

Análise Comparativa da Viabilidade para o Consumidor Rural: Tarifa Rural Baixa Renda versus Implantação de Sistema Fotovoltaico

Henrique Vilar Gomes (UFPB) henriquevilargomes@gmail.com
Álvaro Marques Borges Calazans (UFPB) alvaromarkes91@gmail.com
Yukio Ferreira Yabuta (UFPB) yukio.yabuta@ee.ufcg.edu.br
Rafael Targino Dantas de Lima (UFPB) rafaeltarginoeng@gmail.com
Ricardo Moreira da Silva (UFPB) ricardomoreira0230@hotmail.com

Resumo:

Pela localização geográfica e extensão, o Brasil possui um grande potencial em energia solar, porém, a participação dessa fonte na matriz elétrica do país tem tido um crescimento aquém das outras fontes geradoras. Para que o investimento em energia solar seja atrativo, é necessário aprimorar políticas e incentivos governamentais, além da necessidade de se ter equipamentos de geração com preços mais acessíveis. Desta forma, o objetivo é levantar as políticas e incentivos para energia solar e testar sua aplicabilidade em um consumidor baixa renda da zona rural do nordeste do Brasil, que tem seu consumo ligado em grid. Para tanto, utilizamos uma revisão sistemática da literatura e uma análise de viabilidade através do software PVsyst. Apesar da energia fotovoltaica substituir a geração de fontes emissoras de gases do efeito estufa, a política governamental brasileira foi de subsidiar a tarifa e estimular o consumo em grid, o que vai na contramão da utilização de energias renováveis. Apesar de ser economicamente viável, as legislações atualmente aplicadas no Brasil não favorecem o desenvolvimento de sistemas solares rurais.

Palavras chave: Incentivos Governamentais, Sistema Fotovoltaico, Tarifa Social, Brasil.

Comparative Analysis of Viability for The Rural Consumer: Low Rural Tariff Versus Implantation of Photovoltaic System

Abstract

By extension and geographical location, Brazil has a great potential in solar energy, however, the participation of this source in the country's electrical matrix had had a short growth compared to others generating sources. For investment in solar energy become attractive, governmental incentives and policies need to be improved, besides the need of having generation equipments with more accessible prices. Thus, the objective is to raise the policies and incentives for solar energy and test its applicability in a low income consumer of Brazil's northeastern rural zone, which has its consumption connected to the grid. For this, a systematic version of the literature and a viability analysis using the PVsyst software are used. Despite photovoltaic energy replaces the generation of greenhouse effect gas-emitting sources, the brazilian governmental policy was to subsidize tariffs and encourage grid consumption, which goes against the use of renewable energy. Although being economically viable, the current legislations applied in Brazil do not favor the development of rural solar systems.

Key-words: Governmental Incentives, Photovoltaic System, Social Tariff, Brazil

1. Introdução

Devido à sua localização e extensão territorial, o Brasil possui um grande potencial em energia solar. Entretanto, essa grande fonte de energia vem sendo explorada a um ritmo aquém de outras fontes geradoras devido ao seu custo, que vem decrescendo ao longo do tempo. Isso resultou em um desafio significativo para os formuladores de políticas em relação ao planejamento e gerenciamento de energia (LIMA ET AL., 2017). As energias renováveis são cada vez mais utilizadas porque permitem o desenvolvimento sustentável, são menos poluentes e evitam a dependência de energéticos fósseis esgotáveis (PRESENÇO, J. F.; SERAPHIM, 2010). (J.T.M. Pinto et al., 2016) fala que as alternativas de energia renováveis se tornaram o foco de muitos estudos sobre questões ambientais e econômicas. A geração de energia elétrica no Brasil tem grande participação de energias renováveis e, superou o patamar de 80% duas vezes nos últimos anos, conforme figura 1. Em 2012, essa porcentagem era de

84,5%, enquanto que em 2016 atingiu 81,7%, conforme (MME, 2016).

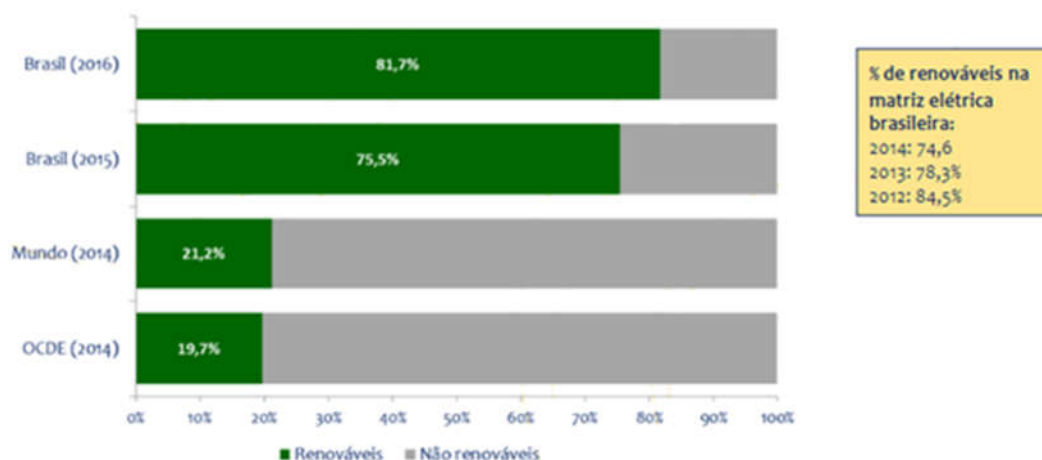


Figura 1 – Parcela de energias renováveis. Fonte: (MEE, 2016)

Mesmo com maior participação de energias renováveis, o Brasil ainda depende da geração de energia através de suas usinas termelétricas alimentadas por derivados do petróleo, que contribuem negativamente para a emissão de gases do efeito estufa. Foi observado que, cronologicamente, a utilização dessa fonte de geração vem diminuindo, enquanto que a parcela de fontes renováveis como energia eólica e solar vêm ganhando espaço (tabela 1). Segundo (Vazquez e Hallack, 2018), a capacidade total de energia solar fotovoltaica instalada no sistema brasileiro ainda é limitada. A energia solar tem um grande potencial para contribuir para muitos dos aspectos sociais e ambientais das crescentes demandas de eletricidade.(Razykov et al., 2011),(Mahesh e Shoba Jasmin, 2013),(Cicea et al., 2014). Vale ressaltar que o Brasil possui um alto potencial de radiação solar, superior à Alemanha, que é um dos países desenvolvidos que mais se destacam na produção de energia a partir do sol (De Melo et al., 2016). Para exemplificar, historicamente a taxa de irradiação horizontal global no Brasil, no período de 1999 a 2015, tem seu valor mínimo maior que a irradiação máxima da Alemanha no período de 1994 a 2016 (Solargis, 2018).

