

SINAPSE\_RT08\_2019



### Proponente



### Cooperadas



### Executoras



## MATRIZ ENERGÉTICA E APRIMORAMENTO DA SISTEMÁTICA DE INSERÇÃO AMBIENTAL NO PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO DO SISTEMA ELÉTRICO (PROJETO SINAPSE)

Obtenção dos Valores dos Índices de Sustentabilidade de Fontes de Geração de Energia Elétrica - ISFGs

RELATÓRIO TÉCNICO 08

05/09/2019

## FICHA DE IDENTIFICAÇÃO

<b>Qualificação</b> <i>Relatório Técnico</i>	<b>Versão</b> <i>01</i>	
<b>Data (dia, mês e ano)</b> <i>23.08.2019</i>	Nº do volume: 08 Nº da parte: 01 Nº de páginas: 39	
<b>Título:</b> <i>MATRIZ ENERGÉTICA E APRIMORAMENTO DA SISTEMÁTICA DE INSERÇÃO AMBIENTAL NO PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO DO SISTEMA ELÉTRICO (PROJETO SINAPSE)</i>		
<b>Subtítulo:</b> <i>Validação e obtenção dos valores dos indicadores: aplicação do método DELPHI</i>		
<b>Entidades Executoras:</b> <i>MRTS Consultoria e Engenharia Ltda. – MRTS</i> <i>NTJ TEC Consultoria em Engenharia Ltda. - WeSee</i> <i>Diversa Consultoria em Sustentabilidade - DIVERSA</i> <i>Fundação COPPETEC</i> <i>SINERCONSULT - Consultoria, Treinamento e Participações Ltda.</i>	<b>Responsáveis Técnicos:</b> <i>Dorel Soares Ramos</i> <i>Marciano Morozowski Filho</i> <i>Ricardo Cavalcanti Furtado</i> <i>Amaro Olímpio Pereira Jr.</i> <i>Ana Lúcia Rodrigues da Silva</i>	
<b>Entidades Patrocinadoras:</b>		
<i>CANDEIAS</i>	<i>CEMIG GT</i>	<i>ITIQUEIRA</i>
<i>POTIGUAR</i>	<i>CERAN</i>	<i>FOZ DO CHAPECÓ</i>
<i>MANAUARA</i>	<i>ENERCAN</i>	
<b>Resumo:</b> Este documento apresenta a obtenção dos valores dos níveis de sustentabilidade das fontes de geração de energia por indicador, usando os valores obtidos com a aplicação do método de pesquisa Delphi. Adicionalmente, os valores dos indicadores obtidos de fontes secundárias foram atualizados, com base em referências mais atualizadas. Foram também submetidos às rodadas de pesquisa Delphi os indicadores para os quais os valores dos níveis de sustentabilidade das fontes de energia variam dentro de uma escala. Sintetizando, a matriz proposta para mensurar o índice de sustentabilidade das fontes de geração de energia teve seus indicadores validados e seus valores consolidados.		

## Sumário

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
<b>MATRIZ FINAL DE INDICADORES .....</b>	<b>7</b>
DIMENSÃO AMBIENTAL .....	7
DIMENSÃO SOCIAL .....	8
DIMENSÃO ECONÔMICA .....	8
DIMENSÃO POLÍTICO-INSTITUCIONAL .....	9
<b>VALORES DOS INDICADORES .....</b>	<b>11</b>
<b>RESULTADOS DOS VALORES POR DIMENSÕES E DOS ISFGS .....</b>	<b>28</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>40</b>
<b>EQUIPE.....</b>	<b>42</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>43</b>

## Figuras

**FIGURA 1 – ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE DAS FONTES DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – DIMENSÃO AMBIENTAL**  
..... **Erro! Indicador não definido.**

**FIGURA 2 – ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE DAS FONTES DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – DIMENSÃO SOCIAL**  
**Erro! Indicador não definido.**

**FIGURA 3 – ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE DAS FONTES DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – DIMENSÃO ECONÔMICA**  
..... **Erro! Indicador não definido.**

**FIGURA 4 – ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE DAS FONTES DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – DIMENSÃO POLÍTICO-  
INSTITUCIONAL** ..... **Erro! Indicador não definido.**

**FIGURA 5 - ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE DAS FONTES RENOVÁVEIS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - POR  
DIMENSÃO** ..... **Erro! Indicador não definido.**

**FIGURA 6 - SUSTENTABILIDADE DAS FONTES NÃO-RENOVÁVEIS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - POR DIMENSÃO**  
..... **Erro! Indicador não definido.**

**FIGURA 7 - ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE DAS FONTES DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (ISFG)**  
**Erro! Indicador não definido.**

## Quadros

<b>QUADRO 1 – TEMAS, ASPECTOS E INDICADORES DA DIMENSÃO AMBIENTAL .....</b>	<b>7</b>
<b>QUADRO 2 – TEMAS, ASPECTOS E INDICADORES DA DIMENSÃO SOCIAL .....</b>	<b>8</b>
<b>QUADRO 3 – TEMAS, ASPECTOS E INDICADORES DA DIMENSÃO ECONÔMICA .....</b>	<b>9</b>
<b>QUADRO 4 – TEMAS, ASPECTOS E INDICADORES DA DIMENSÃO POLÍTICO-INSTITUCIONAL.....</b>	<b>10</b>
<b>QUADRO 5 – VALORES E FONTES SECUNDÁRIAS DOS INDICADORES – FONTES RENOVÁVEIS .....</b>	<b>12</b>
<b>QUADRO 6 – VALORES E FONTES SECUNDÁRIAS DOS INDICADORES - FONTES NÃO RENOVÁVEIS.....</b>	<b>16</b>
<b>QUADRO 7 – VALORES DE FONTES PRIMÁRIAS DOS INDICADORES – FONTES RENOVÁVEIS.....</b>	<b>21</b>
<b>QUADRO 8 – VALORES DE FONTES PRIMÁRIAS DOS INDICADORES – FONTES NÃO RENOVÁVEIS .....</b>	<b>25</b>
<b>QUADRO 9 – VALORES DAS DIMENSÕES E DOS ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE – FONTES RENOVÁVEIS.....</b>	<b>30</b>
<b>QUADRO 10 – VALORES DAS DIMENSÕES E DOS ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE – FONTES NÃO RENOVÁVEIS.....</b>	<b>30</b>
<b>QUADRO 11 - VALORES DOS TEMAS POR DIMENSÃO – FONTES RENOVÁVEIS.....</b>	<b>31</b>
<b>QUADRO 12 - VALORES DOS TEMAS POR DIMENSÃO – FONTES NÃO RENOVÁVEIS .....</b>	<b>32</b>
<b>QUADRO 13 – EQUIPE DE PESQUISADORES RESPONSÁVEL PELA ELABORAÇÃO DO DOCUMENTO.....</b>	<b>42</b>

## INTRODUÇÃO

O presente Relatório Técnico apresenta os resultados dos valores dos Índices de Sustentabilidade de Fontes de Geração de Energia Elétrica (ISFGs), usando a matriz com os valores obtidos na pesquisa Delphi realizada com os especialistas e as referências atualizadas dos indicadores de fontes secundárias.

A matriz final de indicadores é a mesma construída pelos pesquisadores. Ressalta-se, contudo, que algumas denominações de indicadores e também algumas unidades foram alteradas por sugestão dos especialistas selecionados na pesquisa Delphi. A matriz consolidada é composta por quatro (4) dimensões: Ambiental; Social; Econômica; Político-Institucional e contém quarenta (40) indicadores, sendo 29 obtidos de dados primários, ou seja, pela avaliação de especialistas, e 11 obtidos da literatura especializada.

Este relatório é composto de quatro (4) capítulos, além dessa breve introdução, da equipe responsável por sua elaboração e das referências bibliográficas. O primeiro capítulo apresenta a matriz de indicadores de sustentabilidade final, após a incorporação das sugestões dos especialistas que responderam ao questionário da pesquisa Delphi. O segundo capítulo destaca os valores dos 40 indicadores a serem usados para obtenção dos valores das dimensões e dos ISFGs. No terceiro capítulo, são apresentados os resultados dos valores das dimensões e dos ISFGs para cada fonte de geração de energia elétrica, que devem ser usados no modelo de expansão do planejamento do Sistema Interligado Nacional (SIN). Finalmente, o último capítulo ressalta as principais conclusões e recomendações a serem adotadas no uso dessa matriz de indicadores de sustentabilidade de fontes de geração de energia elétrica.

## MATRIZ FINAL DE INDICADORES

### Dimensão Ambiental

A dimensão Ambiental é composta de quatro (4) temas (Solo, Água, Ar e Riscos) e de quinze (15) indicadores, conforme apresentados no Quadro 1.

QUADRO 1 – TEMAS, ASPECTOS E INDICADORES DA DIMENSÃO AMBIENTAL

TEMA	ASPECTO	INDICADOR (UNIDADE)
Solo	Área Ocupada	Área ocupada por energia gerada (km <sup>2</sup> /MWh)
	Perda de Biodiversidade	Potencial de redução de biodiversidade de espécies nativas da fauna e flora (escala de 1 a 5)
		Possibilidade de ocorrência de unidade de conservação em áreas com potencial de geração (escala de 1 a 5)
Água	Uso de Água	Volume de água consumida/energia gerada (m <sup>3</sup> /MWh)
	Perda de Biodiversidade	Potencial de redução da biodiversidade nativa da ictiofauna (escala de 1 a 5)
		Grau de transformação do ambiente lótico em lêntico por por energia anual gerada (km <sup>2</sup> /MWh/ano) (escala de 1 a 5)
	Doenças Hídricas	Aumento de doenças causadas por vetores hídricos ou por alteração na qualidade da água por energia anual gerada (%/MWh/anual) (escala de 1 a 5)
Ar	Mudanças Climáticas	Toneladas de CO <sub>2</sub> e emitidas por energia anual gerada (tCO <sub>2</sub> e/MWh/ano)
	Impacto na Saúde	Toneladas de particulados emitidas por energia anual gerada (t/GWh/ano)
		Toneladas de óxidos nitrosos emitidas por energia anual gerada (tNO <sub>x</sub> /GWh/ano)
		Toneladas de dióxido de enxofre por energia anual gerada (tSO <sub>2</sub> /GWh/ano)
		Aumento de doenças respiratórias por energia anual gerada (%/MWh/ano) (escala de 1 a 5)
Riscos	Risco de Origem Humana	Potencial de riscos de perda de geração decorrente de erros humanos (escala de 1 a 5)
	Risco de Origem em Eventos Naturais	Potencial de riscos de perda de geração decorrentes de eventos naturais (escala de 1 a 5)

TEMA	ASPECTO	INDICADOR (UNIDADE)
	Riscos de Origem Tecnológica	Potencial de riscos de perda de geração decorrentes de eventos tecnológicos (escala de 1 a 5)

Fonte: Diversa, 2018.

## Dimensão Social

A dimensão Social é formada de três (3) temas (População Local e Trabalhadores, Terras Indígenas e Comunidades Tradicionais e Patrimônio Cultural, Histórico e Arqueológico) e sete (7) indicadores conforme apresentados no Quadro 2.

