONS, 2020).

A Figura 4 mostra a distribuição da população, representada após a inserção da matriz populacional no SIMPACTS, para a área de 25 km² no entorno da UTE que se encontra no município de Figueira. O ponto no centro na imagem representa a localização da UTE. Dessa forma, o número de pessoas que estão na área de estudo é de 7.492, cerca

de 90% da população residente de Figueira. Devido à localização da UTE próxima ao centro comercial/residencial da cidade, grande parte da população é atingida.

A estimativa da distribuição da população na área de 2.500 km² é apresentada na Figura 5. É possível observar uma maior concentração de pessoas justamente nas regiões onde as áreas urbanas dos municípios se encontram. O total de pessoas atingidas estimadas foi de cerca de 80.000, junção de todos os municípios englobados por completo, mais parte de outros centros urbanos como Jaboti.

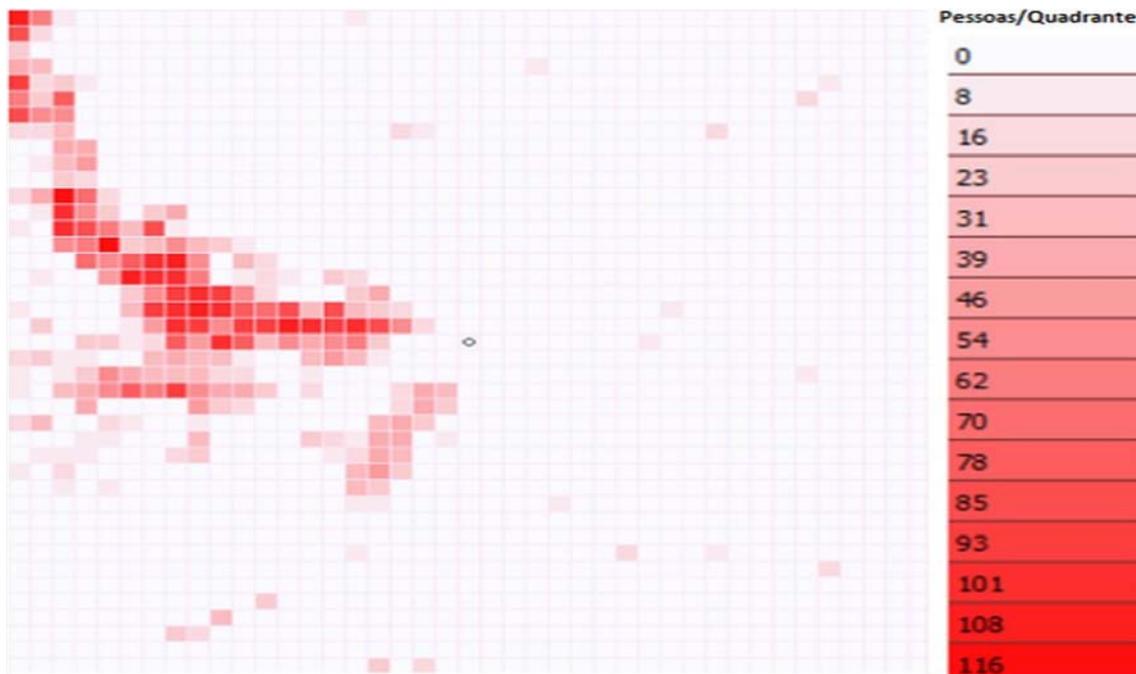


Figura 4. Distribuição populacional em 25 km² no SIMPACTS.

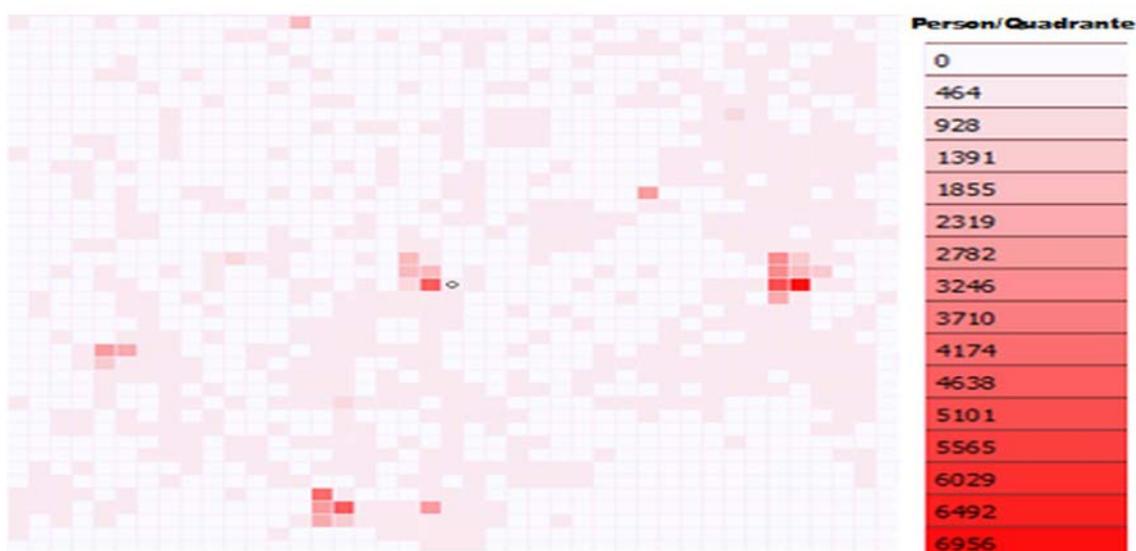


Figura 5. Distribuição populacional em 2.500 km² no SIMPACTS.

Com os dados da área plantada (m^2) e da produção agrícola (t), estimou-se a produção agrícola por metro quadrado (Tabela 2).

Tabela 2. Produção agrícola dos municípios afetados.

Tipo de cultura	Figueira (t/m^2)	Ibaiti (t/m^2)	Sapopema (t/m^2)	Curiúva (t/m^2)
Alho	$5,00 \times 10^{-4}$	-	-	$4,00 \times 10^{-4}$
Amendoim	$1,75 \times 10^{-4}$	$2,00 \times 10^{-4}$	-	$1,75 \times 10^{-4}$
Arroz	$1,50 \times 10^{-4}$	$1,80 \times 10^{-4}$	$2,20 \times 10^{-4}$	$1,50 \times 10^{-4}$
Batata doce	$1,25 \times 10^{-3}$	-	-	-
Cana de açúcar	$6,25 \times 10^{-3}$	-	-	$5,00 \times 10^{-3}$
Cebola	$1,80 \times 10^{-3}$	-	-	$2,00 \times 10^{-3}$
Ervilha	$4,00 \times 10^{-4}$	-	-	-
Feijão	$9,62 \times 10^{-5}$	$9,88 \times 10^{-5}$	$1,09 \times 10^{-4}$	$8,93 \times 10^{-5}$
Mandioca	$2,00 \times 10^{-3}$	-	$2,10 \times 10^{-3}$	$2,30 \times 10^{-3}$
Melancia	$2,00 \times 10^{-3}$	-	-	-
Milho	$2,42 \times 10^{-4}$	$2,95 \times 10^{-4}$	$8,88 \times 10^{-4}$	$4,47 \times 10^{-4}$
Soja	$3,00 \times 10^{-4}$	$3,10 \times 10^{-4}$	$3,24 \times 10^{-4}$	$3,70 \times 10^{-4}$
Tomate	$7,00 \times 10^{-3}$	-	$4,60 \times 10^{-3}$	$6,85 \times 10^{-3}$
Trigo	$1,56 \times 10^{-4}$	$2,20 \times 10^{-4}$	$2,79 \times 10^{-4}$	$2,50 \times 10^{-4}$
Total	$3,00 \times 10^{-4}$	$2,48 \times 10^{-4}$	$3,09 \times 10^{-4}$	$4,44 \times 10^{-4}$

Fonte: Adaptado de (IBGE, 2010).

As emissões mensais de poluentes de 2017 e 2008 (anos com maior e menor emissão de poluentes no período) são apresentadas nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

Tabela 3. Emissões e geração 2017.

2017	MP ₁₀ (t)	NO _x (t)	SO _x (t)	CO ₂ (t)	Geração (GWh)
Janeiro	21,79	197,42	1.206,83	17.582,92	7
Fevereiro	6,22	56,40	344,81	5.023,69	2
Março	18,67	169,21	1.034,43	15.071,08	6
Abril	28,01	253,82	1.551,64	22.606,61	9
Maió	28,01	253,82	1.551,64	22.606,61	9
Junho	28,01	253,82	1.551,64	22.606,61	9
Julho	28,01	253,82	1.551,64	22.606,61	9
Agosto	28,01	253,82	1.551,64	22.606,61	9
Setembro	28,01	253,82	1.551,64	22.606,61	9
Outubro	28,01	253,82	1.551,64	22.606,61	9
Novembro	21,79	197,42	1.206,83	17.582,92	7
Dezembro	12,45	112,81	689,62	10.047,38	4
Total (t)	277,00	2.510,00	15.344,00	223.554,26	89

Fonte: ONS (2020) e COPEL (2017).