Fonte	Geração Elétrica (GWh)				
	2012	2013	2014	2015	2016
Hidrelétrica	415.342	390.992	373.439	359.743	380.911
Gás Natural	46.760	69.003	81.073	79.490	56.485
Biomassa	34.662	39.679	44.987	47.394	49.236
Derivados do Petróleo	16.214	22.090	31.529	25.662	12.103
Nuclear	16.038	15.450	15.378	14.734	15.864
Carvão Vapor	8.422	14.801	18.385	19.096	17.001
Eólica	5.050	6.578	12.210	21.625	33.489
Solar Fotovoltaica	-	-	16	59	85
Outras	10.010	12.241	13.524	13.682	13.723
Geração Total	552.498	570.835	577.017	567.803	578.898

Tabela 1 – Evolução da participação de cada fonte na geração de energia elétrica no Brasil. Fonte: EPE; Agência Internacional de Energia, adaptado (MME, 2013) (MME, 2014) (MME, 2015) (MME, 2016) (MME, 2017)

Logo no início da era da tecnologia fotovoltaica, em 1954, a primeira célula solar foi desenvolvida com uma eficiência de 6% por Chapin, Fuller e Pearson (Chapin et al., 1954). Os principais obstáculos para esse desenvolvimento foram a produção de materiais puros para a obtenção de um bom nível de

eficiência solar e o alto custo inicial comparado com o custo do sistema de energia baseado em combustível fóssil. Em 1977, o preço da célula de silício estava em torno de \$76,67/watt, mas após muitos progressos diminuiu para \$0,36/watt em 2014. (Forbes, 2014). Dessa forma, para os consumidores de baixa renda a energia solar ainda é um investimento caro, por essa razão, é necessária a adoção de incentivos por parte do governo brasileiro. Em 2015, no Núcleo de Estudos e Pesquisas da Consultoria Legislativa do Senado Brasileiro estava em discussão alguns textos falando a respeito desses subsídios no que se refere à energia solar, que serão mencionados na tabela 5. Portanto, o objetivo deste trabalho é entender as políticas e incentivos a energia solar no Brasil e a sua aplicabilidade para um consumidor baixa renda da zona rural do Nordeste.

2. Materiais e Métodos

Em 16 de Abril de 2018, utilizando a base de dados Web of Science e Scopus, foi realizada a seguinte busca por tópico: “(polic* OR regulament* OR polític*) AND energ* AND brazil AND ("pv system" OR fotovoltaico OR solar)” e obtido 158 resultados, posteriormente, selecionado apenas documentos tipo “Article” e obtido 103 resultados, e finalmente selecionado apenas publicações dos últimos 5 anos e obtido apenas 64 resultados. Após verificado coincidências entre as duas bases de dados, restaram apenas 38 artigos. Desta pesquisa foram encontradas diversas leis e incentivos para a utilização da energia fotovoltaica. Ao ler os resumos de todos os artigos foram excluídos 22 resultados da amostra por não ter relação com os objetivos deste trabalho, restando 16 artigos. Ainda foi incluída a legislação sobre tarifa social de energia elétrica, por se tratar de um assunto coletado, quando avaliamos o contexto de sustentabilidade, uma vez que a Lei 12.212, de janeiro de 2010 (Brasil, 2010) é responsável pelo impacto social das políticas relacionadas com a geração de energia elétrica no Brasil. Para a pesquisa desta legislação especificamente, por se tratar de uma questão de sustentabilidade, a primeira pesquisa se apresentou inadequada. Dessa forma, foi utilizada a base de dados Science Direct, por se tratar de uma base que consegue pesquisar em todo o corpo do texto (ScienceDirect, 2018). Foram utilizadas na busca as expressões: “("Social Tariff" OR TSEE) AND Brazil”, que resultou em 123 resultados. Após refinados os anos de 2010 a 2018 (período de criação da lei) e ainda selecionados apenas documentos do tipo Review Articles e Research Articles, restaram 38 artigos. Após a leitura detalhada, foram retirados 32 resultados por não ter relação com os objetivos deste trabalho, restando 5 artigos. Durante esse trabalho, foi utilizado o software PVSyst V6.7.1 para fazer o dimensionamento do sistema de energia solar voltado para um consumidor rural baixa renda no município de Pitimbu, localizado na Região Metropolitana de João Pessoa, no estado da Paraíba. O PVSyst é um programa desenvolvido para o estudo, dimensionamento e análise de dados de sistemas fotovoltaicos completos. Ele realiza projetos de sistemas fotovoltaicos ligados à rede (grid-connected), autônomos (stand alone), de bombeamento (pumping) e de rede de corrente contínua CC (DC-grid), além de incluir extensos bancos de dados de componentes de sistemas meteorológicos e fotovoltaicos, bem como ferramentas gerais de energia solar. Devido a todas essas funcionalidades, o PVSyst é um programa voltado para as necessidades de engenheiros, arquitetos e pesquisadores, além de ser muito útil para treinamento educacional. (PVSyst, 2012). Por essa razão, foi escolhida essa ferramenta computacional para dimensionamento e análise da viabilidade econômico do sistema fotovoltaico.