QUADRO 2 – TEMAS, ASPECTOS E INDICADORES DA DIMENSÃO SOCIAL

TEMA	ASPECTO	INDICADOR (UNIDADE)
População Local e Trabalhadores	Potencial de Afetar Populações Locais	População diretamente afetada durante a obra (escala de 1 a 5)
		População diretamente afetada durante a operação (escala de 1 a 5)
	Pressão sobre a Infraestrutura Social	Número de trabalhadores no pico da obra por capacidade instalada (nº de trabalhadores /MW)
Terras Indígenas e Comunidades Tradicionais	Comprometimento de Relações Interétnicas	Possibilidade de ocorrência de povos indígenas em áreas com potencial de geração realizável (escala de 1 a 5)
		Possibilidade de ocorrência de terras de comunidades tradicionais em áreas de potencial de geração realizável (escala de 1 a 5)
Patrimônio Cultural, Histórico e Arqueológico	Perda de Patrimônio Cultural Construído	Nível de dano ao patrimônio cultural, histórico e arqueológico em áreas de potencial de geração realizável (escala de 1 a 5)
	Comprometimento da Cultura Local	Nível de comprometimento da identidade cultural local em áreas de potencial de geração realizável (escala de 1 a 5)

Fonte: Diversa, 2018.

## Dimensão Econômica

A dimensão Econômica é constituída de quatro (3) temas (Geração de Emprego, Geração de Renda e Receita Pública) e oito (8) indicadores conforme apresentados no Quadro 3.



QUADRO 3 – TEMAS, ASPECTOS E INDICADORES DA DIMENSÃO ECONÔMICA

TEMA	ASPECTO	INDICADOR (UNIDADE)
Geração de Emprego	Empregos Diretos e Indiretos	Empregos gerados considerando toda a cadeia de produção por capacidade instalada (empregos gerados/MW)
Geração de Renda	Atividade Turística	Incremento da atividade turística local (escala de 1 a 5)
	Comércio & Serviços	Incremento da atividade de comércio & serviços locais (escala de 1 a 5)
	Produção Agropecuária	Potencial de menor impacto na produção agropecuária local (escala de 1 a 5)
	Indústria	Incremento da atividade industrial local (escala de 1 a 5)
	Cessão da Terra	Renda auferida por cessão da terra para geração de energia (escala de 1 a 5)
Receita Pública	Impostos e Compensações	Compensação financeira anual paga aos estados e municípios pela energia gerada (Sim/Não)
		ISS anual gerado na instalação por energia anual gerada (MWh/ano) (escala de 1 a 5)

Fonte: Diversa, 2018.

## Dimensão Político-Institucional

A dimensão Político-Institucional tem quatro (4) temas (Licenciamento Ambiental, Aceitação Pública, Política Energética e Acordos Internacionais) e dez (10) indicadores conforme apresentados no Quadro 4.

QUADRO 4 – TEMAS, ASPECTOS E INDICADORES DA DIMENSÃO POLÍTICO-INSTITUCIONAL

TEMA	ASPECTO	INDICADOR (UNIDADE)
Licenciamento Ambiental	Simplicidade do Processo de Licenciamento Ambiental	Flexibilidade para escolha do local do empreendimento (escala de 1 a 5)
		Simplicidade dos Estudos Ambientais exigidos pelos órgãos licenciadores ambientais (escala de 1 a 5)
		Potencial de envolvimento de menor número de órgãos intervenientes no processo de licenciamento, exemplo: IPHAN, FUNASA, FUNAI, Fundação Cultural Palmares (escala de 1 a 5)
	Risco envolvido no Processo de Licenciamento Ambiental	Potencial de cumprimento do prazo regulamentar para o licenciamento ambiental (escala de 1 a 5)
		Potencial de menor risco de judicialização do processo de licenciamento ambiental (escala de 1 a 5)
Aceitação Pública	Interação com as Comunidades Locais	Nível de aceitação da fonte pela população dos municípios diretamente afetados (escala de 1 a 5)
		Potencial de geração de benefícios locais (escala de 1 a 5)
Política Energética e Acordos Internacionais	Compatibilidade da fonte com políticas energéticas e acordos internacionais	Fonte renovável ou não renovável (sim/não)
		Disponibilidade nacional do recurso energético realizável (MW)
		Grau de domínio nacional da tecnologia (escala de 1 a 5)

Fonte: Diversa, 2018.

## VALORES DOS INDICADORES

Conforme previsto quando da construção da matriz preliminar de indicadores, havia necessidade de um aprimoramento dos valores dos indicadores com base em dados secundários. Esse refinamento foi feito usando-se referências mais atualizadas do que as usadas no Relatório Técnico 04 – Volume 2. Os Quadros 5 e 6 apresentam os valores dos indicadores obtidos de dados secundários com a atualização das fontes.

É relevante ressaltar que esses dados devem ser atualizados em cada ciclo de planejamento de longo prazo, tendo em vista que, com a evolução das tecnologias de geração de energia elétrica, esses valores podem ser bastante alterados. Caso esses valores sejam usados no Plano Decenal de Energia, recomenda-se que essa atualização seja feita a cada dois anos.

Os valores dos indicadores obtidos de fonte primária são aqueles resultantes da pesquisa Delphi, conforme explanados no Relatório Técnico 07, e aqui apresentados nos Quadros 7 e 8.

QUADRO 5 – VALORES E FONTES SECUNDÁRIAS DOS INDICADORES – FONTES RENOVÁVEIS

INDICADOR (UNIDADE)	HIDRELÉTRICA A RESERVATÓRIO	PCH (ATÉ 30 MW)	HIDRELÉTRICA FIO D'ÁGUA	SOLAR FOTOVOLTAICA	HELIOTÉRMICA CONCENTRADA	EÓLICA OFFSHORE	EÓLICA ONSHORE	BIOMASSA
1. Área ocupada por energia gerada (km <sup>2</sup> /TWh)	54,000	4,646*	4,646	15,300	15,300*	0	72,100	285,600
<p>Os valores de todas as fontes foram coletados do relatório “<i>Climate Change Impacts in the United States</i>” (Melillo et al., 2014) organizado pelo <i>United States Global Change Research Program</i>. Os dados são apresentados na figura 10.6, página 266.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Para a fonte hidrelétrica a fio d'água, os valores foram calculados utilizando como base o valor da fonte hidrelétrica com reservatório, dividido pela relação entre a média de 7 (sete) usinas brasileiras com reservatório (Itaparica, Três Marias, Furnas, Serra da Mesa, São Simão, Sobradinho e Passo Real) e 10 usinas a fio d'água brasileiras (Itumbiara, Estreito, Maribondo, Tucuruí, Xingó, Belo Monte, Salto Santiago, Santo Antônio, Teles Pires e São Manoel) e Itaipu Binacional. O resultado da relação demonstrou que a área ocupada por hidrelétricas a fio d'água é 11,6 vezes menor do que aquela ocupada por hidrelétricas com reservatório;</li> <li>• O valor da fonte PCH foi considerado o mesmo da hidrelétrica fio d'água, em função da maioria das PCHs serem também usinas a fio d'água;</li> <li>• Foi considerado o mesmo valor de solar fotovoltaica e heliotérmica concentrada, por ausência de dado específico de cada fonte de energia elétrica;</li> <li>• Para o valor da fonte biomassa, foi considerado o valor encontrado para biomassa proveniente da cana-de-açúcar;</li> <li>• Por não fazer uso de solo terrestre nem alagamento de áreas, o valor do indicador para a fonte eólica <i>offshore</i> foi considerado como zero.</li> </ul>								
2. Volume de água consumida/energia gerada (m <sup>3</sup> /MWh)	0	0	0	0	1,750	0	0	1,608
<p>Todas as fontes, com exceção das fontes hidrelétricas, foram coletadas do relatório “<i>Climate Change Impacts in the United States</i>” (Melillo, 2014), organizado pelo <i>United States Global Change Research Program</i>. Os dados foram coletos por meio do gráfico da figura 10.5, página 265, do relatório.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Os valores referentes às fontes hidrelétrica reservatório, PCH e hidrelétrica a fio d'água foram considerados como zero, pois fontes de energia com a utilização de força hidráulica não consomem diretamente a água, existe a perda apenas devido ao ciclo natural da água;</li> <li>• Os valores das fontes solar fotovoltaica e eólicas <i>onshore</i> e <i>offshore</i> também foram considerados nulos, por não serem significativos;</li> <li>• O valor da fonte heliotérmica concentrada foi calculado por meio da média entre as tecnologias <i>dry cooled</i> e <i>recirculating</i>;</li> <li>• O valor da fonte biomassa foi calculado por meio da média entre as tecnologias <i>once-through</i> e <i>recirculating</i>.</li> </ul>								



INDICADOR (UNIDADE)	HIDRELÉTRICA A RESERVATÓRIO	PCH (ATÉ 30 MW)	HIDRELÉTRICA FIO D'ÁGUA	SOLAR FOTOVOLTAICA	HELIOTÉRMICA CONCENTRADA	EÓLICA OFFSHORE	EÓLICA ONSHORE	BIOMASSA
<ul style="list-style-type: none"> <li>O valor referente à fonte biomassa foi encontrado por meio do levantamento dos fatores de emissão relacionados a queima de bagaço em caldeiras para geração de energia elétrica. O valor encontrado para emissão de material particulado foi convertido de 0,15 KgMP/tBagaço para 0,00015 tMP/tBagaço e o valor utilizado para energia anual gerada foi de 1600 GWh. Os dados foram retirados da dissertação intitulada “Estimativa das emissões de poluentes atmosféricos e uso de água na produção de eletricidade com biomassa de cana-de-açúcar” (Leme, 2005);</li> <li>As fontes hidrelétricas reservatório, PCH, Hidrelétrica fio d’água, solar fotovoltaica, heliotérmica e eólicas foram consideradas não emissoras de óxidos nitrosos;</li> </ul>								
6. Toneladas de dióxido de enxofre por energia anual gerada (tSO <sub>2</sub> /GWh/ano)	0	0	0	0	0	0	0	0
<ul style="list-style-type: none"> <li>A emissão de dióxido de enxofre para a fonte biomassa foi considerada nula, com base no artigo “Energia da Biomassa” (Lopes; Barboza; Silveira, 2013).</li> <li>As fontes hidrelétricas, solares e eólicas foram consideradas não emissoras de dióxido de enxofre;</li> </ul>								
7. Número de trabalhadores no pico da obra por capacidade instalada (nº de trabalhadores/MW)	7,600	20	7,600*	3,5500	4,580	7,400	7,400	1,210
<ul style="list-style-type: none"> <li>O valor da fonte heliotérmica concentrada foi obtido no site da empresa Solar Reserve (SOLAR RESERVE, 2018), e calculado pela média de cinco projetos (Aurora, Crescent Dunes, Kotulo Tsatsi, Sandstone, Tamarugal).</li> <li>Os valores das demais fontes foram obtidos a partir da análise socioambiental das fontes energéticas do PDE 2026 (EPE, 2017).</li> <li>O valor da fonte hidrelétrica com reservatório foi utilizado também para hidrelétrica fio d’água, por ausência de dados específicos da fonte.</li> </ul>								