Tabela 4. Emissões e geração 2008.

2008	MP ₁₀ (t)	NO _x (t)	SO _x (t)	CO ₂ (t)	Geração (GWh)
Janeiro	26,26	35,38	180,51	20.777,31	10
Fevereiro	23,63	31,85	162,46	18.699,58	9
Março	15,76	21,23	108,31	12.466,38	6
Abril	2,63	3,54	18,05	2.077,73	1
Maio	13,13	17,69	90,26	10.388,65	5
Junho	15,76	21,23	108,31	12.466,38	6
Julho	15,76	21,23	108,31	12.466,38	6
Agosto	15,76	21,23	108,31	12.466,38	6
Setembro	18,38	24,77	126,36	14.544,12	7
Outubro	18,38	24,77	126,36	14.544,12	7
Novembro	18,38	24,77	126,36	14.544,12	7
Dezembro	21,01	28,31	144,41	16.621,85	8
Total (t)	204,84	276,00	1.408,01	162.063,00	78

Fonte: ONS (2020) e COPEL (2008).

A Figura 6 relaciona a emissão de poluentes (NO_x, SO_x e MP) com a geração de energia do ano em questão. Dessa maneira, é possível analisar que as atividades na usina são constantes durante os anos, tendo pequenas variações na geração de energia, contudo as emissões oscilam consideravelmente durante os anos. No relatório de sustentabilidade de 2007 a COPEL implementou o Programa de Gestão Corporativa de Gases de Efeito Estufa (PGCMC), o qual possuía os seguintes objetivos (COPEL, 2007):

- Inventariar as emissões de gases de efeito estufa no âmbito da COPEL;
- Avaliar e propor mecanismos de redução/neutralização de emissões pela Companhia;
- Identificar e encaminhar novas oportunidades de projetos com potencial para qualificação no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL;
- Criar ferramentas internas de compensação;
- Incentivar inovação em tecnologia e processos, com foco na redução de emissões;
- Prestar apoio à continuidade relativamente a potenciais projetos identificados.

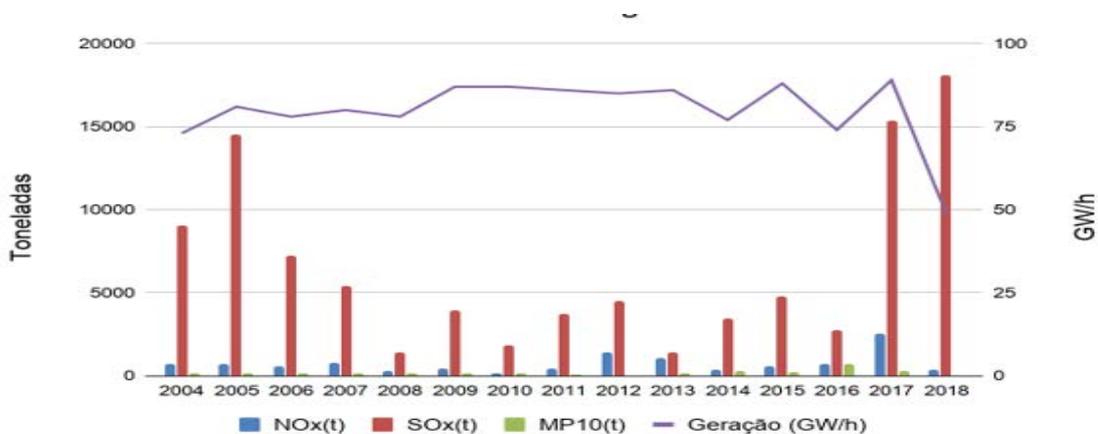
**Figura 6.** Emissões de poluentes *versus* geração de energia.

Tabela 5. Emissões por geração.

	NO_x (t)	SO_x (t)	MP₁₀ (t)	Geração (GWh)
2004	704,65	9.051,12	186,78	73,00
2005	716,00	14.510,00	186,78	81,00
2006	591,00	7.243,37	186,78	78,00
2007	807,00	5.400,00	186,78	80,00
2008	276,00	1.408,00	186,78	78,00
2009	414,00	3,91	186,00	87,00
2010	141,00	1.822,00	186,78	87,00
2011	437,40	3.721,30	77,40	86,00
2012	1410,00	4.510,00	17,50	85,00
2013	1075,00	1.420,71	179,70	86,00
2014	368,20	3.458,20	261,00	77,00
2015	583,00	4.797,00	229,00	88,00
2016	709,00	2.764,00	709,00	74,00
2017	2510,00	15.344,00	277,00	89,00
2018	336,00	18.108,00	34,00	49,00

Fonte: ONS (2020) e COPEL (2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018).

Esses esforços foram eficientes e diminuíram consideravelmente as emissões da usina a partir do ano de 2007 mantendo a mesma geração de energia, mas com uma menor emissão de poluentes atmosféricos. Como é possível observar na Tabela 5 e Figura 6, os níveis de emissão no início da década são consideravelmente maiores, apenas em 2017 os índices voltaram a crescer.

Região de 25 km² para o ano com menor poluição

As Figuras 7-10 apresentam as dispersões das emissões de: NO_x, MP₁₀, SO₂ e SO₄ no entorno da UTE localizada no município de Figueira para a área de 25 km². As dispersões dos gases tendem a seguir o fluxo do vento predominantemente oeste e sul, portanto é possível observar as maiores concentrações nesse sentido, em microgramas por metro cúbico. Nesta área de estudo é possível observar os danos apenas na cidade de Figueira. A Figura 10 mostra a dispersão do SO₄ em todo o entorno da usina, mas com maior alcance na direção sudoeste, como é possível observar nas imagens a seguir. A dispersão de SO₄ é maior em relação aos similares.

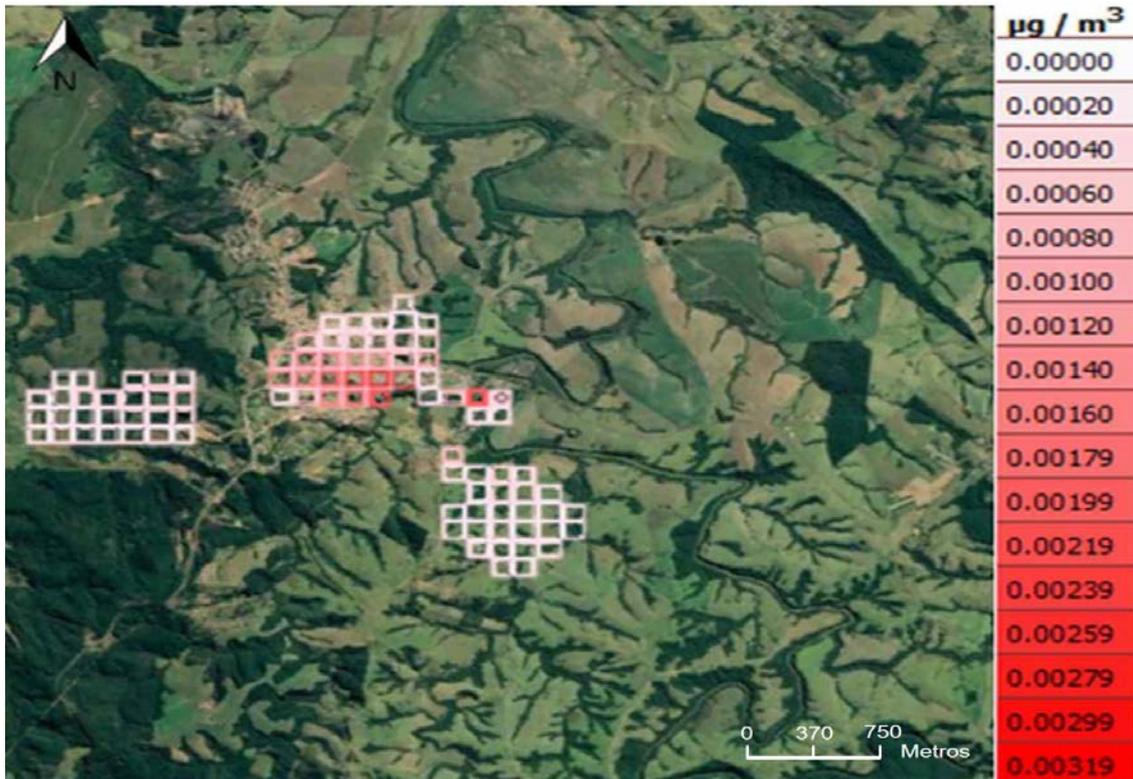


Figura 7. Dispersão de NOx em abril de 2008 no SIMPACTS. Fonte: Google Earth.

