

## CONTRIBUIÇÃO DA FONTE SOLAR FOTOVOLTAICA NA MATRIZ ELÉTRICA DO ESTADO DO PARANÁ NO HORIZONTE 2050 CIEI&EXPO 2016

Lucas César Lourenço de Moraes <sup>1</sup>, João Nicolau Gaio <sup>2</sup>, Jair Urbanetz Junior <sup>3</sup>, Gerson Máximo Tiepolo <sup>4</sup>, Ênio Bueno Pereira <sup>5</sup>, Silvia Vitorino Pereira <sup>6</sup>, Alisson Rodrigues Alves <sup>7</sup>

<sup>1</sup>UTFPR, Curitiba, Brasil, lclm.moraes@gmail.com

<sup>2</sup>UTFPR, Curitiba, Brasil, nicolau\_gaga@hotmail.com

<sup>3</sup>UTFPR, Curitiba, Brasil, urbanetz@utfpr.edu.br

<sup>4</sup>UTFPR, Curitiba, Brasil, tiepolo@utfpr.edu.br

<sup>5</sup>INPE, São José dos Campos, Brasil, enio.pereira@inpe.br

<sup>6</sup>INPE, São José dos Campos, Brasil, silvia.pereira@inpe.br

<sup>7</sup>PTI, Foz do Iguaçu, Brasil, alisson@pti.org.br

**Resumo:** Atualmente as hidroelétricas contribuem com uma grande porcentagem na geração de energia elétrica no País, mas com as dificuldades de expansão dessa fonte em decorrência dos impactos ambientais e sociais. Com isto, se faz necessária a utilização de outras fontes energéticas para a geração de energia elétrica, principalmente aquelas provenientes de fontes renováveis de energia como a biomassa, eólica, e a solar fotovoltaica que apresenta com ótimo potencial, principalmente quando se analisa a demanda de energia elétrica prevista no horizonte 2050. No estado do Paraná também se observa este mesmo crescimento na demanda, e devido ao fato do estado possuir altos índices de irradiação solar, é apresentado neste trabalho a viabilidade da inserção da fonte solar fotovoltaica na matriz elétrica do estado ao longo das próximas décadas. A partir dos estudos já existentes de irradiação solar e de produtividade dos sistemas fotovoltaicos no estado do Paraná, verifica-se que é viável a inserção de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFVCR) de forma gradual, ao longo dos próximos anos, visando suprir esta demanda adicional.

**Palavras chave:** Energia Solar Fotovoltaica, Matriz Elétrica, Paraná, Horizonte 2050

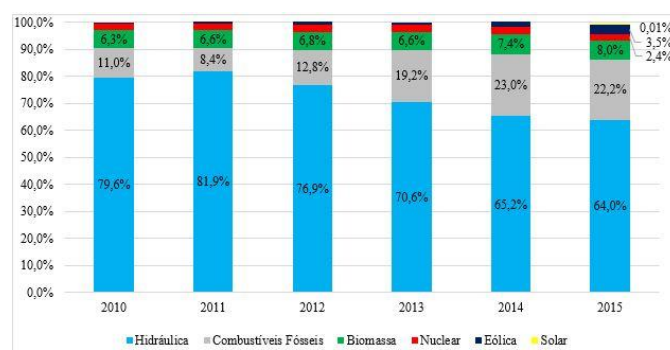
### 1. INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje, as hidroelétricas contribuem com uma grande porcentagem na geração de energia elétrica no país. Entretanto, a contribuição desta fonte na matriz elétrica nacional tende a diminuir devido aos impactos ambientais e sociais, ocasionados em função da formação dos seus reservatórios [1]. Observa-se ainda o aumento da participação das fontes fósseis na geração de energia elétrica através das termelétricas.

Com isto, há a necessidade de estudos para conhecimento da evolução da demanda de energia elétrica no Brasil, em um horizonte de longo prazo, e em específico para o estado do Paraná, com o intuito de fornecer informações importantes para uma melhor gestão da energia no estado com o menor impacto possível ao seu meio ambiente. Diante deste cenário, há a necessidade de investimentos em outras fontes de energia além das hidrotérmicas, como as fontes renováveis de energia não-hidro, em destaque a solar fotovoltaica, aliado a uma política pública favorável à essa implantação visto que o Brasil e o Paraná possuem cenários favoráveis para a disseminação deste tipo de fonte nas suas matrizes elétricas.