INDICADOR (UNIDADE)	HIDRELÉTRICA A RESERVATÓRI O	PCH (ATÉ 30 MW)	HIDRELÉTRICA FIO D'ÁGUA	SOLAR FOTOVOLTAICA	HELIOTÉRMICA CONCENTRADA	EÓLICA OFFSHORE	EÓLICA ONSHORE	BIOMASSA
8. Empregos gerados, considerando toda a cadeia de produção, por capacidade instalada (empregos gerados/MW)	28,33	28,33*	28,33*	33,33	13,83	25,00	14,17	6,67
Os dados foram obtidos da Figura 8 – “Índice de geração por MW instalado de diferentes tecnologias de geração de energia”, página 57, da monografia “Energia eólica e desenvolvimento sustentável no Brasil: Estimativa da geração de empregos por meio de uma matriz insumo-produto ampliada”;								
<ul style="list-style-type: none"> <li>O valor da fonte hidrelétrica no estudo foi considerado para PCH, hidrelétrica com reservatório e a fio d'água, pela semelhança tecnológica entre as fontes.</li> </ul>								
9. Compensação financeira anual paga aos estados e municípios pela energia gerada (sim/não)	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
Informações de acordo com a legislação nacional vigente em 2019.								
10. Fonte renovável ou não renovável	Renovável	Renovável	Renovável	Renovável	Renovável	Renovável	Renovável	Renovável
11. Disponibilidade nacional do recurso energético realizável (MWh)	85,774*	79,040*	171,549*	195,454*	259,090*	6.163,636*	136,363*	2.413,636*
Os dados foram obtidos na Tabela 35 – “Potencial energético brasileiro (Mtep)”, página 164, da Nota Técnica PR 04/18 (EPE, 2018b).								
<ul style="list-style-type: none"> <li>(*) Valores em milhões de MWh;</li> </ul>								

INDICADOR (UNIDADE)	HIDRELÉTRICA A RESERVATÓRIO	PCH (ATÉ 30 MW)	HIDRELÉTRICA FIO D'ÁGUA	SOLAR FOTOVOLTAICA	HELIOTÉRMICA CONCENTRADA	EÓLICA OFFSHORE	EÓLICA ONSHORE	BIOMASSA
<ul style="list-style-type: none"> <li>O valor das fontes Hidrelétrica com Reservatório, PCH, Hidrelétrica a Fio D'Água foi considerado o total de (336,363*), tal valor foi distribuído de acordo com a proporcionalidade do potencial hidrelétrico brasileiro para os estudos de longo prazo. Para a fonte PCH, foi considerado a proporcionalidade de 23,52% do valor total. Já para as fontes hidrelétrica com reservatório e fio d'água foi considerado respectivamente, um terço e dois terços do valor restante.</li> <li>O valor apresentado em EPE (2018b) foi convertido de Mtep para MWh.</li> </ul>								

Fonte: Diversa, 2019.

QUADRO 6 – VALORES E FONTES SECUNDÁRIAS DOS INDICADORES - FONTES NÃO RENOVÁVEIS

INDICADOR (UNIDADE)	TÉRMICA A CARVÃO COM CICLO COMBINADO	TÉRMICA A CARVÃO	TÉRMICA A ÓLEO DIESEL	TÉRMICA A ÓLEO COMBUSTÍVEL	TÉRMICA A GÁS NATURAL	TÉRMICA A GÁS NATURAL COM CICLO COMBINADO	NUCLEAR
1. Área ocupada por energia gerada (km <sup>2</sup> /TWh)	9,7	9,7*	44,7	44,7*	18,6	18,6*	2,4
<p>Os valores de todas as fontes foram coletados da figura 10.6, página 266, do relatório "Climate Change Impacts in the United States" (Melillo et al., 2014) do United States Global Change Research Program.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Foi considerado o mesmo valor para a fonte térmica a carvão para gaseificação integrada com ciclo combinado e a fonte térmica a carvão, por ausência de dados específicos para cada fonte;</li> <li>Para térmica a óleo combustível e térmica a óleo diesel foi considerado o valor da fonte petróleo, por ausência de dados específicos de cada fonte;</li> <li>Foi considerado o mesmo valor para térmica a gás natural, com ou sem ciclo combinado, por ausência de dados específicos de cada tecnologia;</li> </ul>							
2. Volume de água consumida por energia gerada (m <sup>3</sup> /MWh)	2,85	2,85	2,85	2,85	0,9*	0,9	1,135



INDICADOR (UNIDADE)	TÉRMICA A CARVÃO COM CICLO COMBINADO	TÉRMICA A CARVÃO	TÉRMICA A ÓLEO DIESEL	TÉRMICA A ÓLEO COMBUSTÍVEL	TÉRMICA A GÁS NATURAL	TÉRMICA A GÁS NATURAL COM CICLO COMBINADO	NUCLEAR
<ul style="list-style-type: none"> <li>Os valores de térmica a carvão com ciclo combinado, térmica a carvão, térmica a óleo diesel, térmica a óleo combustível, térmica a gás natural e térmica a gás natural com ciclo combinado foram obtidos por meio da série “Termoeletricidade em foco: Uso de água em termoelétricas” (IEMA, 2016). Esses valores são relativos ao sistema de resfriamento do tipo torre úmida.</li> <li>O valor referente a térmica a gás natural foi coletado por meio da fonte térmica a gás natural com ciclo combinado por meio da semelhança de fonte.</li> <li>O valor da fonte nuclear foi coletado do gráfico da figura 10.5, página 265, do relatório “Climate Change Impacts in the United States” (Melillo et al., 2014) organizado pelo <i>United States Global Change Research Program</i>. Foi considerado o sistema de resfriamento <i>once-through</i> (uma única circulação).</li> </ul>							
3. Toneladas de CO <sub>2</sub> e emitidas por energia anual gerada (tCO <sub>2</sub> e/MWh/ano)	1,099	0,873	0,762	0,774	0,532	0,367	0
<p>Os valores das fontes não renováveis, com exceção da nuclear, foram coletados da tabela 4 “Fatores de emissão de CO<sub>2</sub> para geração elétrica – Brasil”, páginas 4 e 5, do relatório “Fatores de Conversão de Energia Elétrica e Térmica em Energia Primária e em Emissões de Dióxido de Carbono a serem usados na Etiquetagem de Nível de Eficiência Energética de Edificações” do Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (Rupp; Lamberts, 2017).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>O valor da fonte térmica a carvão com ciclo combinado foi considerado como referência o valor para carvão pulverizado e, para a térmica a carvão, foi adotado o valor referente ao carvão leito fluidizado;</li> <li>O valor para a fonte de energia nuclear foi considerado zero devido sua baixa emissão de CO<sub>2</sub> no processo de geração de energia elétrica.</li> </ul>							
4. Toneladas de particulados emitidas por energia anual gerada (t/GWh/ano)	0,017	10,060	0,00274	0,011	0,022	0,022*	0

INDICADOR (UNIDADE)	TÉRMICA A CARVÃO COM CICLO COMBINADO	TÉRMICA A CARVÃO	TÉRMICA A ÓLEO DIESEL	TÉRMICA A ÓLEO COMBUSTÍVEL	TÉRMICA A GÁS NATURAL	TÉRMICA A GÁS NATURAL COM CICLO COMBINADO	NUCLEAR
<ul style="list-style-type: none"> <li>O valor para a fonte de energia nuclear foi considerado zero devido sua baixa emissão de particulados no processo de geração de energia elétrica (Tolmasquim, 2016b).</li> <li>O valor referente à fonte térmica a carvão e térmica a carvão com ciclo combinado foi coletado do documento “Cleaned-Up Coal and Clean Air: Facts About Air Quality and Coal Fired Power Plants” (Institute for Energy Research, 2017). Os valores originais foram convertidos de lb/MMBTU para t/GWh.</li> <li>Os valores referentes às fontes térmicas a óleo diesel e óleo combustível foi coletada do trabalho intitulado “Inventário de emissões das fontes estacionárias do Estado de São Paulo” (CETESB, 2009). Os valores de emissão foram retirados da tabela 3 – Fatores de Emissão por Tipo de Combustível, página 16, e o valor referente a energia anual gerada foi considerado levando em consideração o ano base de 2008 das fontes termelétricas.</li> <li>O valor referente a fonte térmica a gás natural foi coletado da monografia “Avaliação das Emissões Atmosféricas das Principais Termelétricas Brasileiras a Gás Natural – Ano Base 2013” (Coelho, 2014). O valor da emissão foi identificado por meio da avaliação de 28 usinas com 56.875,53 GW/h de geração e 1.279,74 t de emissão materiais particulados durante o ano de 2013.</li> <li>O valor referente a térmica a gás natural com ciclo combinado foi coletado por meio da fonte térmica a gás natural por meio da semelhança de fonte.</li> </ul>							
5. Toneladas de óxidos nitrosos emitidas por energia anual gerada (tNOx/GWh/ano)	0,159*	0,159	0,027	0,055	0,443	0,443*	0
<ul style="list-style-type: none"> <li>O valor para a fonte de energia nuclear foi considerado zero devido sua baixa emissão de óxidos nitrosos no processo de geração de energia elétrica (Tolmasquim, 2016).</li> <li>Os valores referentes às fontes térmicas a óleo diesel e óleo combustível foi coletada do trabalho intitulado “Inventário de emissões das fontes estacionárias do Estado de São Paulo” (CETESB, 2009). Os valores de emissão foram retirados da tabela 3 – Fatores de Emissão por Tipo de Combustível, página 16, e o valor referente a energia anual gerada foi considerado levando em consideração o ano base de 2008 das fontes termelétricas.</li> <li>O valor referente a fonte térmica a Carvão foi retirado da média das UTEs (Jorge Lacerda, Charqueadas e Candiota), do documento “Emissões de Gases do Efeito Estufa por termelétricas” (ECEN, 1999).</li> <li>O valor referente a fonte térmica a carvão com ciclo combinado foi coletado por meio da fonte térmica a carvão por meio da semelhança de fonte.</li> <li>O valor referente a fonte térmica a gás natural foi coletado da monografia “Avaliação das Emissões Atmosféricas das Principais Termelétricas Brasileiras a Gás Natural – Ano Base 2013” (Coelho, 2014). O valor da emissão foi identificado por meio da avaliação de 28 usinas com 56.875,53 GW/h de geração e 25.207 t de emissão de óxidos nitrosos durante o ano de 2013, levando em consideração um cenário com 100% das usinas utilizando injeção de água.</li> <li>O valor referente a térmica a gás natural com ciclo combinado foi coletado por meio da fonte térmica a gás natural por meio da semelhança de fonte.</li> </ul>							

INDICADOR (UNIDADE)	TÉRMICA A CARVÃO COM CICLO COMBINADO	TÉRMICA A CARVÃO	TÉRMICA A ÓLEO DIESEL	TÉRMICA A ÓLEO COMBUSTÍVEL	TÉRMICA A GÁS NATURAL	TÉRMICA A GÁS NATURAL COM CICLO COMBINADO	NUCLEAR
6. Toneladas de dióxido de enxofre por energia anual gerada (tSO <sub>2</sub> /GWh/ano)	0,767*	0,767	0,197	0,179	0,011	0,011*	0
<ul style="list-style-type: none"> <li>O valor para a fonte de energia nuclear foi considerado zero devido sua baixa emissão de enxofre no processo de geração de energia elétrica (Tolmasquim, 2016b).</li> <li>Os valores referentes às fontes térmicas a óleo diesel e óleo combustível foi coletada do trabalho intitulado “Inventário de emissões das fontes estacionárias do Estado de São Paulo” (CETESB, 2009). Os valores de emissão foram retirados da tabela 3 – Fatores de Emissão por Tipo de Combustível, página 16, e o valor referente a energia anual gerada foi considerado levando em consideração o ano base de 2008 das fontes termelétricas.</li> <li>O valor referente a fonte térmica a gás natural foi coletado da monografia “Avaliação das Emissões Atmosféricas das Principais Termelétricas Brasileiras a Gás Natural – Ano Base 2013” (Coelho, 2014). O valor da emissão foi identificado por meio da avaliação de 28 usinas com 56.875,53 GW/h de geração e 659,26 t de emissão de enxofre durante o ano de 2013.</li> <li>O valor referente a térmica a gás natural com ciclo combinado foi coletado por meio da fonte térmica a gás natural por meio da semelhança de fonte.</li> </ul> <p>O valor referente a fonte térmica a carvão foi retirado da média das UTEs (Jorge Lacerda, Charqueadas, Candiota e Cambuí) (ECEN, 1999).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>O valor referente a fonte térmica a carvão com ciclo combinado foi coletado por meio da fonte térmica a carvão por meio da semelhança de fonte.</li> </ul>							
7. Número de trabalhadores no pico da obra por capacidade instalada (nº de trabalhadores/MW)	3,54*	3,54	1,29*	1,29*	1,29	1,29*	4,522
<ul style="list-style-type: none"> <li>O valor da fonte térmica a carvão com e sem ciclo cominado foi coletado de relatório da Associação Brasileira de Carvão Mineral (Zancan, 2008);</li> <li>O valor referente a fonte térmica a carvão com ciclo combinado foi coletado por meio da fonte térmica a carvão por meio da semelhança de fonte.</li> <li>O valor da fonte nuclear foi coletado do site do Comitê Brasileiro da CIER (BRACIER, 2018);</li> <li>Os valores das demais fontes foram obtidos a partir da análise socioambiental das fontes energéticas do PDE 2026 (EPE, 2017).</li> <li>Por falta de dados disponíveis, o valor da fonte térmica a gás natural foi obtido através de contato direto com a empresa Termopernambuco, do grupo Neoenergia SA.</li> <li>O mesmo valor encontrado para a fonte gás natural foi considerado para as fontes térmicas a óleo diesel, a óleo combustível e a gás natural com ciclo combinado, em função das semelhanças entre as usinas das diferentes fontes;</li> </ul>							