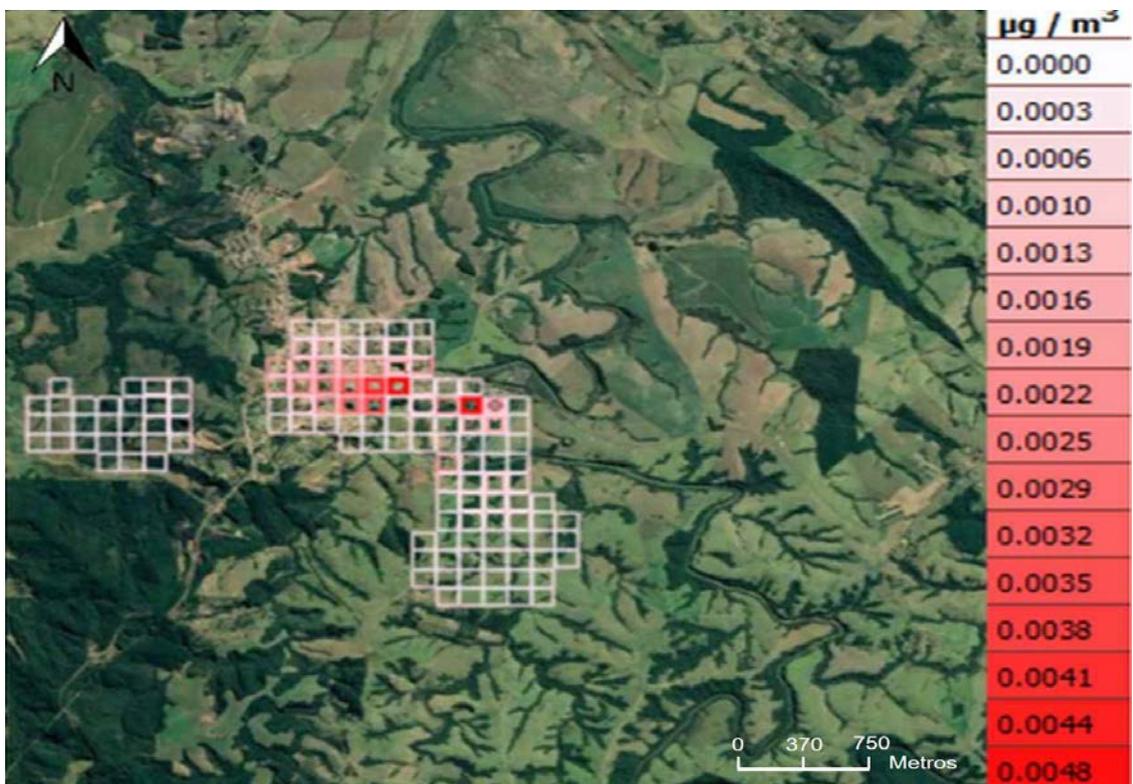


Figura 8. Dispersão de MP₁₀ em abril de 2008 no SIMPACTS. Fonte: Google Earth.

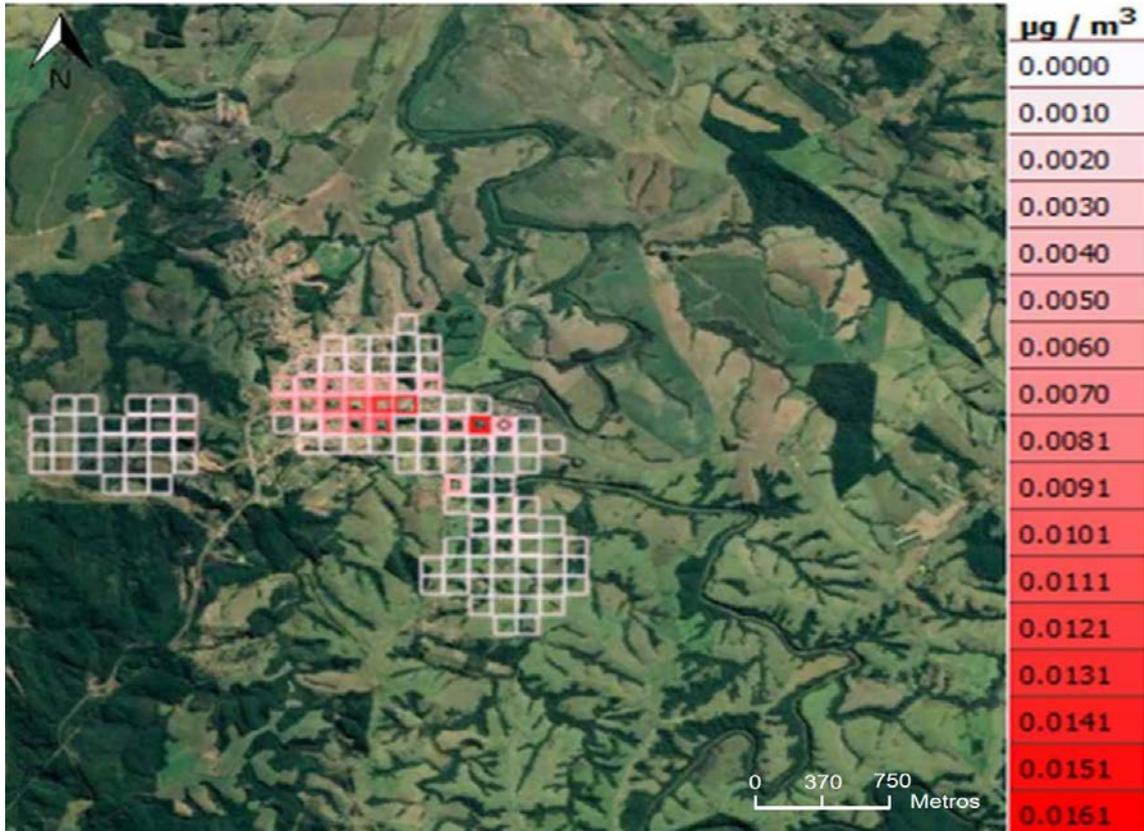


Figura 9. Dispersão SO_2 em abril de 2008 no SIMPACTS. Fonte: Google Earth.

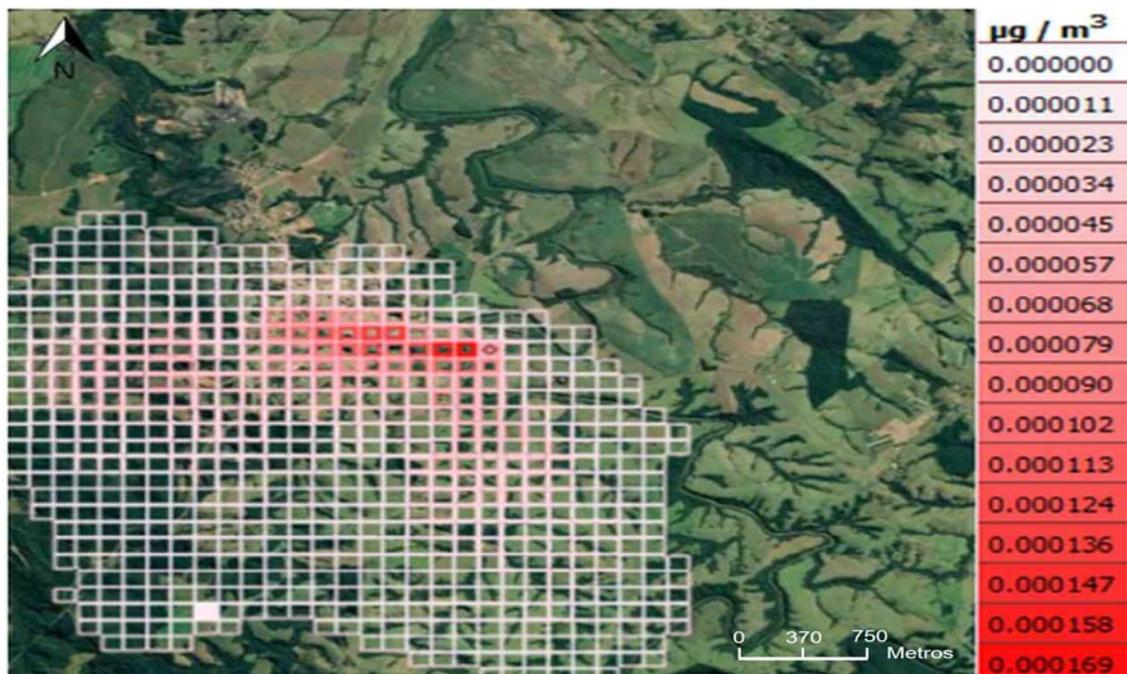


Figura 10. Dispersão SO_4 em abril de 2008 no SIMPACTS. Fonte: Google Earth.

