

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA  
CAMPUS PRINCESA ISABEL  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL DE MUNICÍPIOS

TIAGO HENRIQUE AZEVEDO DE BRITO

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA INSTALAÇÃO DE  
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA LIGADA À REDE, NO IFPB,  
CAMPUS PRINCESA ISABEL**

PRINCESA ISABEL-PB

2020

TIAGO HENRIQUE AZEVEDO DE BRITO

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA INSTALAÇÃO DE  
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA LIGADA À REDE, NO IFPB,  
CAMPUS PRINCESA ISABEL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - Campus Princesa Isabel, como requisito necessário para obtenção do Grau de Especialista em Gestão Ambiental de Municípios.

Orientador: Profa. Dra. Karoline Fernandes Siqueira Campos

PRINCESA ISABEL-PB

2020

Brito, Tiago Henrique Azevedo de.

B862e Estudo da viabilidade econômica da instalação de energia solar fotovoltaica ligada a rede, no IFPB, campus Princesa Isabel / Tiago Henrique Azevedo de Brito. – 2020.

15 f : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão Ambiental de Municípios) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Princesa Isabel, 2020.

Orientador(a): Prof<sup>ª</sup>. Dra. Karoline Fernandes Siqueira Campos.

1. Energia solar. 2. Usina fotovoltaica. 3. Viabilidade econômica. I. Campos, Karoline Fernandes Siqueira. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. III. Título.

IFPB/PI

CDU 621.383.51

Catálogo na Publicação elaborada pela Seção de Processamento Técnico da Biblioteca do IFPB Campus Princesa Isabel.

TIAGO HENRIQUE AZEVEDO DE BRITO

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA INSTALAÇÃO DE  
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA LIGADA À REDE, NO IFPB,  
CAMPUS PRINCESA ISABEL**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba  
- Campus Princesa Isabel, como requisito  
necessário para obtenção do Grau de  
Especialista em Gestão Ambiental de  
Municípios.

Aprovado em, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA:**

*Karoline Fernandes Siqueira Campos*

Prof<sup>a</sup> Dra. Karoline Fernandes Siqueira Campos IFPB

*Vinicius Batista Campos*

Prof. Dr. Vinicius Batista Campos IFPB

*Carlos Alberto Nóbrega Sobrinho*

Prof. Dr. Carlos Alberto Nóbrega Sobrinho IFPB

PRINCESA ISABEL-PB

2020

## Estudo da viabilidade econômica da instalação de energia solar fotovoltaica ligada à rede, no IFPB, *campus Princesa Isabel*

Tiago Henrique Azevedo de Brito<sup>[1]</sup>, Karoline Fernandes Siqueira Campos<sup>[2]</sup>, Vinícius Batista Campos<sup>[3]</sup>, Carlos Alberto Nóbrega Sobrinho<sup>[4]</sup>

<sup>[1]</sup> tiagohabr@hotmail.com. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba/Pós-Graduação em Gestão Ambiental de Municípios, Campus Princesa Isabel.

<sup>[2]</sup> karoline.campos@ifpb.edu.br. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba/Pós-Graduação em Gestão Ambiental de Municípios, Campus Princesa Isabel.

<sup>[3]</sup> vinicius.campos@ifpb.edu.br. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba/Pós-Graduação em Gestão Ambiental de Municípios, Campus Princesa Isabel.

<sup>[4]</sup> carlos.nobrega@ifpb.edu.br. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba/Pós-Graduação em Gestão Ambiental de Municípios, Campus Princesa Isabel.

### Resumo

O sol é fonte de luz e de vida, onde a energia que emana dele é praticamente inesgotável, podendo ser usada de modo direto por meio de uma usina solar fotovoltaica. O Nordeste do Brasil possui uma alta e quase uniforme densidade de irradiação solar. Assim, a instalação de uma usina fotovoltaica ligada à rede no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), *campus Princesa Isabel*, sertão paraibano, mostra-se interessante. Dessa maneira, o objetivo da pesquisa exploratória é avaliar a viabilidade econômica do projeto, utilizando-se de indicadores de viabilidade econômico-financeira, tais como *payback* simples, valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR), juntamente com a proposta apresentada por fornecedor reconhecido no mercado e o perfil de consumo de energia elétrica da instituição. Após as análises, o *payback* indicou um tempo de retorno do investimento de 5,04 anos, o VPL de R\$ 30.037.547,36, e a TIR de 30,34%, na qual a taxa mínima de atratividade adotada foi de 10%, indicaram um projeto economicamente viável e superavitário ao longo de sua vida útil.

**Palavras-chave:** Consumo de energia elétrica. Energia solar. Indicadores de viabilidade econômico-financeira. Usina solar fotovoltaica

### Abstract

*The sun is a source of light and life, where the emanating energy from it is virtually inexhaustible and can be used directly through a photovoltaic solar plant. The Northeast of Brazil has a high and almost uniform density of solar irradiation. Therefore, the installation of a photovoltaic plant connected to the grid at Federal Institute of Education, Science and Technology of Paraíba (IFPB), campus Princesa Isabel, the outback of Paraíba State, is interesting. In this way, the main objective of the exploratory research is to evaluate the project's economic viability, using economic and financial viability indicators for that, such as payback period, net present value (NPV), and internal rate of return (IRR), together with the proposal submitted by a supplier recognized in the market and the institution's electricity consumption profile. After the analysis, the payback indicated an investment payback time of 5.04 years, a NPV of R\$ 30,037,547.36, and an IRR of 30.34%, in which the minimum attractiveness rate adopted was 10%, indicating an economically viable and surplus project over its useful life.*

**Keywords:** Consumption profile electricity. Economic and financial viability indicators. Photovoltaic solar plant. Solar energy.