INDICADOR (UNIDADE)	TÉRMICA A CARVÃO COM CICLO COMBINADO	TÉRMICA A CARVÃO	TÉRMICA A ÓLEO DIESEL	TÉRMICA A ÓLEO COMBUSTÍVEL	TÉRMICA A GÁS NATURAL	TÉRMICA A GÁS NATURAL COM CICLO COMBINADO	NUCLEAR
8. Empregos gerados, considerando toda a cadeia de produção, por capacidade instalada (empregos gerados/MW)	5,83*	5,83	1,67*	1,67*	1,67	1,67*	16,67
<ul style="list-style-type: none"> <li>Os dados foram obtidos da Figura 8 – “Índice de geração por MW instalado de diferentes tecnologias de geração de energia”, página 57, da dissertação “Energia eólica e desenvolvimento sustentável no Brasil: Estimativa da geração de empregos por meio de uma matriz insumo-produto ampliada” (Simas, 2012);</li> <li>O valor obtido para a fonte térmica a gás natural também foi considerado para as fontes térmicas a óleo diesel, a óleo combustível e a gás natural com ciclo combinado, pela pouca diferença na implantação das usinas das diferentes fontes.</li> <li>O valor obtido para a fonte térmica a carvão foi considerado para a fonte térmicas a carvão com ciclo combinado, pela pouca diferença na implantação das usinas das diferentes fontes.</li> </ul>							
9. Compensação financeira anual paga aos estados e municípios pela energia gerada (sim/não)	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Informações de acordo com a legislação nacional vigente em 2019.							
10. Fonte renovável ou não renovável	não renovável	não renovável	não renovável	não renovável	não renovável	não renovável	não renovável
11. Disponibilidade nacional do recurso energético realizável (MWh)	32.531,818*	32.531,818*	17.135,840*	4.017,690*	13.300*	13.300*	10.959,090*

INDICADOR (UNIDADE)	TÉRMICA A CARVÃO COM CICLO COMBINADO	TÉRMICA A CARVÃO	TÉRMICA A ÓLEO DIESEL	TÉRMICA A ÓLEO COMBUSTÍVEL	TÉRMICA A GÁS NATURAL	TÉRMICA A GÁS NATURAL COM CICLO COMBINADO	NUCLEAR
<p>Os dados foram obtidos na Tabela 36 – “Potencial energético brasileiro (Mtep)”, página 164, da Nota Técnica PR 04/18 (EPE, 2018b).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• O valor das fontes Hidrelétrica com Reservatório, PCH, Hidrelétrica a Fio D’Água foi considerado de acordo com o valor da fonte hidráulica pela semelhança tecnológica entre as fontes;</li> <li>• Os valores obtidos para as fontes térmica a óleo diesel e térmica a óleo combustível foram calculados a partir da proporção apresentada no gráfico 6-4 – Evolução da produção nacional dos principais derivados de petróleo (EPE, 2018b) e aplicada para o valor apresentado em EPE (2018b) para a fonte petróleo;</li> <li>• O valor apresentado em EPE (2018b) foi convertido de Mtep para MWh;</li> <li>• (*) Valores em milhões de MWh.</li> </ul>							

Fonte: Diversa, 2019.

QUADRO 7 – VALORES DE FONTES PRIMÁRIAS DOS INDICADORES – FONTES RENOVÁVEIS

INDICADOR (UNIDADE)	HIDRELÉTRICA RESERVATÓRIO	PCH (ATÉ 30 MW)	HIDRELÉTRICA FIO D’ÁGUA	SOLAR FOTOVOLTAICA	HELIOTÉRMICA CONCENTRADA	EÓLICA OFFSHORE	EÓLICA ONSHORE	BIOMASSA
1. Potencial de redução de biodiversidade de espécies nativas da fauna e flora	3	3,13	3,33	4	3,67	4,33	4	3,63
2. Possibilidade de ocorrência de Unidade de Conservação em áreas com potencial de geração	3	3	3	4	4	4	3,63	3,63
3. Potencial de redução da biodiversidade nativa da ictiofauna	2	2	2	4,33	4,33	3,44	4	4

INDICADOR (UNIDADE)	HIDRELÉTRICA RESERVATÓRIO	PCH (ATÉ 30 MW)	HIDRELÉTRICA FIO D'ÁGUA	SOLAR FOTOVOLTAICA	HELIOTÉRMICA CONCENTRADA	EÓLICA OFFSHORE	EÓLICA ONSHORE	BIOMASSA
4. Grau de transformação do ambiente lótico em lêntico por energia anual gerada (km <sup>2</sup> /MWh/ano)	2	2,63	2,33	5	5	5	5	5
5. Aumento de doenças causadas por vetores hídricos ou por alteração na qualidade da água por energia anual gerada (%/MWh/ano)	2,5	2,75	2,63	5	5	5	5	4,33
6. Aumento de doenças respiratórias por energia anual gerada (%/MWh/ano)	5	5	5	5	5	5	5	3
7. Potencial de riscos de perda de geração decorrentes de erros humanos	2	3	2,78	4	3,67	3,33	3,67	3
8. Potencial de riscos de perda de geração decorrentes de eventos naturais	2	3	3	4	3,75	3,5	3,67	3
9. Potencial de riscos de perda de geração decorrentes de eventos tecnológicos	5	3,67	5	4	3	3,25	3,38	4
10. População diretamente afetada durante a obra	2	3	2,5	3,63	3,63	5	3,38	3,13
11. População diretamente afetada durante a operação	3,33	4	4	3,88	3,88	4,67	3,5	3
12. Possibilidade de ocorrência de povos indígenas em áreas com potencial de geração realizável	1,67	3	2	4	4	4	3,88	4

INDICADOR (UNIDADE)	HIDRELÉTRICA RESERVATÓRIO	PCH (ATÉ 30 MW)	HIDRELÉTRICA FIO D'ÁGUA	SOLAR FOTOVOLTAICA	HELIOTÉRMICA CONCENTRADA	EÓLICA OFFSHORE	EÓLICA ONSHORE	BIOMASSA
13. Possibilidade de ocorrência de terras de comunidades tradicionais em áreas de potencial de geração realizável	2	3	4	4	4	5	4	4
14. Nível de dano ao patrimônio cultural, histórico e arqueológico em áreas de potencial de geração realizável	2,33	3	2,67	3,25	3,38	5	3,33	3
15. Nível de comprometimento da identidade cultural local em áreas de potencial de geração realizável	3	3	3	3,38	3,25	5	3,5	3,25
16. Incremento da atividade turística local	4	3	3,38	2,13	2,38	2	2,25	1,88
17. Incremento da atividade de comércio & serviço local	3,75	3,33	3,63	2,38	2,5	2,33	2,75	2,63
18. Potencial de menor impacto na produção agropecuária local	2	3	2,63	2	2	5	3,67	3
19. Incremento da atividade industrial local	3,5	2,63	3,33	2,63	3	2,13	2,75	3,33
20. Renda auferida por cessão da terra para geração de energia	4	2,88	3,33	3	3,25	1,25	5	3
21. ISS anual gerado na instalação por energia anual gerada (MWh/ano)	3	3,33	3,63	2,75	3	2,63	2,75	3

INDICADOR (UNIDADE)	HIDRELÉTRICA RESERVATÓRIO	PCH (ATÉ 30 MW)	HIDRELÉTRICA FIO D'ÁGUA	SOLAR FOTOVOLTAICA	HELIOTÉRMICA CONCENTRADA	EÓLICA OFFSHORE	EÓLICA ONSHORE	BIOMASSA
22. Flexibilidade para escolha do local do empreendimento	1,38	1,33	1,75	3	3,38	3,5	3,25	3,5
23. Simplicidade dos Estudos Ambientais exigidos pelos órgãos licenciadores ambientais	1,38	2,88	2	3,63	3,25	3	3,25	3,38
24. Potencial de envolvimento de menor número de órgãos intervenientes no processo de licenciamento, exemplo: IPHAN, FUNASA, FUNAI, Fundação Cultural Palmares	1	2,75	1	3	3	3	3	3,38
25. Potencial de cumprimento do prazo regulamentar para o licenciamento ambiental	1	2,88	2,13	3,5	3,5	3,25	3,5	3,13
26. Potencial de menor risco de judicialização do processo de licenciamento ambiental	1,63	2,63	2	3,75	3,63	3	3,63	3,38
27. Nível de aceitação da fonte pela população dos municípios diretamente afetados	1	3	2,63	3,88	3,75	4,38	3,5	3,63
28. Potencial de geração de benefícios locais	3,88	3	3,75	2	2,88	2,33	3,13	3
29. Grau de domínio nacional da tecnologia	4,88	5	5	3,5	2,25	1,88	3,25	4

Fonte: Diversa, 2019.