Para fazer o dimensionamento e análise do sistema fotovoltaico foi levantado o histórico de 12 meses, março de 2017 até fevereiro de 2018, de uma residência rural baixa renda monofásica pelo histórico de faturas mensais emitidas pela distribuidora local (Energisa Borborema) e que pode ser visto na tabela 2. O consumo médio anual foi obtido por meio de uma média aritmética anual dos consumos, resultando em 113,17 KWh/mês. Também para termos um valor de referência de custo da energia, foi dividido valor da conta do consumidor estudado pelo consumo em kWh, ou seja, no mês observado o valor da conta foi de R\$ 72,25 e consumo de 124 KWh, o que resulta numa razão de 0,58 R\$/KWh, que foi o valor usado como referência comparativa.

Inicialmente, foi determinado a orientação dos painéis solares de acordo com a coordenadas geográficas de João Pessoa, que equivale à 7° de latitude.

MÊS	Consumo real (kWh)	Irradiação global (KWh/m².day)	Radiação Difusa	Temp.°C
Janeiro	114	5.91	2.18	26.1
Fevereiro	127	5.82	2.26	26.3
Março	124	5.50	2.21	26.3
Abril	113	5.00	2.00	26.1
Maio	107	4.63	1.77	25.9
Junho	117	4.17	1.68	25.4
Julho	96	4.32	1.73	24.9
Agosto	114	5.05	1.84	25.0
Setembro	102	5.64	2.03	25.5
Outubro	107	5.75	2.24	25.9
Novembro	111	6.09	2.13	26.0
Dezembro	126	6.06	2.10	26.0
Média	113,17	5.33	2.01	25.8
Latitude: -7.11		Longitude: -34.84		
Altitude: 38m		Fuso horário: -3		

Tabela 2 – Histórico de Consumo Mensal da Unidade Consumidora e dados meteorológicos de Pitimbu
Fonte: Dados da pesquisa extraídos da base de dados NASA-SSE do PVSyst V6.7.1

A próxima etapa corresponde ao dimensionamento do sistema de energia solar, com a escolha do inversor e painéis solares. Foi necessário obter o valor da potência planejada (KWp), no qual é dado pela equação (1).

$$P_{peak} = \frac{E \cdot P_{sol}}{G_{poa} \cdot P_{ratio}} \quad (1)$$

Sendo: Ppeak = Potência pico do painel fotovoltaico (kWp); E = Energia consumida diariamente pelas cargas (kWh/dia); Psol = Irradiação de referência (1 kW/m²); Gpoa = Irradiação diária no plano dos módulos (kWh/m².dia); PR= Performance Ratio - Coeficiente de desempenho (adimensional)

Eq. (1) serve para calcular a potência necessária para um painel fotovoltaico atender a demanda estimada. O valor da energia consumida é 113,17 kWh (tabela 2). É necessário subtrair 30kWh correspondente a taxa de disponibilidade, valor mínimo faturável para residência monofásica e multiplicar o Gpoa por 30 para adequar ao valor mensal Eq.(2).

Segundo (Attari et al., 2016), o performance ratio depende das perdas totais no sistema e é calculado de acordo com resultantes de operações de conversão feitas com parâmetros relacionados aos componentes dos módulos fotovoltaicos, inversores e cabos. As condições meteorológicas também são fatores impactantes. No Brasil, a literatura diz que normalmente esse fator fica entre 0,7 e 0,8. Para nossa simulação adotou-se 0,75. Adicionando-se os valores mencionados anteriormente na equação (1), foi obtido o seguinte resultado: Ppeak = 0,69kWp.

ITENS	VALORES
Dois Módulos fotovoltaicos (Canadian Solar Inc 320Wp 26V - Silício Monocristalino CS1K)	R\$ 2100,00
Microinversor (APsystems com potência de 0.50KW 22-45V modelo YC500I-EU, com 2 MPPT	R\$1130,00
Suporte / Estrutura	R\$500,00
Cabo Solar e Material Elétrico	R\$520,00
Projeto e Instalação	R\$1350,00
Total	R\$5600,00

Tabela 3 – Valores dos itens do sistema de energias solar. Fonte: Reinova Soluções Energéticas

A partir desse valor, foram selecionados 2 módulos de painéis solares de silício monocristalino da marca Canadian Solar Inc, com potência de 320 Wp 26V modelo CS1K - 320MS, e um microinversor da marca APsystems com potência de 0.50KW 22-45V modelo YC500I-EU, com 2 MPPT. Em seguida, no software PVSyst, os parâmetros “User’s needs”, na opção “Monthly values” foram preenchidos conforme tabela 2. Mais adiante será apresentada a análise financeira da viabilidade desse sistema de

energia solar, no tópico 4 em Resultados e Discussões. Essa análise foi baseada em valores de mercado dos equipamentos solares, fornecidos pela empresa de energia solar paraibana, Reinova Soluções Energéticas, conforme tabela 3.

3. Energia Fotovoltaica e Incentivos ao Uso

O aproveitamento da energia solar pode ser utilizado para produzir energia elétrica, através de efeitos da radiação, em virtude do calor e da luz, incidindo sobre os materiais semicondutores dos sistemas termoeletrônico e fotovoltaico (Laurentino et al., 2016).

Segundo (Green et al., 2001), o efeito fotovoltaico, relatado pela primeira vez por Edmond Becquerel em 1839, decorre da excitação dos elétrons de alguns materiais semicondutores na presença da luz, constituindo-se no aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos da estrutura do material. A célula fotovoltaica é a unidade fundamental do processo de conversão (Roberto et al., 2010). Neste contexto, (Moreira et al., 2012) diz que as células fotovoltaicas são geralmente construídas com Silício. Um arranjo de painéis deve ser orientado de forma a maximizar a captação solar nos meses de inverno, quando a oferta solar é menor e o consumo muitas vezes é maior que o dos meses de verão (Fedrizzi, 2003). O sistema fotovoltaico é classificado de duas formas, quanto à geração ou entrega de energia elétrica: sistemas isolados (Off-grid) ou sistemas conectados à rede (On-grid). Vamos utilizar um sistema de energia solar conectado à rede, com a intenção de vender o excedente de produção de energia para a concessionária, conforme figura 2.



Figura 2 – Representação de um sistema On-grid.