## 1 Introdução

O sol é fonte de luz e de vida, tratando-se da estrela mais próxima da Terra. Essencialmente, é uma gigantesca esfera de gás incandescente, onde em seu núcleo acontece a conversão energética por meio de reações termonucleares. A energia que emana do sol é praticamente inesgotável e

tem sido utilizada pela sociedade, de modo direto, de duas maneiras: energia solar fototérmica e energia solar fotovoltaica.

Dessa maneira, incide diariamente sobre a superfície do planeta uma enorme quantidade de energia emanada do sol, que é mais do que a demandada por todos os habitantes da Terra em um ano inteiro. Assim, através do efeito fotovol-

taico, objeto do presente trabalho, células solares convertem diretamente a energia do sol em energia elétrica de forma estática, sem ruídos, não poluente e renovável (RÚTHER, 2004).

Somando-se a isso, o Brasil possui uma irradiação solar uniforme ao longo de seu território, ainda que, também apresente diferenças climáticas ao longo do país. A máxima irradiação solar apresentada é de 6,5 kWh/m<sup>2</sup>.dia e ocorre entre o norte do estado da Bahia e a divisa do Piauí (PEREIRA; LIMA, 2008).

Assim, a unidade consumidora escolhida foi o *campus* Princesa Isabel do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), uma vez que existe a pretensão de instalação de um sistema que proporcione uma economia nos custos de manutenção sob a ótica da sustentabilidade. O *campus* está localizado em uma região com alta densidade de irradiação solar, uma vez que, valores médios aproximados de 700 W/m<sup>2</sup> são comuns no sertão paraibano. Além disso, o nível anual de chuvas é inferior a 1000 mm, possuindo temperaturas médias acima de 28°C e mínimos sinais de nebulosidades, o que garante uma boa operação de sistemas fotovoltaicos e permite a geração de eletricidade em um período maior durante o dia (FRANCISCO *et al.*, 2016).

Além do mais, o IFPB é uma instituição de ensino tecnológico, que possui entre umas de suas finalidades e características, “promover a produção, o desenvolvimento e a transferência de tecnologias sociais, notadamente as voltadas à preservação do meio ambiente” (BRASIL, 2008). Uma vez que tem adotado medidas contra o desperdício de energia elétrica e diminuição na geração de resíduos, a diretoria do IFPB, *campus* Princesa Isabel, mais do que economia na conta elétrica, obtém um importante *marketing*, para uma instituição com a responsabilidade social de ser exemplo de desenvolvimento sustentável.

Assim o presente artigo se propõe a realizar um estudo de caso que compara o retorno econômico advindo da instalação de uma usina de miniconversão energética conectada à rede em comparação à utilização da energia elétrica recebida diretamente da concessionária local. Ainda no presente artigo, descreve-se também, o tempo de retorno do investimento, em comparação com o tempo de vida útil do sistema, este apresentado pelo fornecedor dos equipamentos.

Nesse contexto, neste artigo é apresentada a possibilidade de obtenção de energia elétrica por meio da instalação de uma usina fotovoltaica no

sertão paraibano. Na seção 2, a fundamentação teórica da evolução da tecnologia de conversão fotovoltaica, das características regulatórias nacionais para a geração distribuída de energia, resoluções normativas da ANEEL, bem como serão apresentados os indicadores econômico que servirão de base para a tomada de decisão quanto à viabilidade econômica do projeto, sendo citadas ainda, algumas nuances locais que favorecem a esse tipo de tecnologia. Na seção 3 é explicitado a metodologia da pesquisa e os dados referentes ao padrão de consumo de energia elétrica da instituição escolhida para o estudo de caso. Na seção 4, são demonstrados gráficos de irradiação solar e de consumo elétrico, bem como os índices econômico-financeiros são obtidos dos dados coletados e tabulados, e assim sendo comparados para discussão da viabilidade do projeto. Por fim na seção 5, as conclusões deste trabalho são apresentadas, ressaltando os resultados econômicos da execução do projeto.

## 2 Referencial teórico

A obtenção de energia elétrica advinda de conversores fotovoltaicos tem crescido em nível global. No final de 2009 a capacidade instalada de conversores fotovoltaicos era de, aproximadamente, 23 GW, ao passo que em 2013 já era de quase 139 GW. (NAKABAYASHI, 2014) A ascensão de sistemas fotovoltaicos tem continuado e em 2016 atingiu o patamar global de 402 GW capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos. (SAWIN *et al.*, 2018)

De acordo com Brasil (2015a *apud* NÓBREGA *et al.*, 2019), 11% das instituições federais de ensino utilizam, como medida de redução de gastos com a conta de energia elétrica, a instalação de conversores fotovoltaicos. Tais medidas também têm suscitado “um efeito pedagógico no público, visto que sensibilizam a sociedade para a importância de ações sustentáveis” (LEE *et al.*, 2016 *apud* NOBREGA *et al.*, 2019, p. 184).

Para a instalação de uma usina solar fotovoltaica, é necessário levar em conta um estudo da viabilidade do projeto prospectado, assim, serão mostrados alguns métodos econômicos como, *payback*, valor presente líquido e taxa interna de retorno.

### 2.1 Conversão fotovoltaica

A cronologia da conversão fotovoltaica começa em 1839 com Edmond Becquerel, observando

e descobrindo o efeito fotovoltaico. Em 1883, Charles Fritts criou a primeira célula solar, confeccionada com selênio finamente revestido de ouro. Entretanto, a primeira célula solar moderna de silício foi desenvolvida e apresentada em 1954, pelos Laboratórios Bell (*Bell Labs*, em inglês).