INDICADOR (UNIDADE)	TÉRMICA A CARVÃO COM CICLO COMBINADO	TÉRMICA A CARVÃO	TÉRMICA A ÓLEO DIESEL	TÉRMICA A ÓLEO COMBUSTÍVEL	TÉRMICA A GÁS NATURAL	TÉRMICA A GÁS NATURAL COM CICLO COMBINADO	NUCLEAR
10. População diretamente afetada durante a obra	3	3	3	3	3,13	3,13	4
11. População diretamente afetada durante a operação	3	3	3	3	3	3	3
12. Possibilidade de ocorrência de povos indígenas em áreas com potencial de geração realizável	4	4	4	4	4	4	4
13. Possibilidade de ocorrência de terras de comunidades tradicionais em áreas de potencial de geração realizável	4	4	4	4	4	4	4
14. Nível de dano ao patrimônio cultural, histórico e arqueológico em áreas de potencial de geração realizável	3	3	3,33	3	3	3	3,67
15. Nível de comprometimento da identidade cultural local em áreas de potencial de geração realizável	3,13	3,13	3,13	3,13	3	3	3,38
16. Incremento da atividade turística local	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
17. Incremento da atividade de comércio & serviço local	2,67	3	2,67	2,67	2,33	2,33	2
18. Potencial de menor impacto na produção agropecuária local	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3
19. Incremento da atividade industrial local	3	3	3	3	3	3	3

INDICADOR (UNIDADE)	TÉRMICA A CARVÃO COM CICLO COMBINADO	TÉRMICA A CARVÃO	TÉRMICA A ÓLEO DIESEL	TÉRMICA A ÓLEO COMBUSTÍVEL	TÉRMICA A GÁS NATURAL	TÉRMICA A GÁS NATURAL COM CICLO COMBINADO	NUCLEAR
20. Renda auferida por cessão da terra para geração de energia	3	3	3	3	3	3	1
21. ISS anual gerado na instalação por energia anual gerada (MWh/ano)	3	3	3	3	3	3	3,75
22. Flexibilidade para escolha do local do empreendimento	3,25	3,13	3,38	3,38	3,38	3,25	3
23. Simplicidade dos Estudos Ambientais exigidos pelos órgãos licenciadores ambientais	2,38	2,25	2,5	2,38	2,88	3	1
24. Potencial de envolvimento de menor número de órgãos intervenientes no processo de licenciamento, exemplo: IPHAN, FUNASA, FUNAI, Fundação Cultural Palmares	2,67	3	3,33	3	3	3	1
25. Potencial de cumprimento do prazo regulamentar para o licenciamento ambiental	2,63	2,63	2,63	2,63	3	3	1
26. Potencial de menor risco de judicialização do processo de licenciamento ambiental	2,13	2,13	2,5	2,5	3	3	1
27. Nível de aceitação da fonte pela população dos municípios diretamente afetados	2,13	2,13	2,38	2,25	3	3	1,5
28. Potencial de geração de benefícios locais	2,63	2,63	2,5	2,5	2,38	2,38	2
29. Grau de domínio nacional da tecnologia	4	4	4	4	4	4	3

Fonte: Diversa, 2019.

## RESULTADOS DOS VALORES POR DIMENSÕES E DOS ISFGS

Para se proceder com os cálculos dos índices de sustentabilidade, todos os valores obtidos – fonte primária e secundária – foram normalizados para uma mesma escala. Para os indicadores cuja quantificação foi dada por meio de escala com notas variando de 1 a 5, sendo 1 a fonte menos sustentável e 5 a fonte mais sustentável, os valores foram normalizados entre 0 a 1, considerando a nota 1 como igual a 0 (zero); a nota 5 como igual a 1 (um) e os demais valores intermediários distribuídos proporcionalmente dentro desse intervalo.

Para os valores numéricos dos indicadores obtidos por fontes secundárias, a normalização foi feita através da técnica de interpolação. O valor máximo foi considerado como 1 (um) e o menor valor foi considerado como 0 (zero). Os demais valores intermediários foram distribuídos proporcionalmente no intervalo de 0 (zero) a 1(um).

Usando-se os valores normalizados, os resultados obtidos para as quatro (4) dimensões e Índices de Sustentabilidade de Fontes de Geração de Energia Elétrica (ISFGs) são apresentados nos Quadros 9 a 12. As Figuras 1 a 7 ilustram esses resultados.

Ressalta-se que esses valores, representativos dos especialistas selecionados na pesquisa Delphi, devem substituir os valores preliminares, representativos dos pesquisadores e obtidos no capítulo de construção da matriz de indicadores, no modelo de planejamento de expansão do SIN. Os valores preliminares foram obtidos apenas para uso nos testes do modelo de expansão, enquanto os valores das dimensões e dos ISFGs apresentados neste Relatório Técnico devem ser usados no modelo de expansão desenvolvido na pesquisa para o planejamento do SIN nos próximos anos.

Como esperado, as fontes renováveis apresentaram valores superiores de Índices de Sustentabilidade de Fontes de Geração de Energia Elétrica (ISFG) em relação às fontes não renováveis. As três fontes que obtiveram os maiores valores foram: eólica offshore (0,667); PCH (0,638); fotovoltaica solar (0,634). Em seguida, vieram eólica onshore (0,615); hidrelétrica a fio d'água (0,608); heliotérmica concentrada (0,568). Biomassa apresentou o pior resultado das fontes renováveis, com o valor de ISFG de 0,506. As Dimensões que mais contribuíram para o ISFG elevado da fonte eólica offshore foram a ambiental e a social, respectivamente, 0,855 e 0,840. Para a fonte PCH, foram as Dimensões ambiental e econômica, respectivamente, 0,722 e 0,708.

No caso de hidrelétrica com reservatório, a Dimensão que mais contribuiu para seu ISFG relativamente baixo foi a social (0,334). Por outro lado, a dimensão econômica apresentou um dos maiores valores

(0,735) de todas as fontes, o que demonstra a validade da ferramenta, tendo em vista que outras pesquisas já demonstraram que as hidrelétricas contribuem com o desenvolvimento econômico local.

Para as fontes não renováveis, o maior ISFG foi o da fonte nuclear (0,459), seguida das térmicas a gás com e sem ciclo combinado (0,450 e 0,447). O menor ISFG entre as não renováveis foi o da fonte térmica a óleo combustível (0,404). As Dimensões que elevaram os valores dos ISFGs foram a ambiental (0,694 para a nuclear e 0,637 e 0,626 para as térmicas a gás com e sem ciclo combinado) e a social (0,594 para a nuclear e 0,503 e 0,503 para as térmicas a gás). No caso da dimensão econômica, para as térmicas a gás, foi identificada uma baixa contribuição para o desenvolvimento econômico local, quando comparada com outras fontes, sendo seu valor 0,219, o menor dos índices dessa dimensão entre as fontes não renováveis. A dimensão político-institucional para a fonte nuclear apresentou um valor muito baixo (0,183), o que contribuiu para reduzir o valor do ISFG dessa fonte.

QUADRO 9 – VALORES DAS DIMENSÕES E DOS ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE – FONTES RENOVÁVEIS

DIMENSÃO/ÍNDICE	Hidrelétrica Reservatório	PCH	Hidrelétrica a Fio d'água	Solar Fotovoltaica	Heliotérmica Concentrada	Eólica Offshore	Eólica Onshore	Biomassa
Ambiental	0,673	0,722	0,743	0,890	0,800	0,855	0,831	0,638
Social	0,334	0,604	0,470	0,578	0,588	0,840	0,670	0,513
Econômica	0,735	0,708	0,745	0,525	0,347	0,442	0,395	0,283
Político-Institucional	0,363	0,518	0,474	0,544	0,538	0,531	0,564	0,590
Índice de Sustentabilidade da fonte de geração de energia elétrica (ISFG)	0,526	0,638	0,608	0,634	0,568	0,667	0,615	0,506

FONTE: DIVERSA, 2019.

QUADRO 10 – VALORES DAS DIMENSÕES E DOS ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE – FONTES NÃO RENOVÁVEIS

DIMENSÃO/ÍNDICE	Térmica a Carvão com Ciclo combinado	Térmica a Carvão	Térmica a Diesel	Térmica a Óleo Combustível	Térmica a Gás Natural	Térmica a Gás Natural com Ciclo Combinado	Nuclear
Ambiental	0,494	0,483	0,540	0,527	0,626	0,637	0,694
Social	0,526	0,526	0,520	0,506	0,503	0,503	0,594
Econômica	0,269	0,274	0,225	0,225	0,219	0,219	0,364
Político-Institucional	0,441	0,442	0,413	0,356	0,440	0,439	0,183
Índice de Sustentabilidade da fonte de geração de energia elétrica (ISFG)	0,432	0,431	0,425	0,404	0,447	0,450	0,459

FONTE: DIVERSA, 2019.

QUADRO 11 - VALORES DOS TEMAS POR DIMENSÃO – FONTES RENOVÁVEIS

DIMENSÃO/ TEMA		Hidrelétrica Reservatório	PCH	Hidrelétrica Fio d'água	Solar Fotovoltaica	Heliotérmica Concentrada	Eólica Offshore	Eólica Onshore	Biomassa
		Escala	Escala	Escala	Escala	Escala	Escala	Escala	Escala
AMBIENTAL	Solo	0,655	0,750	0,762	0,848	0,828	0,896	0,726	0,329
	Água	0,542	0,589	0,566	0,972	0,767	0,935	0,958	0,714
	Ar	0,994	0,994	0,994	0,988	0,988	0,998	0,998	0,926
	Riscos	0,500	0,556	0,648	0,750	0,618	0,590	0,643	0,583
SOCIAL	População local e trabalhadores	0,378	0,813	0,451	0,407	0,434	0,644	0,671	0,258
	Terras indígenas e comunidades tradicionais	0,209	0,500	0,500	0,750	0,750	0,875	0,735	0,750
	Patrimônio cultural, histórico e arqueológico	0,416	0,500	0,459	0,579	0,579	1,000	0,604	0,531
ECONÔMICA	Geração de empregos	0,842	0,842	0,842	1,000	0,384	0,737	0,395	0,158
	Geração de renda	0,613	0,492	0,565	0,357	0,407	0,386	0,571	0,442
	Receita pública	0,750	0,791	0,829	0,219	0,250	0,204	0,219	0,250
POLÍTICO- INSTITUCIONAL	Licenciamento ambiental	0,071	0,384	0,206	0,604	0,597	0,536	0,591	0,584
	Aceitação pública	0,360	0,500	0,548	0,485	0,579	0,589	0,579	0,579
	Política energética e acordos internacionais	0,659	0,669	0,669	0,542	0,439	0,469	0,521	0,607

Fonte: Diversa, 2019.