Fonte: <http://www.inovacare.solar/tecnologia>

No Brasil, a efetiva utilização dos sistemas fotovoltaicos iniciou-se no ano de 2012, após a Agência Nacional de Regulação de Eletricidade, a ANEEL, publicar uma resolução normativa nº 482/2012, criando novas classes de geradores/consumidores: micro e mini geração distribuída. A norma também estabeleceu o padrão de interconexão com a rede, ou seja, em pequenas escalas de geração de eletricidade é possível se conectar a rede das concessionárias de energia através de um mecanismo de medição. Vale ressaltar que a resolução não permitiu a comercialização de energia no país.

Na tabela 5, pode-se verificar cada legislação e benefício relacionado aos artigos pesquisados. Os estudos derivados dessa pesquisa não só são relevantes à geração de energia solar no Brasil como também aplicáveis a outras fontes de geração de energia, uma vez que as legislações em questão, na maioria dos casos, não são especificamente relacionadas à geração de energia solar.

Parcela de consumo mensal	Percentual de desconto
Menor ou igual a 30KWh	65%
Maior que 30KWh e menor ou igual a 100KWh	40%
Maior que 100KWh e menor ou igual a 220KWh	10%
Maior que 220KWh	0%

Tabela 4 – Tarifa Social de Energia Elétrica. Fonte: (BRASIL,2010)

Uma legislação que foi observada com detalhes por sua significância para os objetivos deste trabalho é

a Tarifa Social de Energia Elétrica – TSEE (BRASIL,2010), regulamentada pela Lei nº 12.212, de 20 de janeiro de 2010. Ela caracteriza-se por descontos incidentes sobre a tarifa aplicável à classe residencial das distribuidoras de energia elétrica de modo cumulativo, de acordo com regra da tabela 4:

O custeio desse subsídio é proveniente da Conta de Desenvolvimento Energético – CDE, que tem como objetivos principais o desenvolvimento energético dos Estados e a competitividade da energia produzida a partir de fontes eólica, pequenas centrais hidrelétricas, biomassa, gás natural e carvão mineral nacional, nas áreas atendidas pelos sistemas interligados, promover a universalização do serviço de energia elétrica em todo o território nacional e garantir recursos para atendimento à subvenção econômica destinada à modicidade da tarifa de fornecimento de energia elétrica aos consumidores finais integrantes da Subclasse Residencial Baixa Renda (Brasil, 2002). Outro ponto importante a observar é que, de acordo com a Resolução Normativa 547/2013 da Aneel (ANEEL,2013), o Brasil substituiu a energia horária sazonal pela tarifação por sinal econômico variável mensal, denominadas Bandeiras tarifárias, que funcionam como um semáforo e variam a tarifação de acordo com a necessidade de controle do nível dos reservatórios hidrelétricos e a utilização de termelétricas, que possuem custo de geração mais elevado. Em resumo, a tabela 6 apresenta os incentivos relacionados a utilização da energia fotovoltaica, assim como a evolução das políticas ao que se refere o tema. No Brasil, atualmente, praticamente todos os estados concedem isenção do pagamento de tributo estadual (ICMS) sobre o excedente de energia elétrica gerada por sistemas de geração distribuída. Até a presente data, vinte e nove de maio de 2018, somente o Amazonas, Paraná e Santa Catarina ainda não aderiram ao Convênio ICMS 16/2015. (CONFAZ, 2015). Uma modalidade que vem em crescente uso no mercado é o autoconsumo remoto, que só foi possível após a normativa 687, em que consiste na compensação de energia de outra unidade consumidora na mesma titularidade da geradora. Além disso, os condomínios com pouca área de telhado podem compartilhar a energia gerada entre os moradores. As cotas de crédito para compensação de energia serão subtraídas de forma independente na fatura de cada participante, desde que a geração esteja na mesma área de propriedade do condomínio ou empreendimento (ANEEL, 2015).

4 Resultados e Discussões

O projeto de sistema de energia solar para a residência de baixo custo foi elaborado no software PVSyst baseado no consumo mensal, obtido através da conta de energia do consumidor. (Ver tabela 2). Alguns parâmetros foram considerados no software para se fazer esse projeto, conforme foi mencionado em Material e Métodos, e são descritos a seguir em resumo:

- Localização (latitude e longitude): (-7.1195, -34.845)
- Consumo mensal da residência durante 1 ano. Isso implica em um consumo médio da residência de 113,17 KWh/mês
- Ângulo da placa: 7°
- Paine solar: Canadian Solar Inc 320Wp 26V Silício Monocristalino modelo CS1K - 320MS
- Microinversor: APsystems com potência de 0.50KW 22-45V modelo YC500I-EU, com 2 MPPT
- Preços dos itens do sistema de energia solar (ver tabela 4)
- Financiamento (Financing) com impostos (Taxes) de 0%
- Subsídios (Subsidies) de 0% (o único subsídio considerado foi a tarifa de consumidor rural baixa renda)
- Empréstimo (Loan) com duração de 25 anos a uma taxa de 1,8% ao mês

O principal resultado da simulação apresenta a demanda do usuário, a energia suprida e a energia injetada na rede, conforme tabela 6.



VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Ponta Grossa, PR, Brasil, 05 a 07 de dezembro de 2018