Além dos equipamentos necessários para a obtenção da energia elétrica, convertida do sol, tem-se que, previamente, conhecer o recurso solar. Essa é a variável mais importante para o dimensionamento do sistema fotovoltaico a ser instalado. Com base nos dados levantados, pode-se: i) localizar adequadamente a instalação do sistema fotovoltaico; ii) dimensionar o conversor fotovoltaico; iii) calcular a capacidade de produção de energia anual, mensal e diária; iv) prever a possibilidade de troca de créditos, no sistema *on-grid* (PINHO; GALDINO, 2014).

Para a obtenção dos dados, existem instrumentos de medição da radiação solar que são capazes de medir a potência incidente por unidade de superfície, integrada sobre os diversos comprimentos de onda. As medições padrões são a radiação total e componente difusa no plano horizontal e a radiação direta normal. Dentre os mais comuns instrumentos de medição, tem-se: i) o heliógrafo, que é capaz de medir o número de horas de brilho de sol; ii) piranômetros que medem a radiação que vem de todas as direções no hemisfério; iii) piroheliômetros que medem a radiação direta; iv) actinógrafos que medem a radiação total ou sua componente difusa (OLIVEIRA, 2015).

Portanto, dentre os sistemas solares fotovoltaicos que se utilizam dos dados e das medições descritos no parágrafo acima, o modelo atual para um sistema solar fotovoltaico *on-grid*, que utilizaremos no caso em tela, é sucintamente bem descrito como:

[...] uma instalação solar fotovoltaica integrada a uma edificação e conectada à rede elétrica é composta por vários itens, incluindo painéis solares, sistema de fixação ao envoltório da construção, sistema conversor CC-CA (inversor), diodos de *bypass* e diodos de bloqueio, fusíveis e disjuntores, cabos elétricos, terminais, proteções contra sobretensões e descargas atmosféricas e caixas de conexão (RÜTHER, 2004, p. 18).

## 2.2 Parâmetros legais e conceituais

A obtenção da energia elétrica por meio de painéis solares, por exemplo, tem sido enquadra-

do como geração distribuída, e tem ajudado o Brasil no desafogamento de sua rede elétrica. Dessa maneira, o modelo de geração distribuída (GD) pode ser apresentado como, a possibilidade de gerar energia elétrica de forma descentralizada e próxima aos centros de carga onde a conexão do ponto de conversão energética ocorre, diretamente, na rede de distribuição de energia elétrica ou ao ponto da carga consumidora (ALVES; LIRA, 2018).

A GD é dividida em: micro e minigeração distribuída. De acordo com o Art. 1º da Resolução Normativa nº 687 de 24 de novembro de 2015, a micro e a minigeração distribuída são definidas como (ANEEL, 2015):

I - microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras; II - minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

Ainda no âmbito legislativo, a resolução normativa nº 482 da ANEEL, dispõe que, se a energia injetada na rede for superior à consumida, tem-se um “crédito de energia”, o qual não pode ser revertido em dinheiro. Entretanto, esse “crédito de energia” pode ser utilizado para abater o consumo da unidade consumidora nos meses subsequentes ou em outras unidades com o mesmo titular (desde que todas as unidades estejam na mesma área de concessão). A validade de tais créditos é de 60 meses (ANEEL, 2012).

No entanto, vale ressaltar que, não há possibilidade de a fatura ser zerada com a utilização de central de conversão energética elétrica, utilizando fonte renovável própria. Uma vez que sistemas de geração conectados à rede de distribuição, o consumidor pagará o valor equivalente à disponibilidade do sistema elétrico, conforme resolução normativa (ANEEL, 2012).

Além disso, vale explicar, também, alguns conceitos básicos relacionados à conversão energética elétrica. São eles: a unidade de medida watt (W), que indica a quantidade de energia

elétrica que um equipamento elétrico poderá consumir por unidade de tempo, expressa também em seus múltiplos, sendo, dessa maneira, uma medida de potência; a unidade quilowatt-hora (kWh), que é uma medida de energia e não de potência, que indica a quantidade de energia gerada ou consumida em uma hora; por fim, tem-se o quilowatt-pico (kWp), que é a potência máxima que um painel pode fornecer em condições ideais.

### 2.3 Indicadores de viabilidade econômico-financeira

Para analisar a viabilidade do projeto de instalação e uso de sistema de conversão energética solar fotovoltaica integrada à rede da concessionária local de distribuição de energia elétrica, vários indicadores de viabilidade econômico-financeira podem ser utilizados. Neste artigo são utilizados: i) o *payback* simples; ii) o valor presente líquido; iii) a taxa interna de retorno.

O *payback* é o período de recuperação do investimento. Ele funciona como um indicador que indica o intervalo de tempo no qual o empréstimo ou investimento levará para retornar ao investidor ou à empresa.

Além do mais, existem dois tipos de *payback*, o simples e o descontado, que divergem apenas, se, o valor do dinheiro é levado em conta no decorrer do tempo. O que será utilizado no presente trabalho é o simples, pois tem cálculo menos complexo (SANTOS; SOUZA; DALFIOR, 2016).

A maneira de calcular o *payback* simples é:

O critério consiste em somar os valores dos benefícios obtidos pela operação do projeto. O período *payback* é o tempo necessário para que esses benefícios totalizem o valor do investimento feito (ABREU FILHO *et al.*, 2007, p. 78).

O Valor Presente Líquido (VPL) de um fluxo de caixa utiliza uma equação matemática-financeira de todo o fluxo no tempo atual ou ao iniciar um investimento. Para estimar esse valor, é necessário somar as receitas líquidas futuras descontadas ao valor presente com uma taxa de desconto (ou taxa mínima de atratividade). O VPL é amplamente utilizado para planejar investimentos em longo prazo.