Observa-se na Figura 1, que nos últimos anos houve uma alteração na composição na matriz elétrica nacional, além da redução da participação das hidrelétricas e aumento das termelétricas a combustíveis fósseis, passa a figurar neste cenário as renováveis não-hidro, com destaque para a

biomassa e a eólica, sendo que no último ano começa a aparecer a energia solar fotovoltaica, porém ainda de forma incipiente.



**Fig. 1. Porcentagem de participação na geração de energia elétrica por tipo de fonte – Brasil**

Fonte: Adaptado de [2] [3] [4] [5] [6] [7]

Devido a limitação na expansão das hidroelétricas e do alto custo de operação das termelétricas, há a necessidade de um planejamento referente à evolução da demanda de energia elétrica no Brasil e no estado do Paraná para os próximos anos, em especial no horizonte 2050.

## 2. MÉTODOS

O Brasil terá um aumento em seu consumo de energia elétrica para os próximos anos, necessitando de maior oferta de energia para abastecer as unidades consumidoras. A projeção da demanda de energia elétrica do país para 2050 será de 1.624 TWh [8], muito superior aos 581,48 TWh apresentados em 2015 [7].

Com esses dados de consumo de energia elétrica do Brasil, pôde-se estimar para o Paraná um crescimento no consumo de energia elétrica no horizonte de 2050. Foi observado, a partir do histórico paranaense do consumo de energia elétrica entre 2004 e 2014, a participação de demanda do estado em relação ao Brasil que foi de aproximadamente 4,95%, como é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1. Consumo Total de Energia Elétrica no Paraná e Brasil (2004 – 2014)

Fonte: Adaptado de [9] [10] [11] [12] [13] [14] [15] [16] [17] [18] [19]

Anos	Consumo Total de Energia Elétrica (GWh)		% Participação do Paraná em relação ao Brasil
	Paraná	Brasil	
2004	18.162	387.452	4,69%
2006	21.079	419.383	5,03%
2007	22.338	445.149	5,02%
2008	23.600	463.120	5,10%
2009	23.762	466.158	5,10%
2010	25.165	515.799	4,88%
2011	25.845	531.758	4,86%
2012	26.989	552.498	4,88%
2013	28.118	570.025	4,93%
2014	29.469	590.479	4,99%
		Média	4,95%

Levando-se em conta a demanda prevista para o Brasil até 2050, e partindo da demanda em 2010, foi feita uma projeção da demanda de energia elétrica para o estado do Paraná entre 2020 e 2050, onde haverá um crescimento previsto 3 vezes maior em relação a demanda de 2014, com demanda de energia elétrica estimada de 80,34 TWh como mostrado na Figura 2.

Visando atender a este incremento de demanda através da fonte solar fotovoltaica, serão utilizados estudos de produtividade já realizados, para avaliar a inserção de SFVCR para a contribuição na matriz elétrica do estado do Paraná ao longo dos próximos anos.

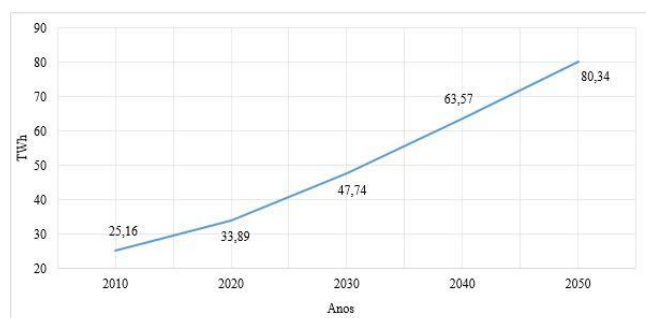


Figura 2. Projeção de demanda de energia elétrica no Paraná (TWh)  
Fonte: Adaptado de [14] [8]

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

No estado do Paraná, do mesmo modo como no Brasil, a maior fonte geradora de energia elétrica é a fonte hidráulica, que representa aproximadamente 90% da capacidade instalada total do estado [20]. Embora esta fonte seja predominante no estado e no país, os impactos sociais e ambientais que ocorrem com a sua implantação dificultam a sua expansão na matriz elétrica.

Uma alternativa para suprir a demanda futura de energia elétrica é através da energia solar. A implantação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR), é uma fonte geradora de energia elétrica que pode ser implantada de forma distribuída, com impactos ambientais e sociais reduzidos, gerando energia de forma limpa e renovável [21].

Estudos recentes mostram que o estado do Paraná possui valores de produtividade e de irradiação elevados, conforme a Figura 3, o que reforça a ideia do potencial de implantação de SFVCR no estado.