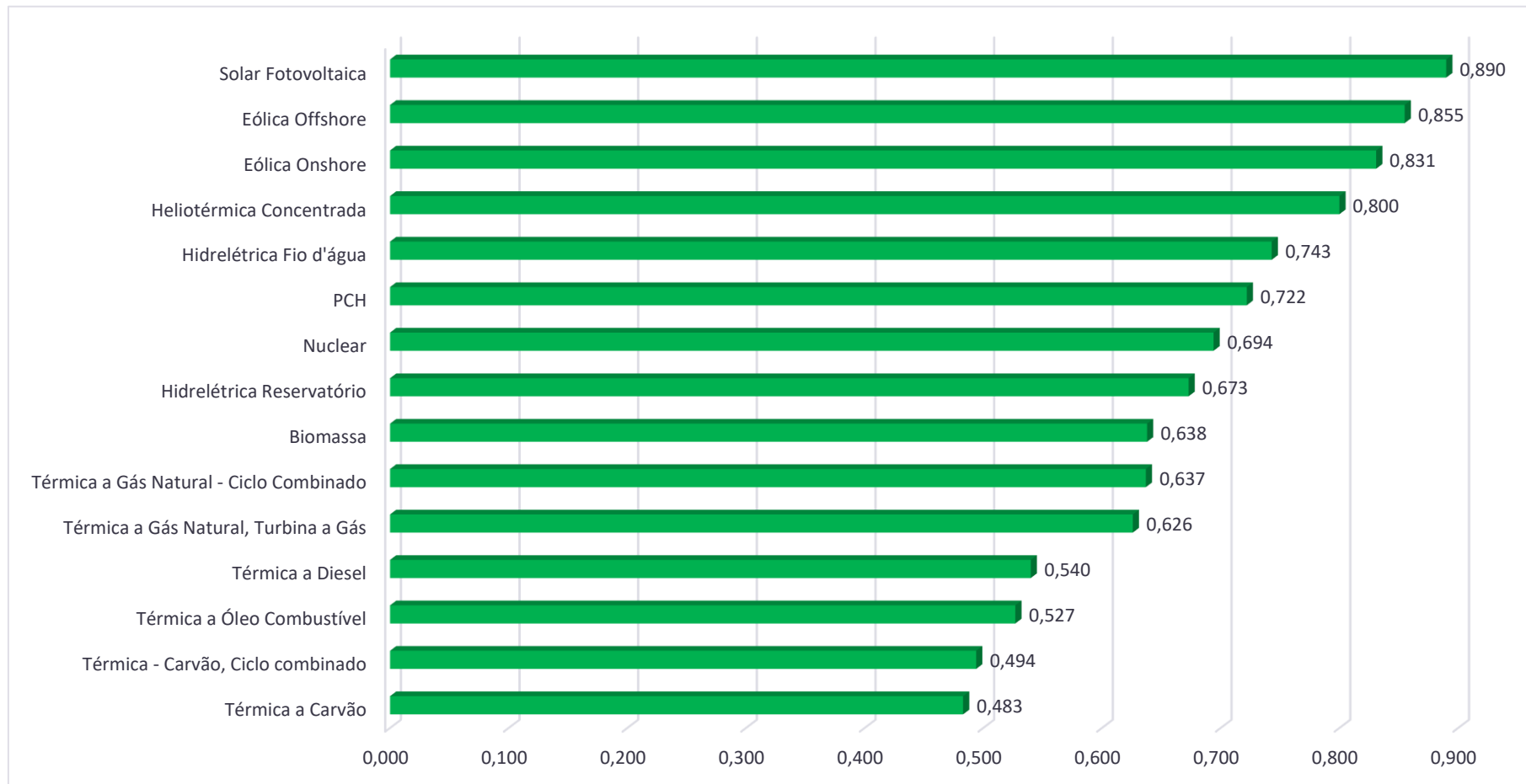
QUADRO 12 - VALORES DOS TEMAS POR DIMENSÃO – FONTES NÃO RENOVÁVEIS

DIMENSÃO/ TEMA		Térmica a Carvão, Ciclo combinado	Térmica a Carvão	Térmica a Diesel	Térmica a Óleo Combustível	Térmica a Gás Natural, Turbina a Gás	Térmica a Gás Natural - Ciclo Combinado	Nuclear
AMBIENTAL	Solo	0,796	0,796	0,672	0,672	0,749	0,759	0,732
	Água	0,463	0,463	0,500	0,458	0,728	0,686	0,701
	Ar	0,248	0,204	0,520	0,509	0,547	0,643	1,000
	Riscos	0,469	0,469	0,469	0,469	0,479	0,458	0,344
SOCIAL	População local e trabalhadores	0,312	0,312	0,252	0,252	0,260	0,260	0,401
	Terras indígenas e comunidades tradicionais	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750
	Patrimônio cultural, histórico e arqueológico	0,516	0,516	0,558	0,516	0,500	0,500	0,631
ECONÔMICA	Geração de empregos	0,131	0,131	0,000	0,000	0,000	0,000	0,474
	Geração de renda	0,425	0,442	0,425	0,425	0,408	0,408	0,275
	Receita pública	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,344
POLÍTICO- INSTITUCIONAL	Licenciamento ambiental	0,393	0,397	0,454	0,436	0,511	0,510	0,083
	Aceitação pública	0,345	0,345	0,360	0,344	0,423	0,423	0,188
	Política energética e acordos internacionais	0,583	0,583	0,425	0,290	0,385	0,385	0,278

Fonte: Diversa, 2019.

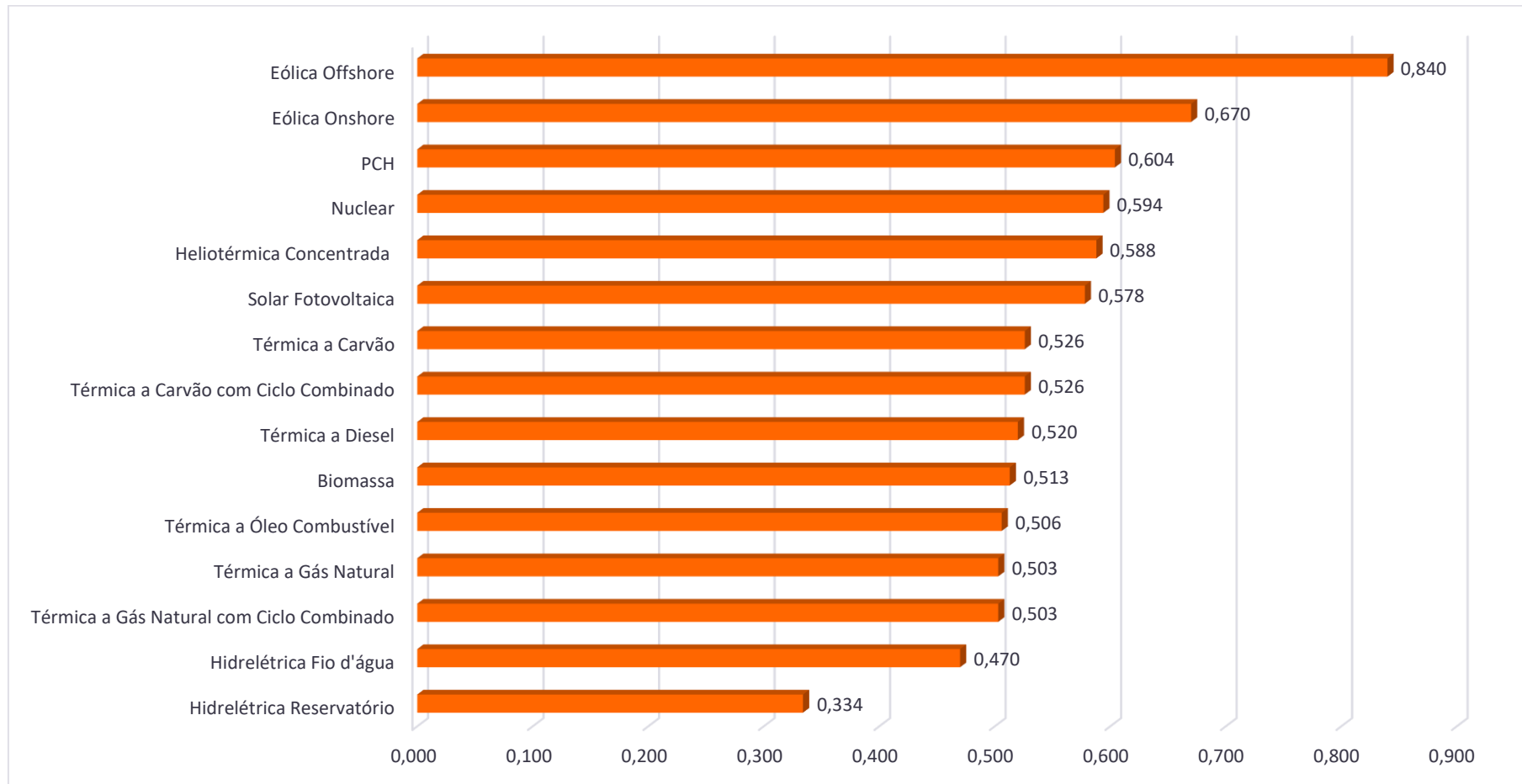


**FIGURA 1 – ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE DAS FONTES DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – DIMENSÃO AMBIENTAL**



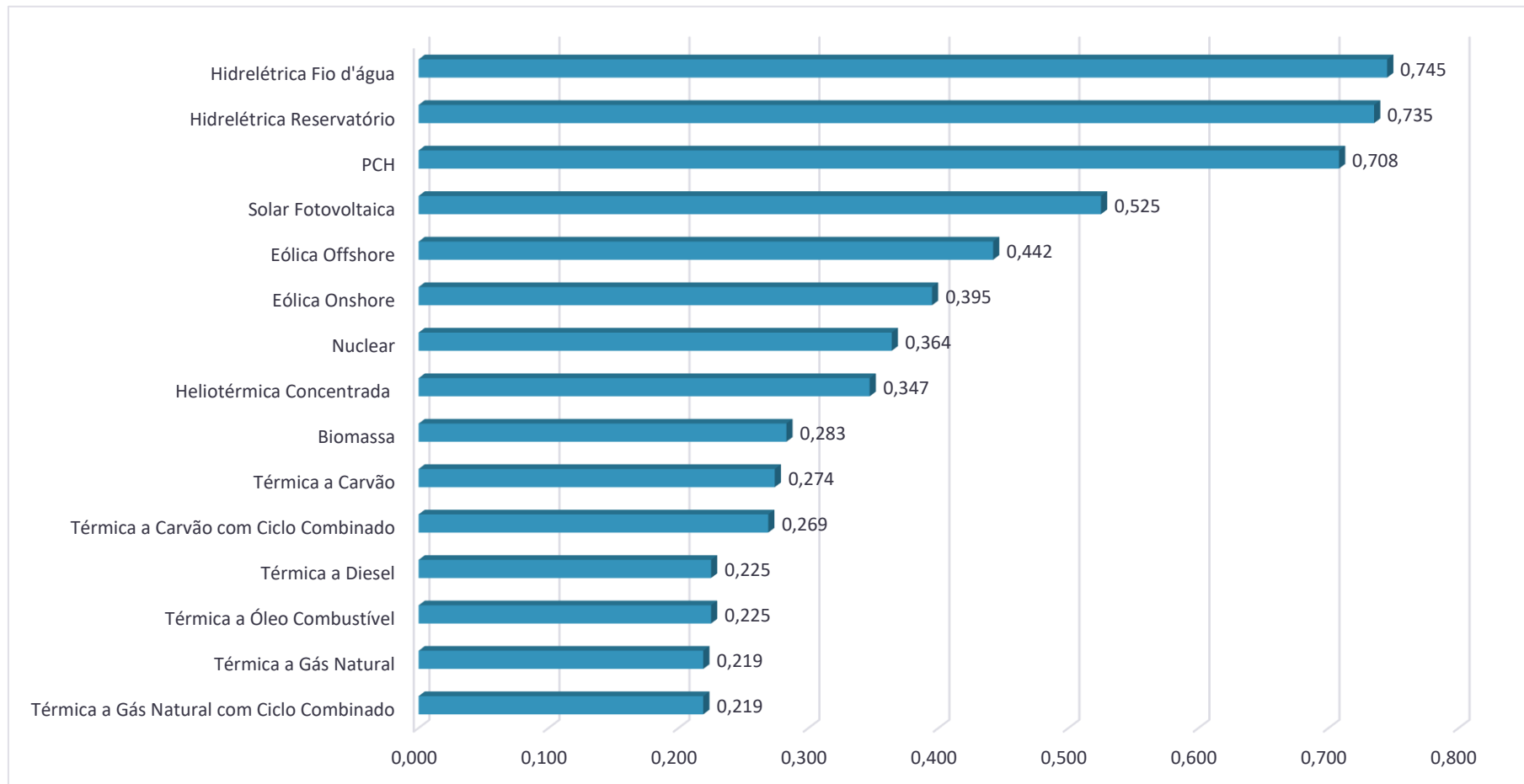
FONTE: DIVERSA, 2019.