Dessa forma, o VPL é um ótimo procedimento para comparação de projetos diferentes, mas com

o mesmo horizonte de tempo. Uma vez que, segundo Abreu Filho *et al.* (2007, p. 83):

VPL é simplesmente a diferença entre o valor presente do projeto e o custo do projeto na data atual. VPL positivo significa que o projeto vale mais do que custa, ou seja, é lucrativo. VPL negativo significa que o projeto custa mais do que vale, ou seja, se for implementado, trará prejuízo.

$$V_{PL} = \sum_{n=1}^{n=N} \frac{\text{Fluxo de caixa líquido}}{(1 + \text{taxa de desconto})^{\text{período de tempo}}} \quad (1)$$

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é um método para a tomada de decisões de investimento por meio do fluxo de caixa descontado, sendo melhor, definida:

Uma técnica sofisticada de orçamento de capital; é a taxa de desconto que iguala o VPL de uma oportunidade de investimento a zero (isso porque o valor presente das entradas de caixa iguala-se ao investimento inicial). É a taxa de retorno anual composta que a empresa obterá se aplicar recursos em um projeto e receber as entradas de caixa previstas (GITMAN, 2010, p. 371).

A aceitação ou rejeição do investimento com base nesse método é definida pela comparação que se realiza entre a TIR encontrada e a taxa de atratividade imaginada para o projeto. Se a TIR exceder a taxa mínima de atratividade (TMA) o investimento é classificado como economicamente atraente. Caso contrário, há recomendação técnica de rejeição. Desse modo, se usa a Equação (1), onde, trocando-se a taxa de desconto pela TIR e igualando a equação à zero, é possível determinar o valor da TIR, na Equação (2) (BORDEAUX-REGO, 2015).

$$0 = \sum_{n=1}^{n=N} \frac{\text{Fluxo de caixa líquido}}{(1 + TIR)^{\text{período de tempo}}} \quad (2)$$

### 2.4 Condições físico-ambientais

A climatologia do sertão paraibano favorece para o desenvolvimento do potencial solar na região, na qual há temperatura média alta e com o céu na maior parte do ano sem nebulosidade. Tal tendência se mostra semelhante para, quase, todo o sertão paraibano, onde os valores de radiação solar são elevados, cerca de 700 W/m<sup>2</sup>, regime de chuvas com precipitação anual acumulada inferior a 1000 mm, temperatura média acima dos 25 °C. Portanto, essas características colaboram para

um período diurno maior para conversão energética com células fotovoltaicas (BARRETO NETO *et al.*, 2018).

### 3 Método da pesquisa

Este artigo caracteriza-se como uma pesquisa exploratória, que foi realizada mediante pesquisas bibliográficas e de um estudo de caso no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), na cidade de Princesa Isabel, estado da Paraíba.

A pesquisa exploratória tem como fim esclarecer e facilitar a orientação e fixação dos objetivos ou descobrir uma nova visão do assunto. Assim, tem-se como formas para esse tipo de pesquisa, as pesquisas bibliográficas e estudos de caso (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Os elementos referentes às condições de irradiação solar correlacionada à época do ano foram obtidos dos bancos de dados do *site* do CRESESB<sup>1</sup>.

As informações referentes ao padrão de consumo de energia elétrica foram coletadas de uma fatura da Energisa, distribuidora de energia elétrica do estado da Paraíba, fornecida pela instituição. Tal fatura tem um histórico do consumo, em quilowatts-hora, dos doze meses do ano 2019. Não obstante, aspectos referentes à série histórica de reajustes de preço das tarifas e demais conceitos pertinentes ao fornecimento de eletricidade, foram adquiridos através de canais disponibilizados pela concessionária.

Além do mais, foi retirado do Portal da Transparência do IFPB *campus* Princesa Isabel<sup>2</sup>, os valores das faturas pagas para os doze meses analisados de 2019, assim como do ano de 2018 e parte de 2020 que foram utilizados para melhor ambientar a pesquisa.

No que tange ao projeto de instalação da usina solar fotovoltaica, as características de conversão energética elétrica do sistema, potência da usina, vida útil estimada e valor inicial previsto do investimento foram baseadas em um estudo de viabilidade, realizado por um fornecedor do IFPB e disponibilizados para compor o material deste estudo de caso.

Por fim, foi realizada a tabulação dos dados e executados os cálculos dos indicadores de viabilidade econômico-financeira. Para tanto, os índi-

ces econômicos usados para comparar e avaliar financeiramente o projeto foram escolhidos após pesquisas bibliográficas, tomando-se sempre em consideração as questões de similaridade de cenários.

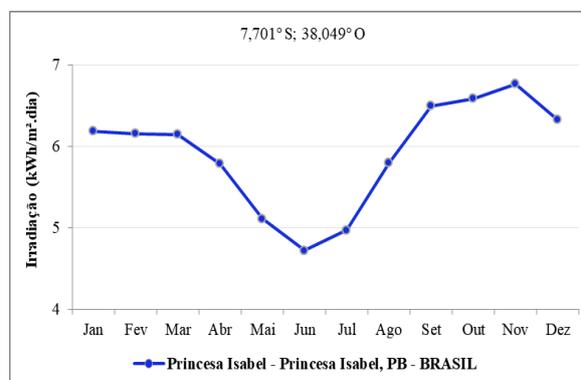
### 4 Resultado da pesquisa

#### 4.1 Características do local de estudo

O IFPB – Campus Princesa Isabel possui coordenadas geográficas  $-7,757541$ ,  $-38,018101$ , após inserir tais dados no SunData v 3.0, disponível de forma *on line* no site do CRESESB. Desta maneira foi possível obter dados de irradiação solar no plano inclinado de uma estação (latitude:  $7,701^\circ$  S; longitude:  $38,049^\circ$  O) localizada na cidade de Princesa Isabel, sertão paraibano.

Nas Figuras 1 e 2 são ilustrados, graficamente, os dados da Tabela 1. Tais dados se encontram disponíveis a todos e também foram usados por uma empresa fornecedora do IFPB que os utilizou para elaborar um estudo de viabilidade de usina geradora fotovoltaica.