Região de 25 km² para o ano com maior poluição

As Figuras 11-14 mostram a dispersão dos gases para o ano de 2017 no mês de junho, ano com maior quantidade de poluentes emitidos pela UTE a carvão mineral. Neste ano pode-se perceber que região sudoeste foi a mais afetada pelos poluentes SO₂, NO_x e MP, tomando como referência a UTE no centro. No entanto, a dispersão por SO₄ apresenta conjuntamente com a dispersão em direção à região sul-oeste e nordeste.



Figura 11. Dispersão de NO_x em junho de 2017 no SIMPACTS. Fonte: Google Earth.



Figura 12. Dispersão de MP em junho de 2017 no SIMPACTS. Fonte: Google Earth.

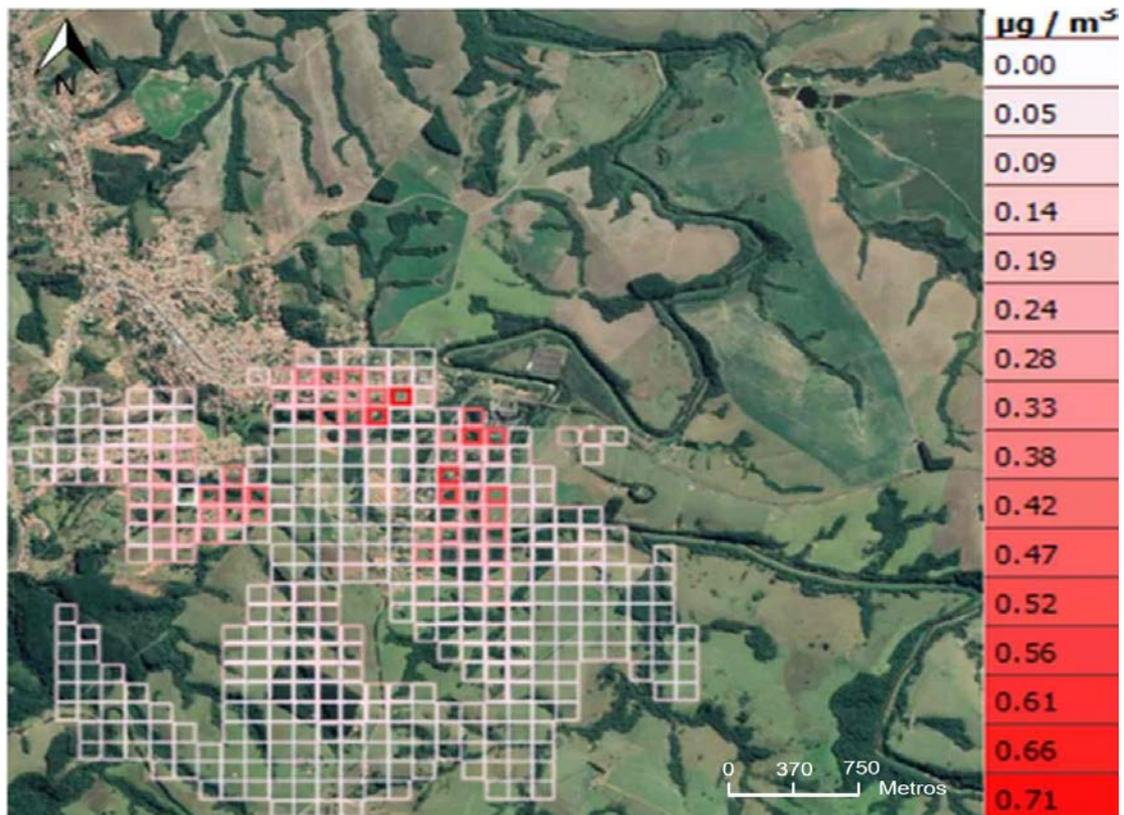


Figura 13. Dispersão de SO_2 em junho de 2017 no SIMPACTS. Fonte: Google Earth.

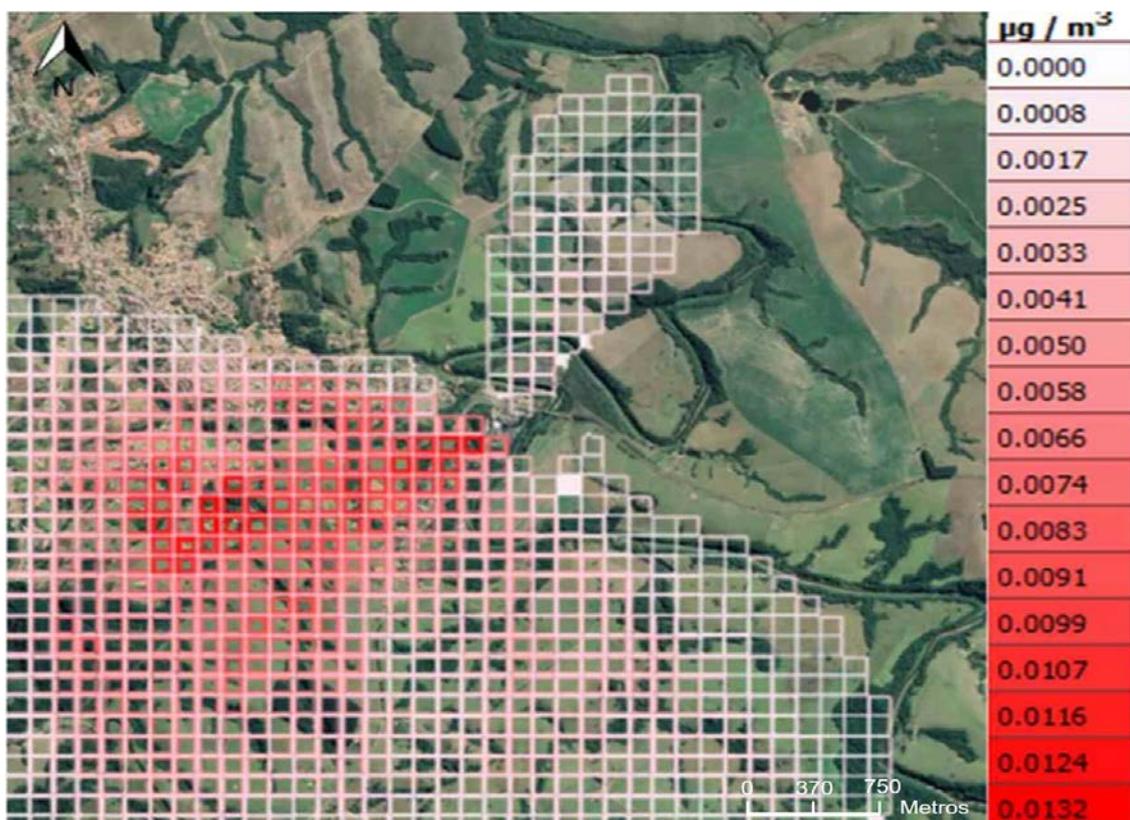


Figura 14. Dispersão de SO_4 em junho de 2017 no SIMPACTS. Fonte: Adaptado de Google Earth.

A diferença entre os anos de maior e menor emissão é perceptível através das dispersões dos gases. Em 2017 os poluentes atingem um número maior de pessoas e com concentrações maiores. A Tabela 6 mostra o quanto a concentração dos gases é maior de 2017 em relação ao ano de 2008.

Tabela 6. Diferença de concentração.

Emissões	2008	2017	Diferença
SO ₄	0,000169 µg/m ³	0,0132 µg/m ³	78,1 vezes maior
SO ₂	0,0161 µg/m ³	0,71 µg/m ³	44 vezes maior
MP	0,0048 µg/m ³	0,0137 µg/m ³	7 vezes maior
NO _x	0,00319 µg/m ³	0,0104 µg/m ³	3,2 vezes maior

As Tabelas 7 e 8 mostram os impactos convertidos em termos monetários obtidos no SIMPACTS em 2008 e 2017 por poluente atmosférico, levando em consideração o tipo de impacto, casos por ano e custo. Como esperado, o ano com menor emissão apresenta um custo três vezes menor para material particulado, 10,8 vezes menor para os nitratos e 11 vezes menor para os sulfatos. Totalizando, um impacto 6,1 vezes menor em 2008 em relação a 2017.

Tabela 7. Custo por impacto e poluente 2008 em 25 km² calculado pelo SIMPACTS.