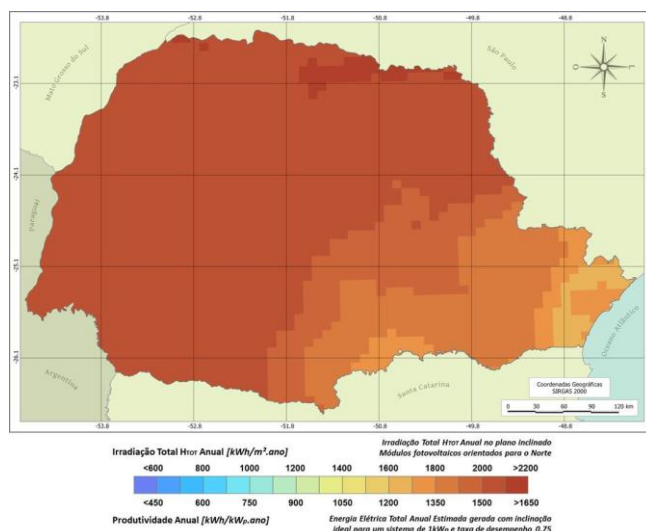


Fig. 3. Mapa Fotovoltaico do Estado do Paraná - Total Anual (Plano Inclinado -  $H_{TOT}$ ).  
Fonte: [1]

O Paraná possui irradiação total ( $H_{TOT}$ ) anual média no plano inclinado de 1.986 kWh/m e uma produtividade total anual média no plano inclinado de 1490 kWh/kWp, para uma taxa de desempenho (TD) de 75%. Se for comparado em termos de produtividade com países da Europa, possui média inferior a Malta e Chipre (duas ilhas localizadas ao Sul da Europa), média praticamente igual a de Portugal e Espanha, e superior aos demais países da União Europeia, sendo aproximadamente 59% superior a produtividade média da Alemanha, a qual foi líder em potência instalada de SFVCR até 2014 [21].

Em termos globais a capacidade instalada de SFVCR atingiu em 2015 cerca de 227 GWp, sendo 44 GWp implantados na China, seguido da Alemanha com 39,7 GWp [22].

O Paraná até setembro de 2016 possui aproximadamente 2,1 MWp de capacidade instalada [23], sendo que em 2011 foi instalado o SFVCR do Escritório Verde da UTFPR com 2,1 kWp (primeiro SFVCR implantado no estado antes da regulamentação 482 da ANEEL), e em 2012 houve a implantação de 8,64 kWp na empresa ELCO (primeiro SFVCR implantado após regulamentação 482 da ANEEL) [24] [25].

Visto o valor médio de produtividade do estado, da demanda prevista de 80,34 TWh para o ano de 2050, e do consumo de energia elétrica do ano de 2014 de 29,47 TWh, foi realizado neste trabalho a análise da quantidade de SFVCR necessária para suprir este acréscimo na demanda de energia elétrica no Paraná, valor estimado de 50,87 TWh até o ano de 2050.

Com base nestas premissas, foi verificado que serão necessários 34,14 GWp em SFVCR a fim de suprir o acréscimo da demanda prevista para o ano de 2050 no território paranaense. Na Figura 4 é apresentado a quantidade de potência necessária a ser adicionada.

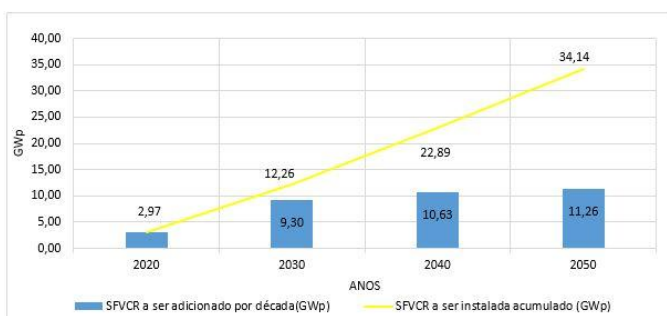


Fig. 4. Potencial de SFVCR a ser instalado no Paraná no horizonte 2050 (GWp)

Fonte: Adaptado [18] [7] [26]

#### 4. CONCLUSÃO

Observando a participação por tipo de fonte na geração de energia elétrica no Brasil entre 2010 e 2015, observa-se uma diminuição na participação da fonte hidráulica, e um crescimento nas fontes renováveis não-hidro como eólica e

biomassa, sendo que a solar fotovoltaica finalmente aparece no ano de 2015 na matriz elétrica brasileira.