Figura 1 – Irradiação solar no plano horizontal para a cidade de Princesa Isabel-PB.

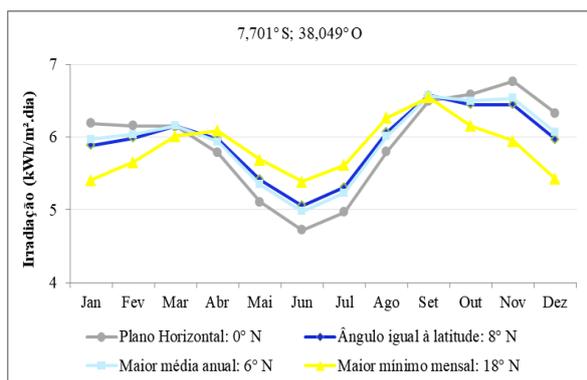


Fonte: adaptado CRESESB (2019).

Figura 2 – Irradiação solar no plano inclinado para a cidade de Princesa Isabel-PB.

<sup>1</sup> CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito). <http://www.cresesb.cepel.br/>

<sup>2</sup> IFPB Campus Princesa Isabel: <https://bit.ly/2MVL0DO>.



Fonte: adaptado CRESESB (2019).

O perfil de consumo de energia elétrica para o *campus* está indicado na Tabela 2, e ilustrado graficamente na Figura 3, que foi retirado de uma fatura da energia elétrica do *campus*. A unidade consumidora em questão, pertence ao grupo de alta tensão A4, referente ao poder público, com tensão trifásica, praticante da tarifa horo-sazonal verde e com demanda contratada de 100 kW. Assim, na fatura estavam os demonstrativos de consumo dos doze meses, imediatamente anteriores ao de referência, que foi dezembro de 2019 (ANEEL, 2012).

#### 4.2 Perfil de consumo energético

Tabela 1 – Dados da estação do CRESESB.

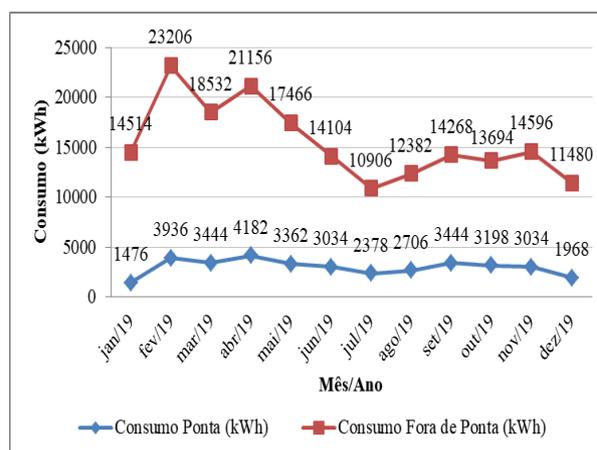
| Ângulo                  | Inclinação | Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |         |       |
|-------------------------|------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|---------|-------|
|                         |            | Jan   | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  | Média | Mediana | Delta |
| Plano horizontal        | 0° N       | 6,19  | 6,16 | 6,15 | 5,79 | 5,11 | 4,72 | 4,97 | 5,80 | 6,50 | 6,59 | 6,77 | 6,33 | 5,92  | 6,16    | 2,05  |
| Ângulo igual à latitude | 8° N       | 5,89  | 5,99 | 6,15 | 5,98 | 5,42 | 5,06 | 5,31 | 6,07 | 6,58 | 6,45 | 6,45 | 5,97 | 5,94  | 5,99    | 1,52  |
| Maior média anual       | 6° N       | 5,97  | 6,04 | 6,16 | 5,94 | 5,35 | 4,98 | 5,23 | 6,01 | 6,57 | 6,50 | 6,54 | 6,07 | 5,95  | 6,03    | 1,58  |
| Maior mínimo mensal     | 18° N      | 5,41  | 5,66 | 6,02 | 6,09 | 5,69 | 5,39 | 5,62 | 6,27 | 6,55 | 6,16 | 5,95 | 5,43 | 5,85  | 5,82    | 1,15  |

Fonte: adaptado CRESESB (2019).

Tabela 2 – Padrão de energia elétrica do IFPB, campus Princesa Isabel, ano 2019.

| Mês/Ano | Consumo ponta (kWh) | Consumo fora de ponta (kWh) | Total consumo (kWh) | Valor da fatura (R\$) |
|---------|---------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------|
| jan/19  | 1476                | 14514                       | 15990               | R\$ 13.654,01         |
| fev/19  | 3936                | 23206                       | 27142               | R\$ 23.538,22         |
| mar/19  | 3444                | 18532                       | 21976               | R\$ 20.104,81         |
| abr/19  | 4182                | 21156                       | 25338               | R\$ 23.010,27         |
| mai/19  | 3362                | 17466                       | 20828               | R\$ 19.411,87         |
| jun/19  | 3034                | 14104                       | 17138               | R\$ 17.162,00         |
| jul/19  | 2378                | 10906                       | 13284               | R\$ 14.245,26         |
| ago/19  | 2706                | 12382                       | 15088               | R\$ 16.535,76         |
| set/19  | 3444                | 14268                       | 17712               | R\$ 17.340,47         |
| out/19  | 3198                | 13694                       | 16892               | R\$ 16.395,98         |
| nov/19  | 3034                | 14596                       | 17630               | R\$ 16.380,24         |
| dez/19  | 1968                | 11480                       | 13448               | R\$ 12.082,29         |

Fonte: dados da pesquisa.



Fonte: dados da pesquisa.