FIGURA 2 – ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE DAS FONTES DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – DIMENSÃO SOCIAL

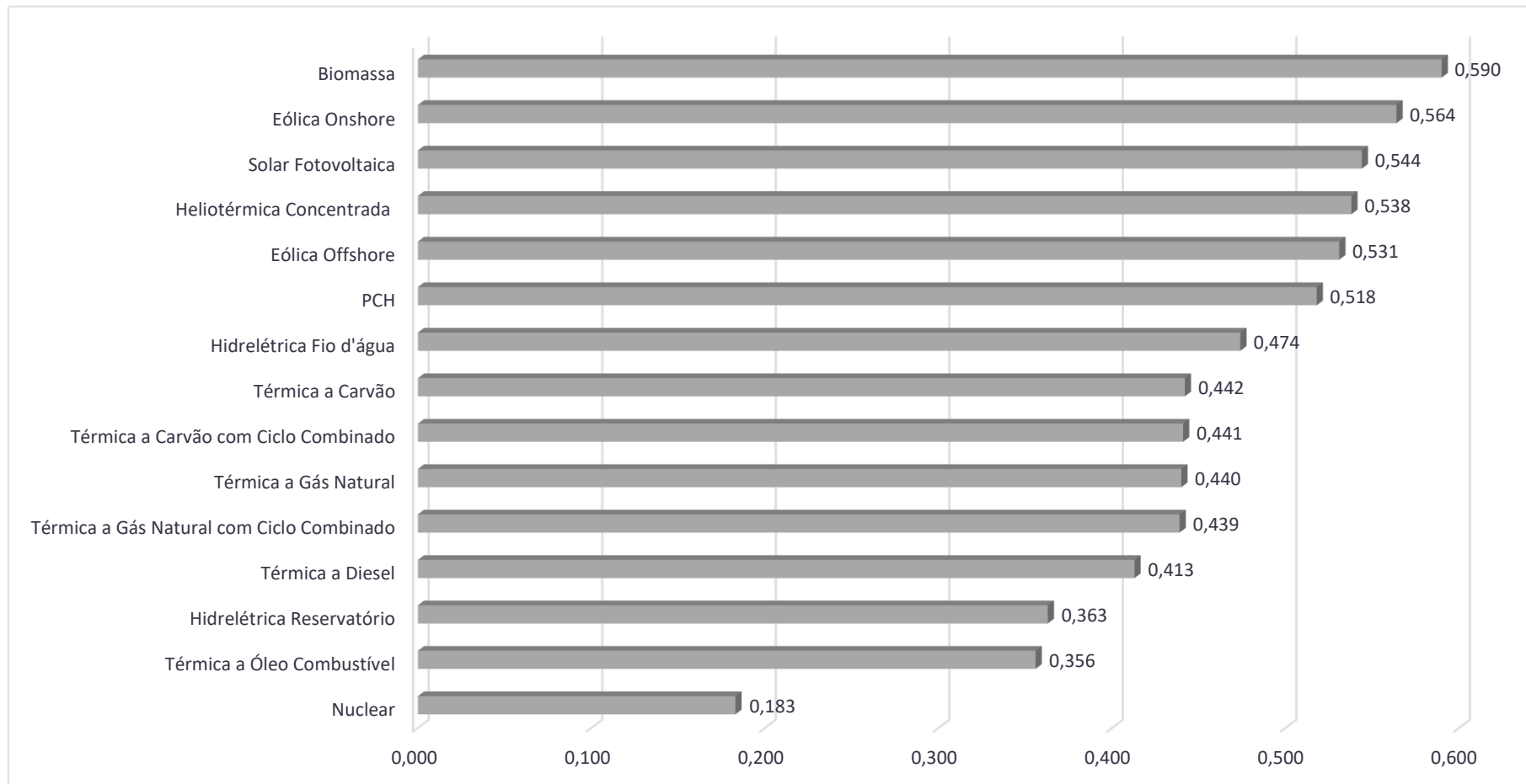


FONTE: DIVERSA, 2019.

**FIGURA 3 – ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE DAS FONTES DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – DIMENSÃO ECONÔMICA**

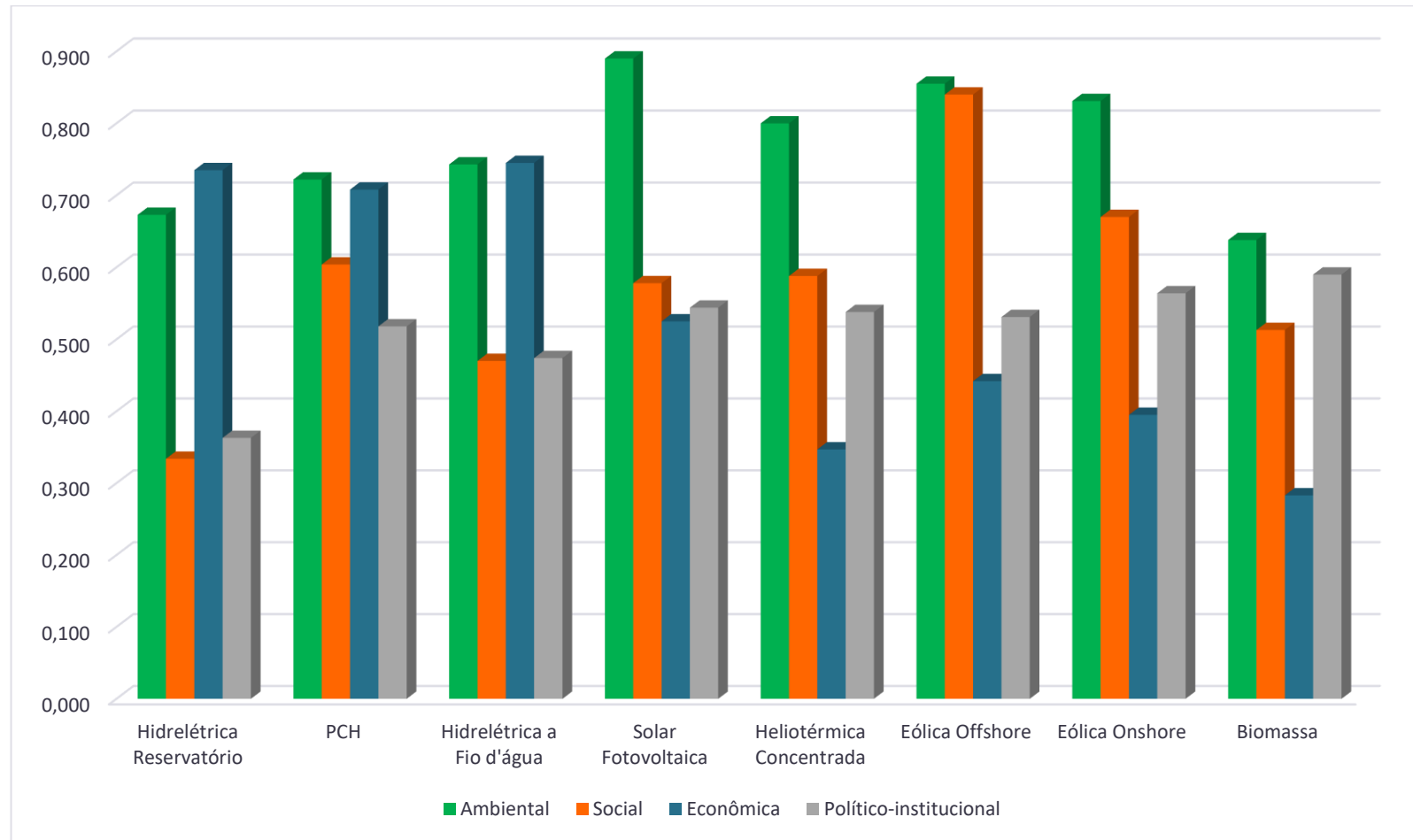


FONTE: DIVERSA, 2019.

**FIGURA 4 – ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE DAS FONTES DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – DIMENSÃO POLÍTICO-INSTITUCIONAL**

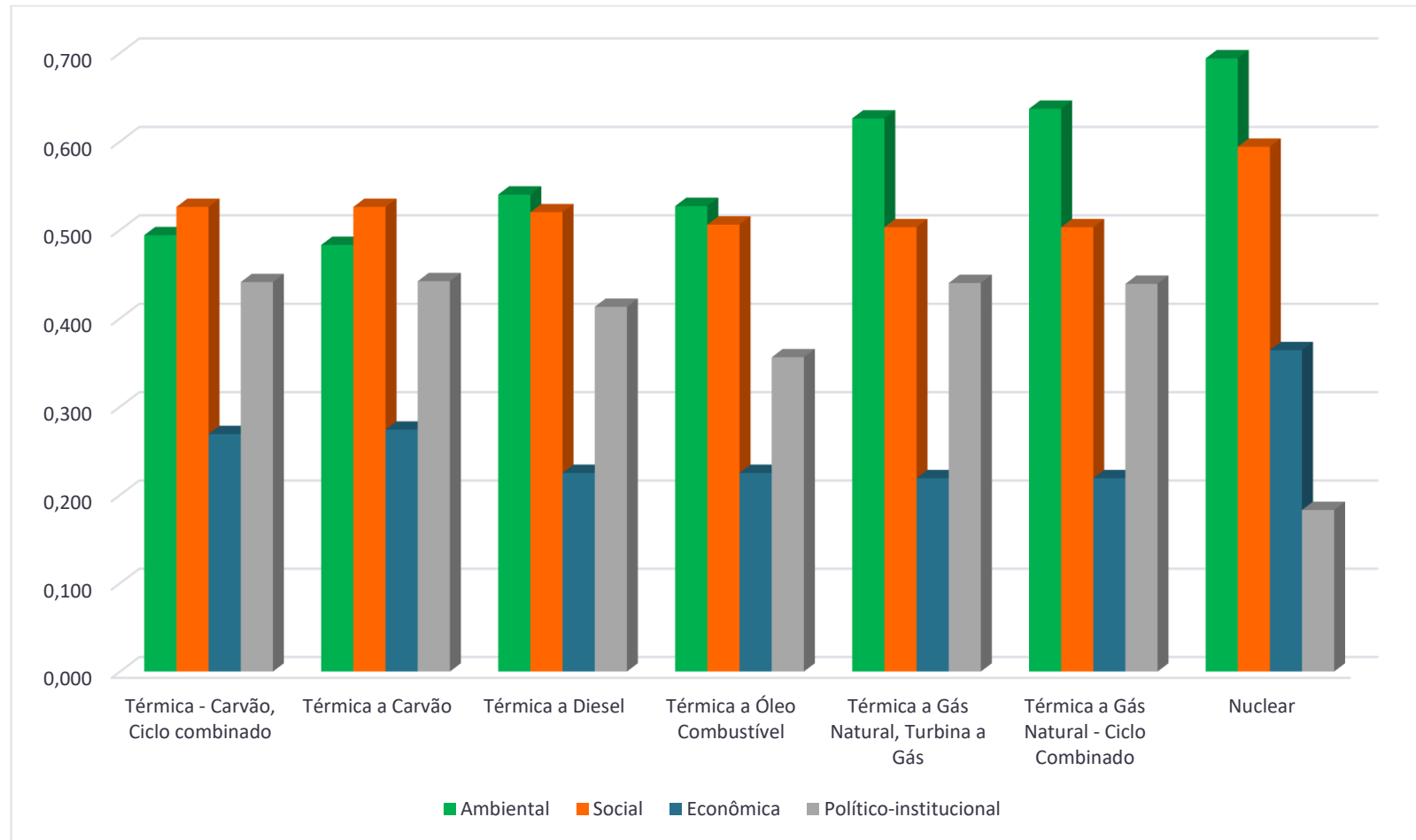
FONTE: DIVERSA, 2019.