2008/ 5 km x 5 km	MP₁₀		Sulfatos		Nitratos	
Impacto	Casos por ano	Custo US\$/ano	Casos por ano	Custo US\$/ano	Casos por ano	Custo US\$/ano
Mortalidade crônica - População inteira	0,042	701,24	0,022	361,96	0,005	86,89
Mortalidade infantil - Menores de 12 meses	0,00019	6,31	0,00000991	3,28	0,00000237	0,78
Mortalidade aguda - População inteira	0,306	7,57	0,000159	3,93	0,0000379	0,94
Uso de broncodilatador - asma adultos, maiores de 20 anos	0,334	0,12	0,173	0,06	0,041	0,01
Uso de broncodilatador - asma crianças, 5-14 anos	0,039	0,01	0,076	0,03	0,005	0,0017
Dificuldade respiratória - adultos com dificuldade respiratória crônica	3,264	41,14	1,694	21,36	0,398	5,01
Dificuldade respiratória - Crianças de 5-14 anos	2,183	27,52	1,133	14,29	0,27	3,41
Restrição de atividades diárias - Adultos que trabalham, 15-64 anos	2,508	107,5	1,302	55,8	0,3	12,86
Restrição de atividades diárias - Adultos que não trabalham, 15-64 anos	0,284	4,3	0,147	2,23	0,034	0,51
Internação cardíaca - População inteira	0,000446	0,3	0,000231	0,15	0,0000552	0,04
internação por problemas respiratórios - População inteira	0,000724	0,48	0,000376	0,25	0,00009,29	0,37
Bronquite crônica - Adultos, maiores de 27 anos	0,002	127,58	0,001	66,22	0,000239	15,81

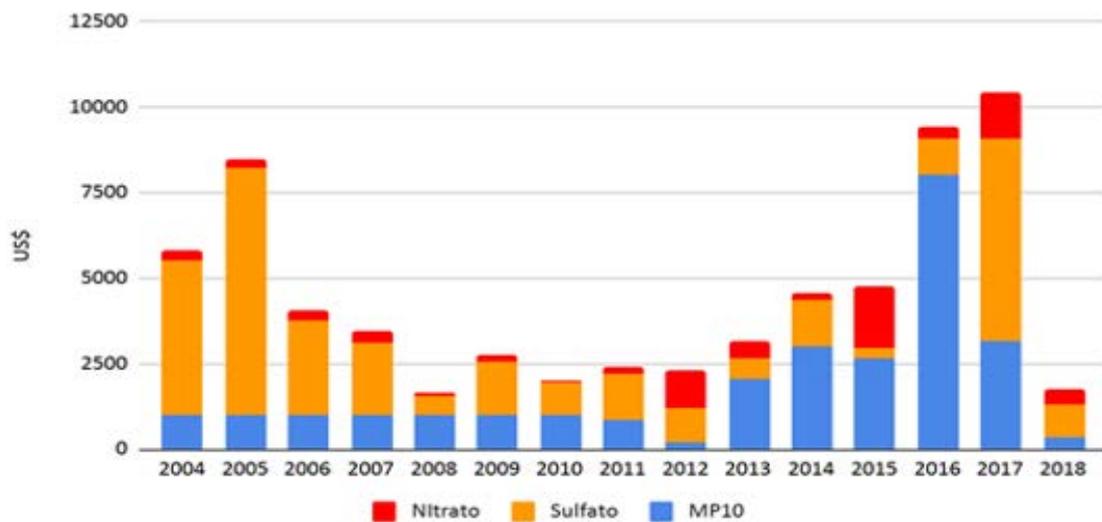


Figura 15. Impactos socioambientais convertidos em termos monetários: área 25 km².

Tabela 8. Custo por impacto e poluente 2017 em 25 km² calculado pelo SIMPACTS.

2017/ 5 km x 5 km	MP ₁₀		Sulfatos		Nitratos	
	Casos por ano	Custo US\$/ano	Casos por ano	Custo US\$/ano	Casos por ano	Custo US\$/ano
Mortalidade crônica - População inteira	0,131	2.163,45	0,246	4.060,07	0,056	930,95
Mortalidade infantil - Menores de 12 meses	0,0000589	19,47	0,000111	36,54	0,0000254	8,38
Mortalidade aguda - População inteira	0,000943	23,36	0,002	43,85	0,000406	10,05
Uso de broncodilatador - asma adultos, maiores de 20 anos	1,031	0,37	1,935	0,7	0,444	0,16
Uso de broncodilatador - asma crianças, 5-14 anos	0,12	0,04	0,852	0,31	0,05	0,02
Dificuldade respiratória - adultos com dificuldade respiratória crônica	10,069	126,97	18,896	238,28	4,26	53,72
Dificuldade respiratória - Crianças de 5-14 anos	6,734	84,92	12,638	159,36	2,898	36,54
Restrição de atividades diárias - Adultos que trabalham, 15-64 anos	7,729	331,67	14,523	622,44	3,215	137,8
Restrição de atividades diárias - Adultos que não trabalham, 15-64 anos	0,877	13,25	1,645	24,89	0,364	5,51
Internação cardíaca - População inteira	0,001	0,92	0,003	1,72	0,000592	0,39
internação por problemas respiratórios - População inteira	0,002	1,49	0,004	2,79	0,000596	3,98
Bronquite crônica - Adultos, maiores de 27 anos	0,006	393,62	0,011	738,7	0,003	169,38

A Figura 15 apresenta a diferença entre os custos de cada ano por poluente. Representa, portanto, os impactos na saúde e os danos à agricultura, ou seja, os impactos socioambientais convertidos em dólares, causados pelo funcionamento da UTE. Além disso, o gráfico mostra a relevância de cada poluente no custo total. Para obter esta relação considera-se a quantidade emitida e o perigo da substância. Por exemplo, uma menor quantidade de material particulado é mais danosa a saúde que a mesma de sulfato, portanto, é possível observar em 2016 uma contribuição maior por parte do MP_{10} em relação aos outros poluentes, apesar da emissão ter sido menor em relação ao sulfato e igual à de nitrato.

Região de 2.500 km² para o ano 2008

Para a área de 2.500 km², três municípios são incluídos pela área em estudo, com mais de 10.000 habitantes, dessa forma, os valores do dano à saúde aumentam. As Figuras 16-18 apresentam a dispersão de NO_x , MP , SO_2 para o ano com menor emissão de poluentes (2008), na área de 2500 km². Estes mostram uma dispersão em dois quadrantes ao redor da usina, um deles na posição sul e o outro do lado oeste. Por outro lado, na Figura 19 é possível ver que a dispersão SO_4 é espalhada em uma região maior ao redor da usina.



Figura 16. Dispersão de NO_x em abril de 2008 no SIMPACTS. Fonte: Adaptado de Google Earth



Figura 17. Dispersão de MP em abril de 2008 no SIMPACTS. Fonte: Adaptado de Google Earth.



Figura 18. Dispersão de SO₂ em abril de 2008 no SIMPACTS. Fonte: Adaptado de Google Earth

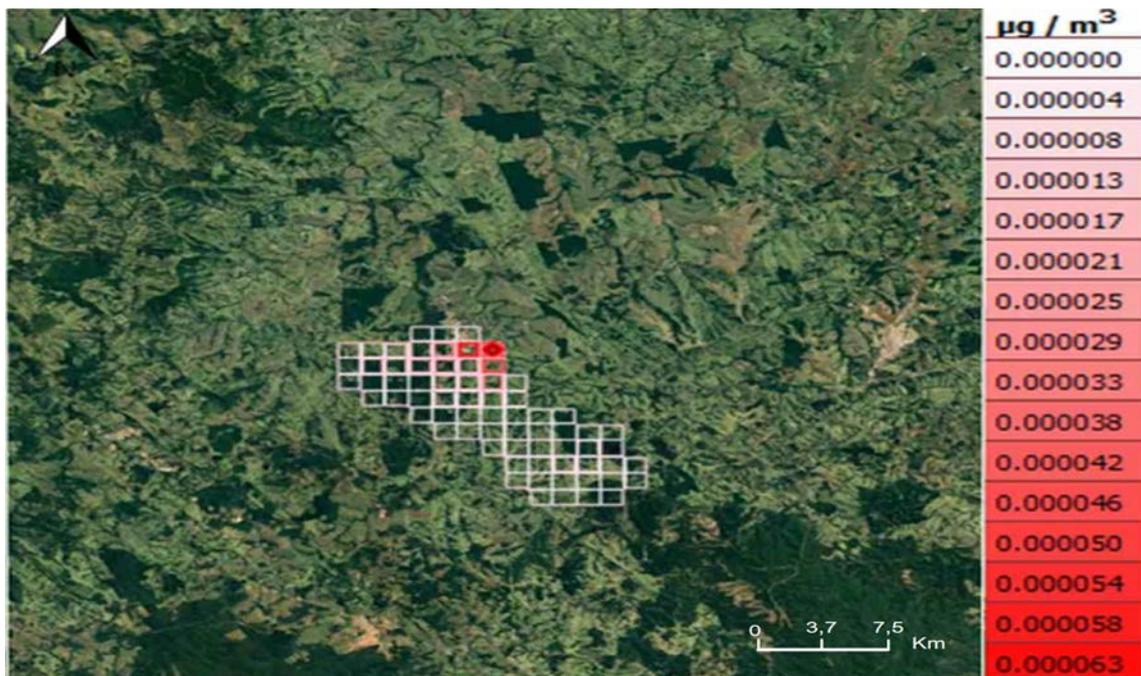


Figura 19. Dispersão de SO_4 em abril de 2008 no SIMPACTS. Fonte: Adaptado de Google Earth.