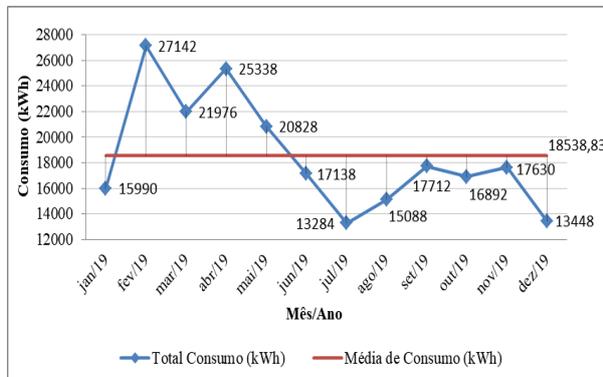
Figura 3 – Consumo de energia em horário de ponta e fora de ponta ao longo do ano de 2019.

A média de consumo total de energia, no período analisado, ilustrada na Figura 4, foi de 18.538,83 kWh, com a média da conta de energia elétrica em R\$ 17.488,43. O custo da energia elétrica no ano de 2019 foi de R\$ 209.861,18.

A oscilação que existe na utilização da eletricidade ao longo do ano, traduz-se na variação em torno da média. Tal fato coincide com o ano leti-

vo e com as mudanças climáticas inerentes a cada estação do ano.

Figura 4 – Relação entre o consumo total de energia e média anual.



Fonte: dados da pesquisa.

Desse modo, tornar-se-á interessante à adoção de algum sistema que permita reduzir os impactos gerenciais e orçamentários que as oscilações bruscas, em relação à média, dos valores de consumo de energia trazem para o IFPB. Quando o consumo está muito acima da média, período em que alunos e professores estão em atividade no *campus*, as possibilidades de investimentos em novos projetos encontram-se financeiramente limitadas. No outro extremo, para valores abaixo da média, existe uma maior folga orçamentaria, porém o IFPB está com as atividades reduzidas e ou suspensas.

O consumo (anual) de 443.777,44 kWh/anual foi calculado, a partir da soma entre os totais de consumo em Ponta ( $P$ ), 36.162 kWh e Fora de Ponta ( $FP$ ), 186.304 kWh. No entanto, a razão entre as tarifas  $P$  e  $FP$ , está em, aproximadamente, 7,12, ou seja, para cada 1 kWh do horário de ponta, equivale a 7,12 kWh do horário fora de ponta. Somando-se ao fato de que o horário de ponta ocorre à noite e para tornar realístico o dispêndio de energia elétrica frente ao cenário da conversão energética fotovoltaica *on grid*, a consumação  $P$  foi convertida para a  $FP$  pela multiplicação do fator mencionado.

$$\begin{aligned}
 \text{Anual} &= P + FP \\
 P &= 7,12 \times FP \\
 \text{Anual} &= 7,12 \times 36162 + 186304 \\
 \text{Anual} &= 443777,44 \text{ kWh}
 \end{aligned}
 \quad (3)$$

Pode-se observar que o consumo no horário de Ponta é quem possui maior peso (monetário) no valor da fatura, e que uma compensação no valor

do kWh do horário de ponta (DANTAS; POMPERMAYER, 2018). Também poderia permitir que o IFPB tivesse mais cursos à noite, e usar mais das instalações nesse horário, ofertando aos alunos que trabalhem de dia, a possibilidade de estudar à noite e não onerem tanto o orçamento do instituto. Deve-se ressaltar que a empresa de distribuição de energia local toma como horário de ponta o período das 17h30min às 20h29min, em dias úteis.

#### 4.3 Projeto de instalação da usina fotovoltaica

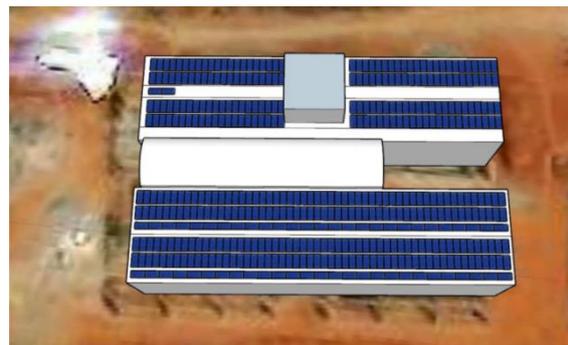
Os valores para o dimensionamento da usina fotovoltaica para a geração de eletricidade encontram-se na Tabela 3. Os dados estão de acordo com a demanda do cliente, e foram obtidos por empresa especializada no assunto e com *know-how* reconhecido no mercado. Na Figura 5 é indicada a simulação da planta dos painéis da usina.

Tabela 3 – Dados do projeto da usina fotovoltaica.

|                                |                |
|--------------------------------|----------------|
| Potência da usina fotovoltaica | 213,84 kWp     |
| Investimento                   | R\$ 855.360,00 |
| Geração anual                  | 356.674,86 kWh |
| Geração média mensal           | 29.722,9 kWh   |
| Irradiação média mensal        | 5,94 kWp       |
| Eficiência global              | 0,78           |

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 5 – Simulação da planta em estudo.



Fonte: dados da pesquisa.

A potência de 213,84 kWp da usina é suficiente para gerar 356.674,86 kWh anualmente, e essa geração não seria capaz de cobrir cem por cento da conta de energia anual estimada. No entanto, dependendo da gestão de consumo e manutenção predial, bem como do trabalho de conscientização dos usuários, essa geração poderia sim cobrir todo o valor consumido. Lembrando que, existe

uma demanda contratada, então a conta da concessionária nunca seria zerada, de fato.

A usina geradora tem uma vida útil estimada de 25 anos, na qual será instalada no telhado do prédio de salas de aulas. Estimou-se que esse kit de 213,84 kWp possa gerar cerca de 29.722,90 kWh/mês/ano.