Em virtude do crescimento da demanda de energia elétrica prevista no Brasil no horizonte de 2050, onde a mesma deverá triplicar em relação aos valores apresentados em 2015, foi feito um estudo de projeção da demanda de energia elétrica para o estado do Paraná.

De acordo com os anos analisados entre 2004 e 2014, o Paraná tem apresentado uma participação de aproximadamente 4,95% em relação a demanda total do Brasil, o que deverá representar em 2050 uma demanda de aproximadamente 80,34 TWh, ou seja, haverá a necessidade de suprir uma demanda de 50,87 TWh em relação ao ano de 2014.

Dentro deste contexto, o incentivo a aplicação de novas fontes de energia elétrica, como a solar fotovoltaica, para o atendimento a este acréscimo de demanda é uma ótima alternativa, visto que pesquisas realizadas evidenciam valores elevados de irradiação e produtividade no Paraná, muito maiores aos encontrados na maior parte da Europa, o que evidencia ainda mais a sua utilização como contribuição da matriz elétrica do estado.

Dentro desta perspectiva, foram estimados valores a serem adicionados na matriz elétrica do estado através da fonte solar fotovoltaica para atendimento a demanda prevista para 2050. Considerando a produtividade média apresentada no estado, foi estimada a capacidade instalada a ser adicionada de SFVCR em 34,14 GWp.

Isso demonstra a viabilidade de suprir a demanda de energia elétrica no Paraná no horizonte 2050 de forma distribuída, através de micro e mini geração, como também através de usinas fotovoltaicas. Para isto, se faz necessário a criação de políticas públicas para o incentivo e disseminação desta fonte no estado.

#### 4. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e a UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) pelo apoio e infra-estrutura oferecidas, e a ITAIPU Binacional através do PTI (Parque Tecnológico ITAIPU) pelo apoio e financiamento dos recursos para realização destas pesquisas.

#### 5. REFERÊNCIAS

- [1] Tiepolo, G. M., Urbanetz JR, J., Pereira, E. B., Pereira, S. V., ALVES, A. R. Potencial de Geração de Energia Elétrica Através de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede no Estado do Paraná – Resultados Parciais. CBENS, Belo Horizonte, 2016;
- [2] MME, Ministério de Minas e Energias. “Balço Energético Nacional 2011: Ano Base 2010”, Ano 2011 disponível em <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2011.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2011.pdf)>. 2011
- [3] MME, Ministério de Minas e Energias. “Balço Energético Nacional 2012: Ano Base 2011”, Ano 2012 disponível em <[https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final\\_2012\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2012_Web.pdf)>. 2012