Descrição	Regulação	Artigos
Sistema de Compensação de Energia Elétrica para a Microgeração e Minigeração Distribuídas (ANEEL, 2012a)	Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, da Aneel (ANEEL, 2012a)	(J.T.M. Pinto et al., 2016); (Souza Machado et al., 2016); (De Melo et al., 2016); (Rocha et al., 2017); (De Souza Sant'Anna et al., 2015); (Bradshaw, 2017); (Vilaça Gomes et al., 2018); (Lacchini e Rüther, 2015); (Vazquez e Hallack, 2018)
Isenção de Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) nas operações que envolvam inúmeros equipamentos utilizados para geração de energia elétrica por energia solar ou eólica. (CONFAZ, 1997)	Convênio nº 101/97 – CONFAZ (CONFAZ, 1997)	(De Melo et al., 2016)
Isenção de ICMS da energia injetada a rede. (CONFAZ, 2015)	Convênio nº 16/15 (CONFAZ, 2015)	(Amaral et al., 2016); (Gucciardi Garcez, 2017); (Souza Machado et al., 2016); (Vilaça Gomes et al., 2018)
Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica – ProGD (MME, 2015b)	Portaria nº 538, de 15 de dezembro de 2015 (MME, 2015b)	(Amaral et al., 2016); (Gucciardi Garcez, 2017); (De Melo et al., 2016)
Res. 687/2015. PRODIST (ANEEL, 2015) (i) autoconsumo remoto; (ii) Redução na espera para conexão em rede; (iii) Geração compartilhada e (iv) Geração em Condomínio	Resolução Normativa Nº 687, de 24 de novembro de 2015, da Aneel. (ANEEL, 2015)	(Amaral et al., 2016); (Gucciardi Garcez, 2017); (Souza Machado et al., 2016); (Bradshaw, 2017); (Vazquez e Hallack, 2018)
Programa Luz para todos (ANEEL, 2012b)	Resolução Normativa nº 488, de 15 de maio de 2012, da Aneel (ANEEL, 2012b)	(Gucciardi Garcez, 2017); (Slough et al., 2015); (Bradshaw, 2017)
PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (BRASIL, 2004)	Decreto nº 5.025, de 30 de março de 2004. (BRASIL, 2004)	(J.T.M. Pinto et al., 2016); (De Melo et al., 2016); (Rocha et al., 2017); (BRADSHAW, 2017); (de Oliveira Gavira, 2014); (Hochstetler e Kostka, 2015); (de Souza e Cavalcante, 2016)
PRODEEM - Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios (BRASIL, 1994)	DNN2793 - Decreto de 27 dez 1994. (BRASIL, 1994)	(J.T.M. Pinto et al., 2016); (Slough et al., 2015); (De Melo et al., 2016); (Bradshaw, 2017)
Estabelece os procedimentos vinculados à redução das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, para empreendimentos hidrelétricos e aqueles com base em fonte solar, eólica biomassa ou cogeração qualificada. (ANEEL, 2004)	Resolução Normativa nº 77, de 18 de agosto de 2014, da Aneel (ANEEL, 2004)	(J.T.M. Pinto et al., 2016)
Descontos nas tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição (TUST e TUSD), incidindo na produção e no consumo da energia comercializada. (ANEEL, 2012c)	Resolução Normativa nº 481, de 17 de abril de 2012, da Aneel. (ANEEL, 2012c)	(Gucciardi Garcez, 2017); (Rodrigues et al., 2016)
Compensação com o consumo de energia elétrica ativa da mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade da unidade consumidora onde os créditos foram gerados. (ANEEL, 2012d)	Resolução Normativa nº 517, de 11 de dezembro de 2012, da Aneel (ANEEL, 2012d)	(Gucciardi Garcez, 2017); (Rodrigues et al., 2016); (Bradshaw, 2017)
A Tarifa Social de Energia Elétrica é caracterizada por descontos incidentes sobre a tarifa aplicável à classe residencial das distribuidoras de energia elétrica, sendo calculada de modo cumulativo de acordo com o consumo. (Brasil, 2010)	Lei nº 12.212, de 20 de Janeiro de 2010. (Brasil, 2010)	(J.T.M. Pinto et al., 2016); (Gómez e Silveira, 2015); (Winkler et al., 2011); (Coelho e Goldemberg, 2013); (Valer et al., 2017)

Tabela 5 – Incentivos ao Uso da Energia Fotovoltaica. Fonte: Indicada na própria tabela.

Mês	E Load(KWh)	E User(KWh)	E_Grid(KWh)
Janeiro	114,0	45,97	45,07
Fevereiro	127,0	50,34	32,71
Março	124,0	48,55	39,68
Abril	113,0	43,34	36,93
Maiο	107,0	41,71	37,63
Junho	117,0	41,40	28,68
Julho	96,0	36,96	38,00
Agosto	114,0	45,11	40,94
Setembro	102,0	42,31	47,17
Outubro	107,0	43,33	47,92
Novembro	111,0	44,43	46,00
Dezembro	126,0	51,59	41,60
Anual	1358,0	535,05	482,33

Tabela 6 - Principais resultados simulados do uso de energia fotovoltaica em residências rurais baixo renda.

Fonte: Simulação no PVSyst

- E Load: necessidade de energia do usuário
- E User: energia fornecida ao usuário
- E_Grid: energia injetada na rede

O E User é a energia mensal fornecida ao usuário em KWh pelo sistema fotovoltaico, o E_Grid é a energia mensal em KWh injetada na rede, enquanto que o E Load representa toda a carga demandada pelo usuário. Observe que a diferença entre o valor mensal de E Load subtraído de (E User + E_Grid) sempre resulta em aproximadamente 30 KWh, que representa a tarifa mínima cobrada pela concessionária (tarifa de disponibilidade) para uma residência monofásica. Por causa dessa tarifa, o sistema projetado nunca será igual à carga (1358 KWh), pois os 30KWh já está sendo pago compulsoriamente pelo usuário. Segundo o art. 98 da Resolução 414/2011 da ANEEL, a taxa do custo de disponibilidade do sistema elétrico, aplicável ao faturamento mensal de consumidor responsável por unidade consumidora do grupo B (grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3KV), é o valor em moeda corrente equivalente a:

I - 30KWh, se for monofásico ou bifásico a 2 (dois) condutores;

II - 50KWh, se bifásico a 3 (três) condutores;