A eficiência produtiva dos painéis solares decai, uma média de 1% no primeiro ano e 0,7% por ano, nos períodos subsequentes (PORTAL SOLAR, 2015). Os valores, ano após ano, da geração estimada da usina foram multiplicados por tais fatores, gerando a coluna “Geração anual da usina projetada convertido FP (kWh)” indicada na Tabela 4.

Tabela 4 – Viabilidade econômica para a conversão de energia solar no IFPB campus Princesa Isabel.

| Ano                           | Consumo anual padrão de consumo convertido FP (kWh) | Geração anual da usina projetada convertido FP (kWh) | Tarifa equivalente FP | Fatura (R\$) | Fluxo de caixa (R\$) | Acumulado (R\$) |
|-------------------------------|---|--|-----------------------|--------------|----------------------|-----------------|
| 0                             |   |  |                       | 168.724,63   | -855.360,00          |                 |
| 1                             | 443777,44   | 356674,86  | 0,38                  | 168.724,63   | 135.608,14           | -719.751,86     |
| 2                             | 443777,44   | 353108,11  | 0,43                  | 188.871,68   | 150.282,81           | -569.469,05     |
| 3                             | 443777,44   | 350636,35  | 0,48                  | 211.536,28   | 167.138,53           | -402.330,52     |
| 4                             | 443777,44   | 348181,90  | 0,53                  | 236.920,63   | 185.884,79           | -216.445,73     |
| 5                             | 443777,44   | 345744,63  | 0,60                  | 265.351,11   | 206.733,63           | -9.712,10       |
| 6                             | 443777,44   | 343324,41  | 0,67                  | 297.193,24   | 229.920,87           | 220.208,78      |
| 7                             | 443777,44   | 340921,14  | 0,75                  | 332.856,43   | 255.708,80           | 475.917,57      |
| 8                             | 443777,44   | 338534,70  | 0,84                  | 372.799,20   | 284.389,10           | 760.306,67      |
| 9                             | 443777,44   | 336164,95  | 0,94                  | 417.535,11   | 316.286,18           | 1.076.592,84    |
| 10                            | 443777,44   | 333811,80  | 1,05                  | 467.639,32   | 351.760,83           | 428.353,68      |
| 11                            | 443777,44   | 331475,12  | 1,18                  | 523.756,04   | 391.214,33           | 1.819.568,01    |
| 12                            | 443777,44   | 329154,79  | 1,32                  | 586.606,76   | 435.092,93           | 2.254.660,94    |
| 13                            | 443777,44   | 326850,71  | 1,48                  | 656.999,58   | 483.892,95           | 2.738.553,89    |
| 14                            | 443777,44   | 324562,75  | 1,48                  | 656.999,58   | 480.505,70           | 3.219.059,59    |
| 15                            | 443777,44   | 322290,81  | 1,48                  | 656.999,58   | 477.142,16           | 3.696.201,75    |
| 16                            | 443777,44   | 320034,78  | 1,48                  | 656.999,58   | 473.802,17           | 4.170.003,92    |
| 17                            | 443777,44   | 317794,53  | 1,48                  | 656.999,58   | 470.485,55           | 4.640.489,47    |
| 18                            | 443777,44   | 315569,97  | 1,48                  | 656.999,58   | 467.192,15           | 5.107.681,62    |
| 19                            | 443777,44   | 313360,98  | 1,48                  | 656.999,58   | 463.921,81           | 5.571.603,43    |
| 20                            | 443777,44   | 311167,45  | 1,48                  | 656.999,58   | 460.674,35           | 6.032.277,78    |
| 21                            | 443777,44   | 308989,28  | 1,48                  | 656.999,58   | 457.449,63           | 6.489.727,41    |
| 22                            | 443777,44   | 306826,36  | 1,48                  | 656.999,58   | 454.247,49           | 6.943.974,90    |
| 23                            | 443777,44   | 304678,57  | 1,48                  | 656.999,58   | 451.067,75           | 7.395.042,65    |
| 24                            | 443777,44   | 302545,82  | 1,48                  | 656.999,58   | 447.910,28           | 7.842.952,93    |
| 25                            | 443777,44   | 300428,00  | 1,48                  | 656.999,58   | 444.774,91           | 8.287.727,84    |
| <i>Payback simples (anos)</i> |   |  |                       |              |                      | 5,04            |
| TMA (%)                       |   |  |                       |              |                      | 10              |
| VPL (R\$)                     |   |  |                       |              |                      | 30.037.547,36   |
| TIR (%)                       |   |  |                       |              |                      | 30,34           |

Fonte: dados da pesquisa.

#### 4.4 Viabilidade econômico-financeira do projeto

Os valores percentuais das diferenças tarifárias, para o valor do kWh fora de ponta, foram obtidos utilizando-se do histórico das variações de 2014 a 2018, disponíveis no site da Energisa Paraíba<sup>3</sup>. Assim, uma previsão para dados até o ano 13 foi realizada usando como base o padrão móvel dos anos citados, e para além desse intervalo considerou-se constante devido às incertezas quanto à estimativa do valor para um grande período.

A TMA (Taxa Mínima de Atratividade) é definida como a taxa de remuneração mínima de um projeto para que ele se torne viável. A definição dessa taxa é um tanto quanto subjetiva e, reflete a remuneração que poderia ser obtida caso se optasse por um investimento alternativo de perfil de risco semelhante. Dessa maneira, mantendo um perfil conservador, uma TMA de 10% ao ano foi estabelecida, uma vez que fundos de renda fixos como títulos públicos, com retornos maiores que a economia, podem superar 8% ao ano quando selecionados com planos de resgate em prazos médios e longos.