Região de 2.500 km^2 para o ano 2017

O ano de 2017 é o ano com maior emissão, sendo possível observar maior intensidade e dispersão dos gases anteriormente avaliados. As Figuras 20-22 apresentam tendências de dispersão para oeste, sul e sudoeste e concentradas nas imediações de Figueira. Por outro lado, as emissões de SO_4 apresentam uma dispersão com maior alcance em direção à região sudoeste e nordeste (Figura 23).



Figura 20. Dispersão de NO_x em junho de 2017 no SIMPACTS. Fonte: Adaptado de Google Earth.



Figura 21. Dispersão de MP em junho de 2017 no SIMPACTS. Fonte: Adaptado de Google Earth



Figura 22. Dispersão de SO_2 em junho de 2017 no SIMPACTS. Fonte: Adaptado de Google Earth

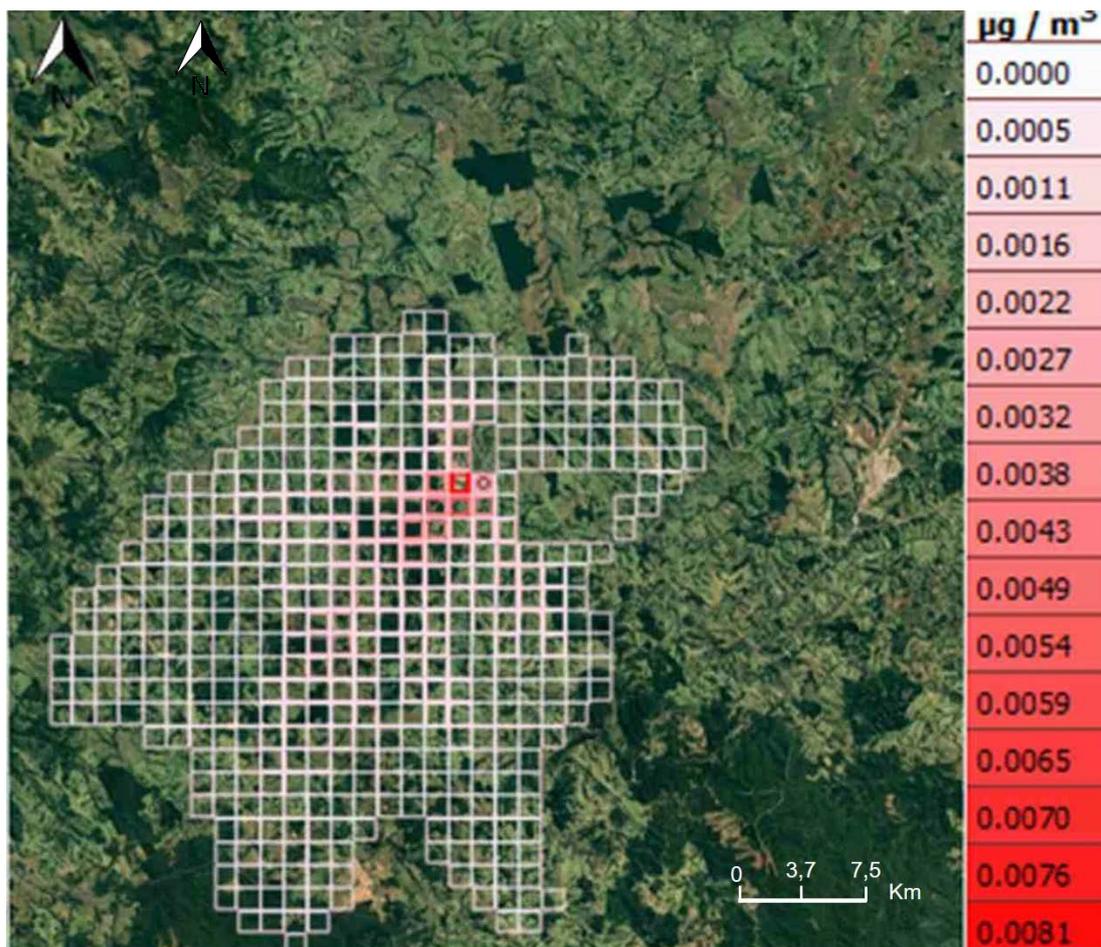


Figura 23. Dispersão de SO₄ em junho de 2017 no SIMPACTS. Fonte: Google Earth.

Para 2.500 km² também é possível observar a grande diferença na área de dispersão. Enquanto no ano com menor emissão (2008), a concentração dos gases tende a se conter apenas em Figueira, município sede da UTE, no ano com maior emissão (2017) os gases apresentam uma maior abrangência chegando até outros municípios. A diferença de concentração é grande entre os anos. A Tabela 9 mostra quantas vezes essa concentração é maior em 2017 em relação a 2008.

Tabela 9. Diferença de concentrações.

Emissões	2008	2017	Diferença
SO ₄	0,000063 µg/m ³	0,0081 µg/m ³	128,5 vezes maior
SO ₂	0,0065 µg/m ³	0,262 µg/m ³	40,3 vezes maior
MP	0,00250 µg/m ³	0,0051 µg/m ³	2 vezes maior
NO _x	0,00107 µg/m ³	0,031 µg/m ³	29 vezes maior

As Tabelas 10 e 11 mostram os custos obtidos no SIMPACTS, em dólares, referentes aos impactos de cada poluente. Para a área de 2500 km², os valores são maiores se comparados à área de 25 km². Além disso, em 2017 o custo foi maior que em 2008 aproximadamente 3,3, 11,5 e 11 vezes para MP, sulfato e nitrato respectivamente, resultando em um valor total de aproximadamente 7,5 vezes maior.

Tabela 10. Custos por impacto e poluente 2008 em 2500 km² calculado pelo SIMPACTS.

2008/ 50 km x 50 km	MP ₁₀		Sulfatos		Nitratos	
	Casos por ano	Custo US\$/ano	Casos por ano	Custo US\$/ano	Casos por ano	Custo US\$/ano
Mortalidade crônica - População inteira	4.154	68622,48	3,73	62446,01	0,708	11705,09
Mortalidade infantil - Menores de 12 meses	0,002	617,6	0,002	562,01	3,12E-04	105,34
Mortalidade aguda - População inteira	0,03	741,11	0,027	674,41	0,005	126,41
Uso de broncodilatador - asma adultos, maiores de 20 anos	32,71	11,72	29,789	10,72	5,579	2,01
Uso de broncodilatador - asma crianças, 5-14 anos	3,804	1,37	0,634	0,23	0,634	0,23
Dificuldade respiratória - adultos com dificuldade respiratória crônica	319,373	4027,29	53,568	675,5	53,568	675,5
Dificuldade respiratória - Crianças de 5-14 anos	2013,601	2693,5	36,434	459,44	36,434	459,44
Restrição de atividades diárias - Adultos que trabalham, 15-64 anos	245,458	10520,33	40,425	1732,6	40,425	1732,6
Restrição de atividades diárias - Adultos que não trabalham, 15-64 anos	27,807	420,72	4,58	69,29	4,58	69,29
Internação cardíaca - População inteira	0,044	29,03	0,007	4,95	0,007	4,95
internação por problemas respiratórios - População inteira	0,071	47,14	0,013	50,05	0,013	50,05
Bronquite crônica - Adultos, maiores de 27 anos	0,189	12485,31	0,032	2129,65	0,032	2129,65

Tabela 11. Custo por impacto e poluente 2017 em 2500 km² calculado pelo SIMPACTS.

2017/ 50 km x 50 km	MP ₁₀		Sulfatos		Nitratos	
	Casos por ano	Custo US\$/ano	Casos por ano	Custo US\$/ano	Casos por ano	Custo US\$/ano
Mortalidade crônica - População inteira	14,043	232.004,86	43,447	717.792,98	7,723	12.7586,11
Mortalidade infantil - Menores de 12 meses	0,006	2.088,02	0,02	6.460,07	0,003	1.148,25
Mortalidade aguda - População inteira	0,101	2.505,62	0,313	7.752,05	0,056	1.377,91
Uso de broncodilatador - asma adultos, maiores de 20 anos	110,588	39,81	342,146	123,17	60,816	21,89
Uso de broncodilatador - asma crianças, 5-14 anos	12,86	4,63	150,544	54,2	6,915	2,49
Dificuldade respiratória - adultos com dificuldade respiratória crônica	1.079,764	13.615,82	3340,649	42.125,59	583,896	7.362,93
Dificuldade respiratória - Crianças de 5-14 anos	722,16	9.106,43	2234,268	28.174,12	397,136	5.007,89
Restrição de atividades diárias - Adultos que trabalham, 15-64 anos	829,866	35.568,04	2567,497	110.042,92	440,63	18.885,41
Restrição de atividades diárias - Adultos que não trabalham, 15-64 anos	94,013	1.422,41	290,863	4.400,76	49,918	755,25
Internação cardíaca - População inteira	0,147	98,14	0,456	303,63	0,081	53,97
internação por problemas respiratórios - População inteira	0,239	159,36	0,741	493,04	0,136	545,53
Bronquite crônica - Adultos, maiores de 27 anos	0,639	42.211,44	1,976	130.596,72	0,351	23.313,28

Na Figura 24 são apresentados os custos totais dos efeitos causados pela poluição atmosférica por ano e por poluente. A relevância de cada poluente nos efeitos socioambientais convertidos em unidades monetárias para a área de 2500 km² é similar ao caso para a área de 25 km². Em 2017, ano com maiores emissões, a relevância de sulfato para o resultado total é maior que de outros poluentes, ou seja, no referido ano a emissão de sulfato foi maior que o normal.