FIGURA 5 - ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE DAS FONTES RENOVÁVEIS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - POR DIMENSÃO



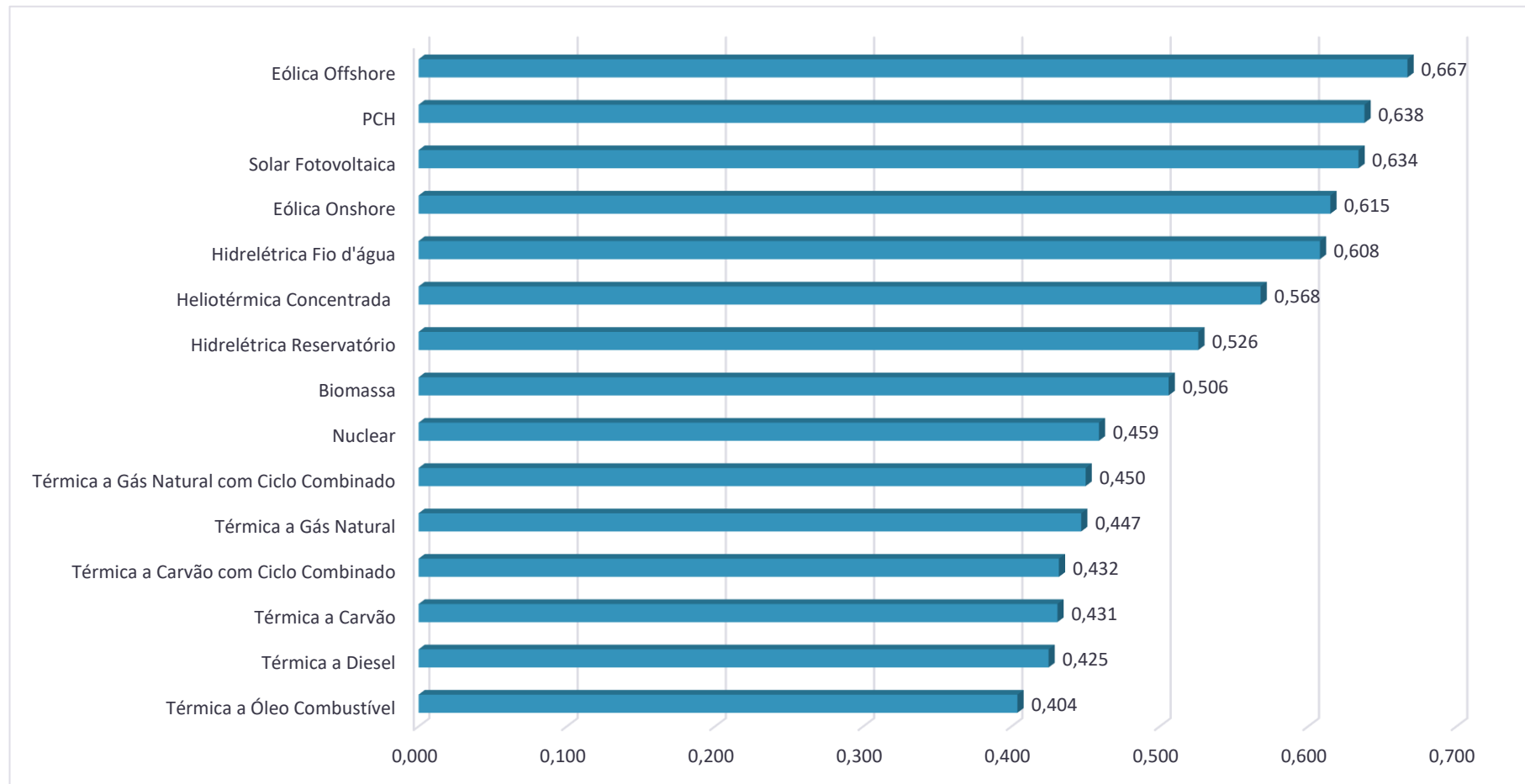
FONTE: DIVERSA, 2019.

FIGURA 6 - SUSTENTABILIDADE DAS FONTES NÃO-RENOVÁVEIS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - POR DIMENSÃO



FONTE: DIVERSA, 2019.

FIGURA 7 - ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE DAS FONTES DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (ISFG)



FONTE: DIVERSA, 2019.

## Considerações Finais

Houve uma grande dificuldade na obtenção dos indicadores oriundos de fontes secundárias para todas as fontes. Os valores apresentados nos Quadros 9 a 12 devem ser atualizados com frequência, tendo em vista a evolução tecnológica das várias fontes de geração de energia elétrica. Embora tenham uma “vida útil” mais longa, mesmo os valores numéricos dos indicadores obtidos por pesquisa Delphi devem ser revistos, pelo menos, a cada ciclo de planejamento de longo prazo, tendo em vista a mudança de percepção dos especialistas em relação à cada opção tecnológica de geração de energia elétrica. Quando usados no Plano Decenal de Energia (PDE), recomenda-se que esses valores sejam atualizados a cada dois (2) anos.

Os valores das Dimensões e dos Índices de Sustentabilidade de Geração de Energia Elétrica (ISFG) mostram que as fontes renováveis têm um desempenho melhor em termos de sustentabilidade do que as fontes não renováveis. Entre as renováveis, destacam-se as fontes, eólica offshore, PCH, solar fotovoltaica e eólica onshore, sendo as quatro fontes de geração que apresentaram os maiores ISFGs, respectivamente. Dentre essas fontes, a que apresentou o menor ISFG foi a fonte biomassa. As Dimensões que mais contribuíram para baixar esse valor foram a econômica e social. Dos temas da Dimensão Social, os mais baixos foram patrimônio cultural, histórico e arqueológico e população local e trabalhadores. Com relação à Dimensão Econômica, os valores mais baixos foram geração de empregos e receita pública.

Entre as fontes de geração de energia não renováveis, destacam-se a nuclear, as térmicas a gás (com e sem ciclo combinado) e a térmica a carvão com ciclo combinado, que apresentaram os quatro maiores ISFGs, respectivamente. Ressalta-se que todas as notas das fontes não renováveis estão abaixo das apresentadas nas fontes de energia renovável, confirmando a tendência de que as fontes renováveis são mais sustentáveis que as não renováveis.

Destaca-se que, ao analisar as quatro dimensões, a maior nota entre todas foi a da Dimensão Ambiental para a fonte solar fotovoltaica (0,890), enquanto que a menor nota, entre todas as dimensões, foi a da Dimensão Político-Institucional para a fonte nuclear (0,183). Os temas que mais contribuíram para o elevado valor da Dimensão Ambiental da fonte solar fotovoltaica foram ar e água, enquanto para o reduzido valor da Dimensão Político-Institucional da fonte nuclear foram licenciamento ambiental e aceitação pública. Esses resultados mostram a robustez da matriz de sustentabilidade de fontes de geração de energia elétrica.

Finalmente, destaca-se que os valores das Dimensões e dos ISFGs apresentados neste relatório podem ser usados no modelo de expansão da geração do SIN com total confiabilidade, uma vez que



os indicadores foram validados e seus valores primários foram obtidos de especialistas por meio de uma pesquisa Delphi e os secundários de literatura especializada de fontes atualizadas.

## EQUIPE

O Quadro 13 apresenta a equipe responsável elaboração deste documento.

**QUADRO 13 – EQUIPE DE PESQUISADORES RESPONSÁVEL PELA ELABORAÇÃO DO DOCUMENTO**

<b>NOME COMPLETO</b>	<b>TITULAÇÃO</b>	<b>FUNÇÃO</b>	<b>EMPRESA</b>
Ricardo Cavalcanti Furtado	PhD	Responsável Técnico/ Pesquisador	Diversa
Maria de Fátima Ribeiro de Gusmão Furtado	PhD	Pesquisador	Diversa
Iony Patriota de Siqueira	Doutor	Pesquisador	Diversa
Cynthia Carneiro de Albuquerque Suassuna	Doutor	Pesquisador	Diversa
Flávia Gama Soares	Mestre	Pesquisador	Diversa
Elena Florissi	Mestre	Pesquisador	Diversa
Ronaldo Camara Cavalcanti	Especialista	Pesquisador	Diversa
Marcelo de Gusmão Furtado	Especialista	Pesquisador	Diversa
Mariana Aragão da Silva	Graduanda em Gestão Ambiental	Estagiária	Diversa

FONTE: DIVERSA, 2019.

## REFERÊNCIAS

BRACIER. Pico da mão de obra em Angra. **Comitê Brasileiro da CIER**, 2018. Disponível em: <<https://www.bracier.org.br/pesquisa2018.html>>. Acesso em: 21 nov 2018.

CB3E. **Fatores de Conversão de Energia Elétrica e Térmica em Energia Primária e em Emissões de Dióxido de Carbono a serem usados na Etiquetagem de Nível de Eficiência Energética de Edificações**. CB3E - Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações, UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Florianópolis, p. 19. 2017.

CETESB. **Inventário de emissões das fontes estacionárias do estado de São Paulo**. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. São Paulo, p. 53. 2009.

COELHO, S. D. O. **Avaliação das Emissões Atmosféricas das Principais Termelétricas Brasileiras a Gás Natural - Ano Base 2013**. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, p. 115. 2014.

ENERGIA, E. E. Emissões de Gases do Efeito Estufa por termelétricas. **Economia e Energia**, Dezembro 1999. Disponível em: <<http://ecen.com/eee17/emisterm.htm#1.%20Introdu%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 2019.

EPE. **Análise Socioambiental das Fontes energéticas do PDE 2026**. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, p. 66. 2017.

EPE. **Potencial dos recursos energéticos no horizonte 2050**. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, p. 186. 2018a.

EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2027**. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, p. 345. 2018b.

IEMA - INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. **Uso de água em termoelétricas**. Instituto de Energia e Meio Ambiente. São Paulo, p. 33. 2016.

INSTITUTE FOR ENERGY RESEARCH. **Cleaned-Up Coal and Clean Air: Facts About Air Quality and Coal-Fires Power Plants**. Institute for energy research. Washington, p. 10. 2017.

LEME, R. M. **Estimativa das emissões de poluentes atmosféricos e uso de água na produção de eletricidade com biomassa de cana-de-açúcar**. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, p. 160. 2005.

LOPES, F. D. S.; BARBOZA, K.; SILVEIRA, J. Energia da Biomassa. **Bolsista de Valor**, Rio de Janeiro, v. 3, 2013. ISSN 2179-6971. Disponível em: <<http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/BolsistaDeValor/article/viewFile/6722/4424>>. Acesso em: 19 nov 2018.

MELILLO, J. M. . T. ( . C. ). R. A. G. W. Y. E. **Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment**. U.S. Global Change Research Program. Washington DC, p. 841. 2014. (ISBN 9780160924026).

PSR. **Custos e Benefícios das fontes de energia elétrica – Caderno de subsídios e custo de emissão de CO2**. PSR Inc. Rio de Janeiro, p. 79. 2018.

SIMAS, M. S. **Energia eólica e desenvolvimento sustentável no Brasil: Estimativa da geração de empregos por meio de uma matriz insumo-produto ampliada.** Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 220. 2012.

SOLAR RESERVE. Global Project - CSP. **Solar Reserve - Solar Energy with Integrated Storage**, 2018. Disponível em: <<https://www.solarreserve.com/en>>. Acesso em: 17 nov 2018.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Termelétrica: Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear.** Rio de Janeiro: EPE, 2016.

ZANCAN, F. L. **O Carvão Mineral Brasileiro e a Geração Termelétrica.** Associação Brasileira de Carvão Mineral. Rio de Janeiro, p. 43. 2008.