O *payback* simples foi escolhido, uma vez que, o investimento tem finalidade específica e pré-definida por questões legais e da Administração Pública. Desse modo, a cobertura do custo de capital próprio ou de terceiros não teria um peso considerável para o entendimento do estudo de caso em questão (MIRANDA, 2014).

Após a análise do *payback* simples, foi verificado que o tempo de retorno do investimento acontece em 5,04 anos. Portanto, para esse indicador o projeto é interessante e viável, trazendo retornos financeiros em um intervalo curto.

Além do *payback* simples, outros indicadores foram usados como o VPL, que teve um valor de R\$ 30.037.547,36, no qual sendo positivo, demonstra a viabilidade do projeto. Já a TIR, apresentou um valor 30,34%, sendo superior ao da TMA, configurando um projeto viável financeiramente.

Cabe salientar ainda, que a economia acumulada durante seis anos (soma dos fluxos de caixas) proporciona um valor de R\$ 1.075.568,78

que representa um saldo positivo de R\$ 220.208,78, superior ao custo total da instalação do sistema fotovoltaico. Não obstante, é possível concluir, que para uma TMA de 10% ao ano, o projeto de energia fotovoltaica, que é uma fonte de energia limpa, sustentável e sem emitir resíduos, é uma alternativa viável para a redução de custos, diversificação energética e utilização como exemplo prático-pedagógica para a visão ambiental e tecnológica que o IFPB possui, no período analisado, considerando os dados projetados.

#### 5 Conclusões

A análise financeira da construção de uma usina de geração solar fotovoltaica *on grid* demonstra a possibilidade de redução dos custos de manutenção e a perspectiva de uma maior utilização das instalações do equipamento, sem afetar, sobremaneira, a conta de energia.

Assim, conclui-se que o projeto possui viabilidade econômica e pode ser executado, trazendo economia de gastos com energia elétrica. Somase o fato, de que, depois de pago o projeto, o valor economizado na fatura, tornar-se-á uma verba disponível para outras ações/atividades e vinculadas ao custeio/funcionamento da instituição.

Como sugestões para ações futuras e possibilidade de estudos, deve-se realizar um estudo sobre como proceder com os equipamentos quando do fim da vida útil dos mesmos e as possibilidades que podem surgir da reciclagem destes componentes. Além deste, sugere-se que, sejam realizados estudos para monitorar a eficiência energética da usina fotovoltaica comparando o que é afirmado pelos fornecedores, com medições reais (instantâneas e médias) e com as simulações, afim de que se prevejam possíveis falhas catastróficas e perdas consideráveis de conversão/energia.

#### Referências

ABREU FILHO, J. C. F. *et al.* Finanças corporativas. Rio de Janeiro: Ed. FGV, 2007.

ALVES, D. R. S.; LIRA, M. A. T. Estudo de viabilidade técnica e econômica para implantação de energia solar fotovoltaica em unidade consumidora no Aeroporto de

<sup>3</sup>Energisa Paraíba: <https://bit.ly/2MSIznj>

- Teresina no Estado do Piauí. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais** [...]. Gramado: ABENS, 2018.
- ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília: ANEEL, 2012.
- ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição - PRODIST. Brasília: ANEEL, 2015.
- BARRETO NETO, A. G. S. *et al.* Energia solar na Paraíba: perspectivas e desenvolvimento. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE, 15., 2018, Poços de Caldas. **Anais** [...] 2018.
- BORDEAUX-REGO, R. Viabilidade econômico-financeira de projetos. [S.l.]: Editora FGV, 2015.
- BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. **Lei 11.892, de 29 de dezembro de 2008**. Institui a Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica, cria os Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia, e dá outras providências. Brasília (Brasil): Presidência da República, 2008. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2008/Lei/L11892.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Lei/L11892.htm). Acesso em: 10 nov. 2019.
- CRESESB. (s.d.). Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>. Acesso em: mar. 2020.
- DANTAS, S. G.; POMPERMAYER, F. M. **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico**. Texto para discussão 2388. Brasília: IPEA, 2018. 42 p.
- FRANCISCO, P. R. M. et al. Mapeamento da insolação do estado da Paraíba utilizando krigagem. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 33, n. 1, p. 248-262, 2016.
- GITMAN, L. J. Princípios da administração financeira. 12. ed. São Paulo: Pearson, 2010.
- MIRANDA, A. B. C. M. Análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede. 2014. 86 f. Projeto de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica, UFRJ, Rio de Janeiro, 2014.
- NAKABAYASHI, R. K. Microgeração fotovoltaica no Brasil: condições atuais e perspectivas futuras. 2014. 107 f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.
- NÓBREGA, B. S. *et al.* Comparação entre sistemas fotovoltaicos em modo fixo e com seguidor em uma instituição pública de ensino no Nordeste do Brasil. *Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB*, n. 46, p. 182-195, 2019.
- PEREIRA, E. B.; LIMA, J. H. (org.). **Solar and wind energy resource assessment in Brazil**. São José dos Campos: MCT/INPE, 2008.
- PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos** (Edição revisada e atualizada). Rio de Janeiro: CEPEL/CRESESB, 2014.
- PORTAL SOLAR. Quanto tempo duram os painéis solares? 2015. Disponível em: <https://bit.ly/2YEftKS>. Acesso em: ago. 2020.
- PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Freevale, 2013.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos**: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil. 1. ed. Florianópolis (Brasil): UFSC/LABSOLAR, 2004.

SANTOS, F. A.; SOUZA, C. A.; DALFIOR, V. A. O. Energia solar: um estudo sobre a viabilidade econômica de instalação do sistema fotovoltaico em uma residência em Ipatinga-MG. *In*: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA (XIII SEGET), 8., 2016, Rio de Janeiro. **Anais...** Resende: AEDB, 2016.

SAWIN, J. L. *et al.* **Renewables 2018 global status report**. Paris: REN21 Secretariat, 2018.