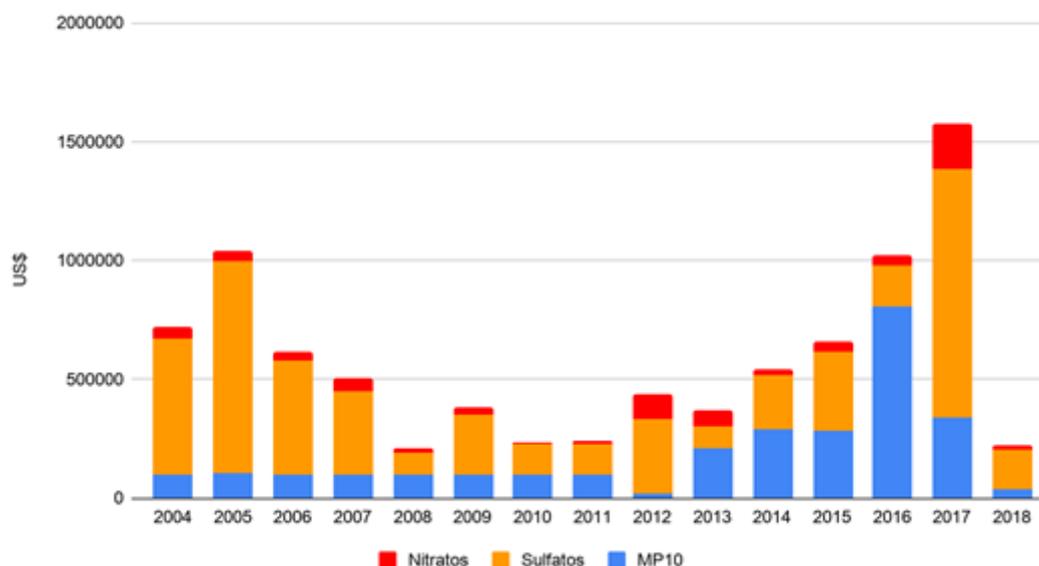


Figura 24. Impactos socioambientais convertidos em termos monetários: área 2500 km².

Os custos obtidos no SIMPACTS referente aos efeitos na saúde e na agricultura em razão da geração de energia são mostrados na Tabela 12, possibilitando analisar os custos socioambientais por GWh dependendo da extensão da área em que os impactos são analisados. A diferença entre os custos está relacionada diretamente com a dimensão da área a ser estudada. Desta forma, a área com maior dimensão sempre terá um custo maior devido à sua abrangência. Para a área de 2.500 km² o custo médio anual é de 4.475,50 US\$/GWh, enquanto para a área de 25 km² tem-se uma média anual de 56,60 US\$/GWh.

Tabela 12. Custos socioambientais por geração elétrica para diferentes áreas.

	US\$/GWh (25 km ²)	US\$/GWh (2.500 km ²)
2004	79,5	9.821,4
2005	104,8	12.872,9
2006	52,2	7.874,7
2007	43,5	6.283,3
2008	21,6	2.672,8
2009	31,5	4.379,9
2010	23,3	2.714,8
2011	28,2	4.169,8
2012	35,4	5.125,8
2013	36,6	4.311,1
2014	58,7	7.011,2
2015	53,9	7.495,2
2016	127,6	13.844,6
2017	116,5	17.675,3
2018	36,4	4.475,5

Discussão

No Brasil, a geração de energia elétrica por carvão mineral no Brasil ao redor de 3,2%. Apesar de não ser uma das principais fontes de energia no país, a utilização do carvão mineral para geração de energia elétrica produz poluentes que podem afetar a população nas vizinhanças. Especialmente em épocas do ano, como em junho, onde os impactos ambientais aumentam devido à maior dispersão de poluentes geradas pelas correntes de ar na região em estudo.

A utilização de filtros como tecnologias para redução de poluentes pode contornar o desafio dos problemas à saúde nas cidades próximas e assim continuar mantendo a qualidade do ar. Alguns estudos para redução inclusive de gases de efeito estufa tem sido realizados para a redução das emissões de CO₂ proveniente das usinas a carvão mineral na região (Hoffmann, 2013).

A participação da energia térmica a carvão mineral, é de grande importância nos estados de Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Inclusive a UTE em discussão encontra-se em fase de modernização, o que pode gerar uma redução maior ainda dos poluentes. No entanto, a queima de carvão mineral recebe subsídios estabelecido em lei, que representa ao redor de R\$710 milhões de reais. Valor que pode ser considerado nas contas mensais de eletricidade e que compõe a conta de desenvolvimento energético (IDEC, 2020). Este investimento poderia ser utilizado para utilização de tecnologias de captura e sequestro de carbono, ou para investimento em tecnologias renováveis alternativas na região como eólica ou solar.

Dentro do PDE há uma indicação de retirada de 15,5GW de potência instalada de usinas, mas existe a possibilidade de aumento de eficiência ou substituição por usinas modernas em ciclo combinado ou até a substituição por gás natural o que levaria a uma redução significativa de emissões como SO_x, NO_x e MP₁₀ (EPE, 2021). No entanto, é importante considerar a segurança no fornecimento de energia elétrica fornecida pela usina que tem uma atividade quase constante.

Vale ressaltar que há uma incerteza para estimar alguns dados de entrada que foram empregados assim como alguns pressupostos em relação a algumas variáveis econômicas e técnicas, a qual podem afetar a avaliação monetária dos custos, dentre deles a desvalorização da moeda e crise econômica do Brasil nos últimos anos, assim pressupostos nas emissões em função da geração de energia elétrica.

Conclusões

A emissão de gases ou partículas causando poluição atmosférica é extremamente danosa à população e ao meio ambiente em qualquer quantidade. Contudo, normas para regular tais emissões visando a minimizar os impactos socioambientais são necessárias quando partem de atividades essenciais à população. O presente trabalho permitiu observar que a COPEL, a partir de 2007, começou a se preocupar com as emissões de poluentes atmosféricos através de programas e reformas internas, contudo nos últimos anos as emissões aumentaram de forma considerável, expondo os problemas da UTE. A disparidade entre os anos de maior e menor emissão ficam evidenciadas no estudo. Apesar de não haver grande diferença na geração de eletricidade nos anos 2008 e 2017, os impactos causados pelas emissões de poluentes foram entre 6,1 e 7,5 vezes maiores em 2017. Isso pode indicar que um controle mais rigoroso dessas emissões pode causar uma redução significativa dos seus impactos. As dispersões dos poluentes NO_x, SO₂ e MP no entorno da UTE são bem semelhantes, enquanto o SO₄ possui uma maior dispersão quando comparado aos demais. As emissões de MP apesar de serem menores em quantidades relativas aos demais poluentes, causam um impacto significativo no ambiente e na população do entorno da UTE localizada no município de Figueira elevando os custos dos danos à saúde e ao meio ambiente. Por fim, os custos socioambientais crescem quando a área de impacto levada em consideração na análise é maior.

Trabalhos futuros pretendem comparar os impactos causados entre usinas de mesmo tipo e entre diferentes tecnologias de geração de energia.

Agradecimentos

Os autores agradecem às agências brasileiras de financiamento da pesquisa, Conselho Nacional de Desenvolvimento e Pesquisa (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), Pró-Reitoria de Pesquisa (PRPq), da Universidade Federal de Minas Gerais pelos apoios concedidos.

Referências

Almeida, R. P. S.; Carvalho e Souza, T.; Souza, S. L. Q.; Martins, E. M.; Corrêa, S. M. Comparação da qualidade do ar em localidades industrial e urbana. **Revista Internacional de Ciências**, v. 9, n. 3, p. 47-62, 2019. <https://doi.org/10.12957/ric.2019.42897>

Apro, P. H.; Pereira, V. S.; Rosal, C.; Souza, L. F. M.; Lamano-Ferreira, A. P. N.; Lamano Ferreira, M. Avaliação dos parâmetros de crescimento em plantas jovens de *Phaseolus vulgaris* L. (Feijão) expostas à poluição aérea da Cidade de São Paulo. **Exacta**, v. 10, n. 1, p. 92-100, 2012. <https://doi.org/10.5585/exacta.v10n1.3217>

Autodesk. AutoCAD. Versão para estudantes. 2020. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/education/free-software/autocad>>. Acesso em: 10 maio 2020.