III - 100KWh, se trifásico

§ 1º O custo de disponibilidade deve ser aplicado sempre que o consumo medido ou estimado for inferior aos referidos neste artigo, não sendo a diferença resultante objeto de futura compensação. § 2º Para as unidades consumidoras classificadas nas Subclasses Residencial Baixa Renda devem ser aplicados os descontos no custo de disponibilidade, referentes ao consumo de energia elétrica definidos nesta resolução. § 3º Para as unidades consumidoras classificadas nas Subclasses Residencial Baixa Renda Indígena ou Residencial Baixa Renda Quilombola será concedido desconto integral para os 73 casos previstos nos incisos I e II e no caso do inciso III será cobrado o valor em moeda corrente equivalente a 50 kWh. (Redação dada pela REN ANEEL 479, de 03.04.2012). Os descontos no custo de disponibilidade das Subclasses Residencial Baixa Renda correspondem a uma tarifa especial que beneficia um grupo específico de clientes, reduzindo o valor da conta de energia. Esse subsídio criado pelo Governo Federal é conhecido como “Tarifa Social”, e está distribuído conforme a tabela 5. Para a fatura de nosso estudo de caso, um sistema atendido pela Energisa Borborema, em abril de 2018, possui as seguintes tarifas:

Produção de energia:
1017 KWh/ano
Custo anual (taxa de 1,8% ao mês em 25 anos):
R\$280/ano
Quantidade de energia usada:
535 KWh/ano
Quantidade de energia injetada na rede:
482 KWh/ano
Custo da energia produzida:
R\$0,28/KWh

Tabela 7- Resultados da simulação no PVSyst.

Fonte: PVSyst

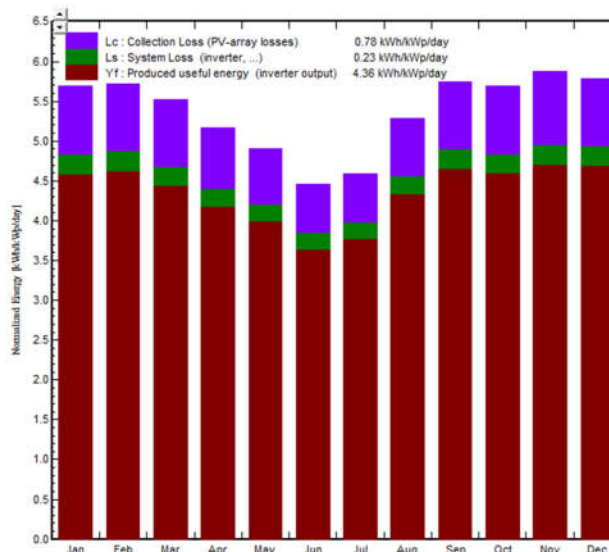


Figura 3 - Normalized productions (per installed kWp):
Nominal power 640 Wp. Fonte: PVSyst

- Consumo até 30 KWh - A tarifa é R\$0,24;
- Consumo de 31 KWh até 100 KWh - A tarifa é R\$0,42;
- Consumo de 101 a 220 KWh - A tarifa é R\$0,53.

Na simulação para esse consumidor rural baixa renda foram obtidos os resultados, segundo tabela 7. Além disso, a figura 3 apresenta valores mensais da energia normalizada em relação à Ppeak (KWh/kWp/dia) com os valores simulados no nosso sistema, contabilizando as perdas do sistema Ls e as perdas no quadro Lc. Como esperado, os meses de menor geração são os meses de maio, junho e julho, onde ocorre maior incidência de chuvas na região.

5. Conclusões

Conclui-se que o governo subsidia o consumidor rural baixa renda com uma tarifa especial, sendo uma opção atrativa para o homem rural, onde ele não irá optar pelo uso da energia fotovoltaica. Como já mencionado anteriormente, o Brasil possui um alto potencial de radiação solar, superior à Alemanha (Solargis, 2018) (De Melo et al., 2016), entretanto, mesmo com essa diferença significativa, a Alemanha vem adotando políticas consistentes de incentivos à geração fotovoltaica, contribuindo para se ter uma matriz energética limpa e sustentável (De Melo et al., 2016). Ao contrário disso, o Brasil vem adotando uma política de tarifa social. Isso nos mostra que o governo brasileiro tem uma excelente opção energética nas mãos, (uso da energia fotovoltaica) que teria impacto positivo nas três dimensões do conceito de Triple Bottom Line, onde o planeta fosse menos impactado com menos emissão de gases do efeito estufa, onde as pessoas teriam mais oportunidade de emprego e renda e o custo real da energia fosse menor, e com isso o Brasil poderia diminuir sua política de subsídio cruzado. Assim, como sugestão viável seria possível substituir o subsídio de tarifação de consumidor de baixa renda por instalação de kits de energia solar fotovoltaica. De fato, as consequências diretas seriam uma redução dos impactos ambientais com o aumento da parcela de energias renováveis na matriz elétrica brasileira, minimizando a necessidade de utilização de termelétricas para atender a demanda de energia nacional, e consequentemente, diminuir a emissão de CO₂; Impacto no social quando o consumidor de baixa renda pagaria apenas a taxa mínima correspondente ao custo de disponibilidade do sistema elétrico e redução do impacto econômico porque o custeio da implantação do sistema permaneceria vindo da mesma fonte atual, da Conta de Desenvolvimento Econômico, rateada por todos os usuários do SIN

(Sistema Integrado Nacional). Entretanto, com a menor necessidade de utilização de termelétricas, menor seria a ocorrência de bandeira tarifária amarela e vermelha, o que minimizaria o custo na conta dos usuários do SIN. Ainda observando os resultados da simulação, o custo de energia produzida (R\$0,28/KWh) por um sistema fotovoltaico proposto é muito próximo do custo subsidiado (R\$0,24/KWh) na faixa de 0 a 30 KWh, porém, um consumo abaixo de 30 KWh implicaria em pagamento compulsório da taxa de disponibilidade do sistema. No caso do consumidor rural de baixa renda estudado, que tem uma média de consumo de 113,17 KWh/mês, o sistema proposto se mostra economicamente viável. Para termos um valor de referência de custo da energia, foi dividido o valor da conta do consumidor estudado pelo consumo em kWh, ou seja, no mês observado o valor da conta foi de R\$72,25 e consumo de 124 KWh, o que resulta numa razão de 0,58 R\$/KWh. O valor obtido pela simulação após a instalação do sistema proposto apresenta um custo de geração de 0,28 R\$/KWh. Com o uso do sistema estamos reduzindo os custos em 52%. Em alguns casos, onde o consumo atinge valores muito próximos a 30 KWh, este sistema pode se apresentar inviável pelos baixos valores atualmente subsidiados com desconto (R\$0,24/KWh), porém, como existem vários ganhos intangíveis pela adoção da substituição do subsídio de desconto na tarifa por instalação de kits fotovoltaicos, este trabalho conclui que a substituição do desconto subsidiado por kits fotovoltaico é uma sugestão sustentavelmente viável.