- [4] MME, Ministério de Minas e Energias. “Balanço Energético Nacional 2013: Ano Base 2012”, 2013, disponível em <[https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final\\_2013\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2013_Web.pdf)>. 2013
- [5] MME, Ministério de Minas e Energias. “Balanço Energético Nacional 2014: Ano base 2013 - Relatório Síntese”, 2014, Disponível em <[https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final\\_2014\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2014_Web.pdf)>. 2014
- [6] MME, Ministério de Minas e Energias. “Balanço Energético Nacional 2015: Ano base 2014 - Relatório Síntese” Ano 2015, Disponível em <[https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final\\_2015\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2015_Web.pdf)>. 2015
- [7] MME, Ministério de Minas e Energias. “Balanço Energético Nacional 2016: Ano base 2015 - Relatório Síntese” Ano 2016, Disponível em <[https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final\\_2016\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2016_Web.pdf)>. 2016.
- [8] EPE, Empresa de Pesquisa Energética, "Série ESTUDOS DA DEMANDA DE ENERGIA NOTA TÉCNICA DEA 13/14. Demanda de Energia 2050" Ano 2014. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/DEA%2013-14%20Demanda%20de%20Energia%202050.pdf>>
- [9] IPARDES, Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. “Anuário Estatístico do Estado do Paraná – 2004 - Infraestrutura - 2.1- Energia - 2.1.1 Consumo e número de consumidores de energia elétrica, segundo categorias e os municípios do Paraná - 2004”. Disponível em [http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario\\_2004/index.html](http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario_2004/index.html). 2004
- [10] IPARDES, Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. “Anuário Estatístico do Estado do Paraná – 2006 - Infraestrutura - 2.1- Energia - 2.1.1 Consumo e número de consumidores de energia elétrica, segundo categorias e os municípios do Paraná - 2006”. Disponível em [http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario\\_2006/index.html](http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario_2006/index.html). 2006
- [11] IPARDES, Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. “Anuário Estatístico do Estado do Paraná – 2007 - Infraestrutura - 2.1- Energia - 2.1.1 Consumo e número de consumidores de energia elétrica, segundo categorias e os municípios do Paraná - 2007”. Disponível em [http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario\\_2007/index.html](http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario_2007/index.html). 2007
- [12] IPARDES, Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. “Anuário Estatístico do Estado do Paraná – 2008 - Infraestrutura - 2.1- Energia - 2.1.1 Consumo e número de consumidores de energia elétrica, segundo categorias e os municípios do Paraná - 2008”. Disponível em [http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario\\_2008/index.html](http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario_2008/index.html). 2008
- [13] IPARDES, Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. “Anuário Estatístico do Estado do Paraná – 2009 - Infraestrutura - 2.1- Energia - 2.1.1 Consumo e número de consumidores de energia elétrica, segundo categorias e os municípios do Paraná - 2009”. Disponível em [http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario\\_2009/index.html](http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario_2009/index.html). 2009
- [14] IPARDES, Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. “Anuário Estatístico do Estado do Paraná – 2011 - Infraestrutura - 2.1- Energia - 2.1.1 Consumo e número de consumidores de energia elétrica, segundo categorias e os municípios do Paraná - 2010”. Disponível em [http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario\\_2010/index.html](http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario_2010/index.html). 2010
- [15] IPARDES, Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. “Anuário Estatístico do Estado do Paraná – 2011 - Infraestrutura - 2.1- Energia - 2.1.1 Consumo e número de consumidores de energia elétrica, segundo categorias e os municípios do Paraná - 2011”. Disponível em [http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario\\_2011/index.html](http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario_2011/index.html). 2011
- [16] IPARDES, Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. “Anuário Estatístico do Estado do Paraná – 2012 - Infraestrutura - 2.1- Energia - 2.1.1 Consumo e número de consumidores de energia elétrica, segundo categorias e os municípios do Paraná - 2012”. Disponível em [http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario\\_2012/index.html](http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario_2012/index.html). 2012.
- [17] IPARDES, Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. “Anuário Estatístico do Estado do Paraná – 2013 - Infraestrutura - 2.1- Energia - 2.1.1 Consumo e número de consumidores de energia elétrica, segundo categorias e os municípios do Paraná - 2013”. Disponível em [http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario\\_2013/index.html](http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario_2013/index.html). 2013.
- [18] IPARDES, Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. “Anuário Estatístico do Estado do Paraná – 2014”. Disponível em [http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario\\_2014/index.html](http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario_2014/index.html). 2014.
- [19] MME, Ministério de Minas e Energias. “Séries Históricas Completas”, Disponível em <<https://ben.epe.gov.br/BENSerieCompleta.aspx>> 2016.
- [20] ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. "Banco de Informação de Geração - BIG - Capacidade de Geração no Estado", Atualizado em 29/03/2016, Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/ResumoEstadual/CapacidadeEstado.cfm?cmbEstados=PR:PARAN%C1>. 2016.
- [21] Tiepolo, G. M., Urbanetz Jr, J., Pereira, E. B., Pereira, S. V., Alves, A. R. Comparação do potencial fotovoltaico do estado do Paraná com outros estados e Europa – Resultados Parciais CBENS, Belo Horizonte, 2016;
- [22] REN21, “Renewable 2015 – Global Status Report”, 2015, Disponível em [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/REN12-GSR2015\\_Onlinebook\\_low1.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/REN12-GSR2015_Onlinebook_low1.pdf), 2016;
- [23] ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, "Microminigeração". Atualizado em 25/08/2016, Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/scg/rcg/Microasp>, Acesso em 25 de agosto de 2016.
- [24] Urbanetz Jr, J., Casagrande Jr, E. F., Tiepolo, G. M.. Análise do Desempenho de Dois Anos de Operação do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica do Escritório Verde da UTFPR, CBENS, Recife, 2014
- [25] Urbantez Jr, J., Chivelski, T., Simão, C. A. F., Makishi, L. M. M.. Primeiro Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica Homologado pela COPEL, CBENS, Recife, 2014
- [26] Tiepolo, G. "Estudo do potencial de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no estado do Paraná", Tese (doutorado), Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas - PPGEPS, Curitiba, 2015;