Boz Neto, J. **Implantação do sistema de coleta de dados operacionais da Usina Termelétrica de Figueira - SCDCDE UTE FRA**. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013. (Monografia de especialização).

Brasil. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 4. ed. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações, 2017.

Brasil. Ministério da Saúde. **Saúde Brasil 2018** - uma análise de situação de saúde e das doenças e agravos crônicos: desafios e perspectivas. Brasília: Ministério da Saúde, 2019. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/saude_brasil_2018_analise_situacao_saude_doencas_agravos_cronicos_desafios_perspectivas.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2020.

Carbonífera Cambuí. Produtos - produção e exploração de carvão mineral. 2020. Disponível em: <<http://www.carboniferadocambui.com.br/>>. Acesso em: 24 mar. 2020.

COPEL - Companhia Paranaense de Energia. Relatório de Responsabilidade Socioambiental e Econômico-Financeiro. 2004. Disponível em: <https://www.copel.com/relatoriosanuais/2004/index_pt.htm>. Acesso em: 10 abr. 2020.

COPEL - Companhia Paranaense de Energia. Relatório de Responsabilidade Socioambiental e Econômico-Financeiro. 2005. Disponível em: <https://www.copel.com/relatoriosanuais/2005/index_pt.htm>. Acesso em: 10 abr. 2020.

COPEL - Companhia Paranaense de Energia. Relatório de Responsabilidade Socioambiental e Econômico-Financeiro. 2006. Disponível em: <https://www.copel.com/relatoriosanuais/2006/index_pt.htm>. Acesso em: 10 abr. 2020.

COPEL - Companhia Paranaense de Energia. Relatório de Responsabilidade Socioambiental e Econômico-Financeiro. 2007. Disponível em: <https://www.copel.com/relatoriosanuais/2007/index_pt.htm>. Acesso em: 10 abr. 2020.

COPEL - Companhia Paranaense de Energia. Relatório de Responsabilidade Socioambiental e Econômico-Financeiro. 2008. Disponível em: <https://www.copel.com/relatoriosanuais/2008/index_pt.htm>. Acesso em: 10 abr. 2020.

COPEL - Companhia Paranaense de Energia. Relatório de Responsabilidade Socioambiental e Econômico-Financeiro. 2009. Disponível em: <https://www.copel.com/relatoriosanuais/2009/index_pt.htm>. Acesso em: 10 abr. 2020.

COPEL - Companhia Paranaense de Energia. Relatório de Responsabilidade Socioambiental e Econômico-Financeiro. 2010. Disponível em: <https://www.copel.com/relatoriosanuais/2010/index_pt.htm>. Acesso em: 10 abr. 2020.

COPEL - Companhia Paranaense de Energia. Relatório de Responsabilidade Socioambiental e Econômico-Financeiro. 2011. Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/relatorio2011/\\$FILE/RelAnual11.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/relatorio2011/$FILE/RelAnual11.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2020.

COPEL - Companhia Paranaense de Energia. Relatório de Responsabilidade Socioambiental e Econômico-Financeiro. 2012. Disponível em: <<https://ri.copel.com/ptb/relatorios-anuais-e-socioambientais/2012>>. Acesso em: 10 abr. 2020.

COPEL - Companhia Paranaense de Energia. Relatório de Responsabilidade Socioambiental e Econômico-Financeiro. 2013. Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/relatorio_socioambiental_get_2013/\\$FILE/Relatorio_Sustentabilidade_GeT_2013.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/relatorio_socioambiental_get_2013/$FILE/Relatorio_Sustentabilidade_GeT_2013.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2020.

COPEL - Companhia Paranaense de Energia. Relatório de Responsabilidade Socioambiental e Econômico-Financeiro. 2014. Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/relatorio_socioambiental_get_2014/\\$FILE/Relatorio_Sustentabilidade_GeT_2014.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/relatorio_socioambiental_get_2014/$FILE/Relatorio_Sustentabilidade_GeT_2014.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2020.

COPEL - Companhia Paranaense de Energia. Relatório de Responsabilidade Socioambiental e Econômico-Financeiro. 2015. Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/relatorio_socioambiental_get_2015/\\$FILE/Relatorio_Sustentabilidade_GeT_2015.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/relatorio_socioambiental_get_2015/$FILE/Relatorio_Sustentabilidade_GeT_2015.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2020.

COPEL - Companhia Paranaense de Energia. Relatório de Responsabilidade Socioambiental e Econômico-Financeiro. 2016. Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/relatorio2016/\\$FILE/RelAnual16.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/relatorio2016/$FILE/RelAnual16.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2020.

COPEL - Companhia Paranaense de Energia. Relatório de Responsabilidade Socioambiental e Econômico-Financeiro. 2017. Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/relatorio2017/\\$FILE/RelAnual17.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/relatorio2017/$FILE/RelAnual17.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2020.

COPEL - Companhia Paranaense de Energia. Relatório de Responsabilidade Socioambiental e Econômico-Financeiro. 2018. Disponível em: <[https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/relatorio_socioambiental_get_2018/\\$FILE/COPEL GET 2018.pdf](https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/relatorio_socioambiental_get_2018/$FILE/COPEL GET 2018.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2020.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Matriz energética e elétrica. 2020. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 22 abr. 2020.

EPE- Empresa de Pesquisa Energética. Plano Decenal de Expansão de Energia 2029. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2029>> Acesso em 25 mar. 2021.

Fard, R. F.; Naddafi, K.; Yunesian, M.; Nodehi, R. N.; Dehghani, M. H.; Hassanvand, M. S. The assessment of health impacts and external costs of natural gas-fired power plant of Qom. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, p. 20922-20936, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7258-0>

Gomes, A. J. P.; Cruz, P. R.; Borges, L. P. Recursos minerais energéticos: carvão e urânio. In: Bizzi, L. A.; Schobbenhaus, C.; Vidotti, R. M.; Gonçalves, J. H. (Eds.). **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**: texto, mapas e SIG. Brasília: CPRM, 2003. p. 577-601.

Hainoun, A.; Almoustafa, A.; Seif Aldin, M. Estimating the health damage costs of Syrian electricity generation system using impact pathway approach. **Energy**, v. 35, p. 628-638, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.10.034>

Hoffmann, B. S. **O potencial termelétrico a carvão no Rio Grande do Sul diante restrições de disponibilidade de água e objetivos de redução de emissões de CO₂, aplicando a queima em leito fluidizado**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2013. (Tese de doutorado).

IDEC - Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor. Usinas termoeletricas e a crise no setor elétrico brasileiro pela COVID 19. 2020. Disponível em: <https://idec.org.br/sites/default/files/relatorio_tecnico_portfolio_energia_final_web_2.pdf>. Acesso em: 28 maio 2020.

IAEA - International Atomic Energy Agency. Energy modelling tools. 2020. Disponível em: <<https://www.iaea.org/topics/energy-planning/energy-modelling-tools>>. Acesso em: 28 maio 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 28 maio 2020.

Jorli, M.; Van Passel, S.; Sadeghi, H.; Nasser, A.; Agheli, L. Estimating human health impacts and costs due to Iranian fossil fuel power plant emissions through the impact pathway approach. **Energies**, v. 10, p. 2136, 2017. <https://doi.org/10.3390/en10122136>

Nwanya, S. C. Climate change and energy implications of gas flaring for Nigeria. **International Journal of Low-Carbon Technologies**, v. 6, n. 3, p. 193-199, 2011. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctr007>

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. Histórico de operações. 2020. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao>>. Acesso em: 10 abr. 2020.

Parry, M.; Canziani, O.; Palutikof, J.; Van der Linden, P.; Hanson, C. (Eds.). **Climate change 2007 - impacts, adaptation and vulnerability**: Working group II contribution to the fourth assessment report of the IPCC. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. v. 4. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4_wg2_full_report.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2020.

Pedruzzi, R.; Baek, B. H.; Henderson, B. H.; Aravanis, N.; Pinto, J. A.; Araujo, I. B.; Nascimento, E. G. S.; Reis Junior, N. C.; Moreira, D. M.; Albuquerque, T. T. A. Performance evaluation of a photochemical model using different boundary conditions over the urban and industrialized metropolitan area of Vitória, Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p. 16125-16144, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04953-1>

Rohde, G. M.; Machado, C. S. **Quantificação das cinzas de carvão fóssil produzidas no Brasil**. Porto Alegre: Cientec, 2016. (Boletim técnico, 36). Disponível em: <http://www.cientec.rs.gov.br/upload/20160708140547boletim_tecnico_36.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2020.

Tolmasquim, M. T. **Energia termelétrica**: gás natural, biomassa, carvão, nuclear. Rio de Janeiro: EPE, 2016.



Informação da Licença: Este é um artigo Open Access distribuído sob os termos da Licença Creative Commons Attribution, que permite uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que a obra original seja devidamente citada.