Referencias

- ANEEL, 2004.** Resolução Normativa nº77. Acesso em: 19 de maio de 2018, disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2004077.pdf>
- ANEEL, 2012a.** Resolução Normativa nº482. Acesso em: 19 de maio de 2018, disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>
- ANEEL, 2012b.** Resolução Normativa nº488. Acesso em: 19 de maio de 2018, disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012488.pdf>
- ANEEL, 2012c.** Resolução Normativa nº 481. Acesso em: 18 de maio de 2018, disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2004077.pdf>
- ANEEL, 2012d.** Resolução Normativa nº 517. Acesso em: 18 de maio de 2018, disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012517.pdf>
- ANEEL, 2013.** Resolução Normativa nº 547. Acesso em: 17 de maio de 2018, disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2013547.pdf>
- ANEEL, 2015.** Resolução Normativa nº687. Acesso em: 19 de maio de 2018, disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>
- Amaral, A.B.A., Mendonca, A.L.Z.L.G., Resende, A.A.M., Rego, E.E., 2016.** Solar energy and distributed generation: 2015, a year of inflection in Brazil? *IEEE Lat. Am. Trans.* 14, 3731–3737. <https://doi.org/10.1109/TLA.2016.7786357>
- Attari, K., Elyakoubi, A., Asselman, A., 2016.** Performance analysis and investigation of a grid-connected photovoltaic installation in Morocco. *Energy Reports* 2, 261–266. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2016.10.004>
- Bradshaw, A., 2017.** Regulatory change and innovation in Latin America: The case of renewable energy in Brazil. *Util. Policy* 49, 156–164. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2017.01.006>
- BRASIL, 1994.** DNN2793. Acesso em: 19 de maio de 2018, disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/dnn/anterior%20a%202000/1994/dnn2793.htm
- BRASIL, 2002.** Lei 10.438. Acesso em: 18 de maio de 2018, disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10438.htm
- BRASIL, 2004.** Decreto Nº5.025 Acesso em: 21 de maio de 2018, disponível em: [http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2004/decreto-5025-30-marco-2004-531461-norma-atualizada-pe.pdf](http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2004/decreto-5025-30-marco-2004-531461-norma-5025-30-marco-2004-531461-norma-atualizada-pe.pdf)
- BRASIL, 2010.** Lei 12.212. Acesso em: 21 de maio de 2018, disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/12212.htm

- Cicea, C., Marinescu, C., Popa, I., Dobrin, C., 2014. Environmental efficiency of investments in renewable energy: Comparative analysis at macroeconomic level. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 30, 555–564. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.10.034>
- Coelho, S.T., Goldemberg, J., 2013. Energy access: Lessons learned in Brazil and perspectives for replication in other developing countries. *Energy Policy* 61, 1088–1096. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.062>
- CONFAZ, 1997. Convênio 101. Acesso em: 19 de maio de 2018, disponível em: https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/1997/CV101_97
- CONFAZ, 2015. Convênio 16. Acesso em: 19 de maio de 2018, disponível em: https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2015/CV016_15
- Chapin, D.M., Fuller, C.S., Pearson, G.L., 1954. A new silicon p-n junction photocell for converting solar radiation into electrical power [3]. *J. Appl. Phys.* 25, 676–677. <https://doi.org/10.1063/1.1721711>
- De Melo, C.A., Jannuzzi, G.D.M., Bajay, S.V., 2016. Nonconventional renewable energy governance in Brazil: Lessons to learn Disponível em: the German experience. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 61, 222–234.
- de Oliveira Gavira, M., 2014. Research and Development Financing in the Renewable Energy Industry in Brazil. *J. Sustain. Dev. Energy, Water Environ. Syst.* 2, 208–218. <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.2014.02.0017>
- de Souza, L.E.V., Cavalcante, A.M.G., 2016. Towards a sociology of energy and globalization: Interconnectedness, capital, and knowledge in the Brazilian solar photovoltaic industry. *Energy Res. Soc. Sci.* 21, 145–154. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.07.004>
- De Souza Sant’Anna, V.R., Filho, D.O., Egido, M.A., Ribeiro, A., Lacerda Filho, A.F., Fonseca Ferreira, A.C., 2015. Photovoltaic systems with and without radiation concentrators for temperate and tropical regions. *Energies* 8, 12505–12529. <https://doi.org/10.3390/en8112316>
- Forbes, 2014. Solar Energy Revolution: A Massive Opportunity. Acesso em: 14 de maio de 2018, disponível em: <https://www.forbes.com/sites/peterdiamandis/2014/09/02/solar-energy-revolution-a-massive-opportunity/#76cda3246c90>
- Fedrizzi, M.C., 2003. Sistemas Fotovoltaicos De Abastecimento De Água Para Uso Comunitário: Lições Apreendidas e Procedimentos Para Potencializar Sua Difusão. Acesso em: 14 de maio de 2018, disponível em: http://www.iee.usp.br/lfs/sites/default/files/Doutorado_Cristina_Fedrizzi.pdf
- Gómez, M.F., Silveira, S., 2015. The last mile in the Brazilian Amazon - A potential pathway for universal electricity access. *Energy Policy* 82, 23–37. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.02.018>
- Green, M.A., Zhao, J., Wang, A., Wenham, S.R., 2001. Progress and outlook for high-efficiency crystalline silicon solar cells. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 65, 9–16. [https://doi.org/10.1016/S0927-0248\(00\)00072-6](https://doi.org/10.1016/S0927-0248(00)00072-6)
- Gucciardi Garcez, C., 2017. Distributed electricity generation in Brazil: An analysis of policy context, design and impact. *Util. Policy* 49, 104–115. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2017.06.005>
- Hochstetler, K., Kostka, G., 2015. Wind and solar power in Brazil and China: Interests, state–business relations, and policy outcomes. *Glob. Environ. Polit.* 15, 74–94. https://doi.org/10.1162/GLEP_a_00312
- Lacchini, C., Rüther, R., 2015. The influence of government strategies on the financial return of capital invested in PV systems located in different climatic zones in Brazil. *Renew. Energy* 83, 786–798.
- Laurentino, G., Oliveira, M.S. De, Moreira, R., Laurentino, N., 2016. Análise De Viabilidade Econômica Entre O Uso De Energia Grid Solar No Paraibano. *Energ. NA Agric. (UNESP. BOTUCATÚ. CD-ROM)* 31, 89–96. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17224/EnergAgric.2016v31n1p89-96>
- Lima, F., Nunes, M.L., Cunha, J., Lucena, A.F.P., 2017. Driving forces for aggregate energy consumption: A cross-country approach. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 68, 1033–1050. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.009>
- Mahesh, A., Shoba Jasmin, K.S., 2013. Role of renewable energy investment in India: An alternative to CO2 mitigation. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 26, 414–424. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2013.05.069>
- MME, 2013. Balanço Energético Nacional - BEN 2013. Acesso em: 15 de maio de 2018, disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2013_Web.pdf
- MME, 2014. Balanço Energético Nacional - BEN 2014. Acesso em: 15 de maio de 2018, disponível em:

- https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2014_Web.pdf
- MME, 2015a.** Balanço Energético Nacional - BEN 2015. Acesso em: 15 de maio de 2018, disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2015_Web.pdf
- MME, 2015b.** Portaria nº 538, de 15 de dezembro de 2015. Acesso em: 15 de maio de 2018, disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/prt2015538mme.pdf>
- MME, 2016.** Balanço Energético Nacional - BEN 2016. Acesso em: 15 de maio de 2018, disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2016_Web.pdf
- MME, 2017.** Balanço Energético Nacional - BEN 2017. Acesso em: 15 de maio de 2018, disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2017_Web.pdf
- Moreira, C.A.M., Seraphim, O.J., Gabriel-Filho, L.R.A., 2012.** Sistema Fotovoltaico Monocristalino Para Bombeamento De Água. *Energ. na Agric.* 27, 31–47.
- Pinto, J.T.M., Amaral, K.J., Janissek, P.R., 2016.** Deployment of photovoltaics in Brazil: Scenarios, perspectives and policies for low-income housing. *Sol. Energy* 133, 73–84.
- PRESENÇO, J. F.; SERAPHIM, O.J., 2010.** Desenvolvimento de um sistema de controle para avaliação de fontes de energias renováveis no bombeamento de água. *Energ. NA Agric. (UNESP. BOTUCATÚ. CD-ROM)* 25, 83–96.
- PVsyst, 2012.** PVsyst Photovoltaic Software. Acesso em: May 15, 2018, Disponível em: <http://www.pvsyst.com/en/software>
- Razykov, T.M., Ferekides, C.S., Morel, D., Stefanakos, E., Ullal, H.S., Upadhyaya, H.M., 2011.** Solar photovoltaic electricity: Current status and future prospects. *Sol. Energy* 85, 1580–1608.
- Roberto, L., Gabriel, A., Cremasco, C.P., José, O., 2010.** ANÁLISE DIFERENCIAL DA POTÊNCIA MÁXIMA GERADA POR UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO. *Energ. NA Agric. (UNESP. BOTUCATÚ. CD-ROM)* 25, 123–138. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17224/EnergAgric.2010v25n2p123-138>
- Rocha, L.C.S., Aquila, G., Pamplona, E. de O., de Paiva, A.P., Chierigatti, B.G., Lima, J. de S.B., 2017.** Photovoltaic electricity production in Brazil: A stochastic economic viability analysis for small systems in the face of net metering and tax incentives. *J. Clean. Prod.* 168, 1448–1462. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.018>
- Rodrigues, S., Torabikalaki, R., Faria, F., Cafófo, N., Chen, X., Ivaki, A.R., Mata-Lima, H., Morgado-Dias, F., 2016.** Economic feasibility analysis of small scale PV systems in different countries. *Sol. Energy* 131, 81–95.
- Silva, R.M., 2015.** Energia Solar no Brasil: dos incentivos aos desafios. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado. Texto para Discussão nº166. Acesso em: 25 de maio de 2018, disponível em: <https://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td166.pdf>
- Slough, T., Urpelainen, J., Yang, J., 2015.** Light for all? Evaluating Brazil's rural electrification progress, 2000–2010. *Energy Policy* 86, 315–327. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.07.001>
- Solargis, 2018.** Solar resource maps. Acesso em: May 20, 2018, Disponível em: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/>.
- Souza Machado, I., Soares Moreira Cesar Borba, B., Silva Maciel, R., 2016.** Modeling Distributed PV Market and its Impacts on Distribution System: A Brazilian Case Study. *IEEE Lat. Am. Trans.* 14, 4520–4526.
- Valer, L.R., Manito, A.R.A., Ribeiro, T.B.S., Zilles, R., Pinho, J.T., 2017.** Issues in PV systems applied to rural electrification in Brazil. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 78, 1033–1043. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.016>
- Vazquez, M., Hallack, M., 2018.** The role of regulatory learning in energy transition: The case of solar PV in Brazil. *Energy Policy* 114, 465–481. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.11.066>
- Vilaça Gomes, P., Knak Neto, N., Carvalho, L., Sumaili, J., Saraiva, J.T., Dias, B.H., Miranda, V., Souza, S.M., 2018.** Technical-economic analysis for the integration of PV systems in Brazil considering policy and regulatory issues. *Energy Policy* 115, 199–206. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.01.014>
- Winkler, H., Simões, A.F., Rovere, E.L. la, Alam, M., Rahman, A., Mwakasonda, S., 2011.** Access and Affordability of Electricity in Developing Countries. *World Dev.* 39, 1037–1050.