

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

FLÁVIA RIBEIRO

**ESTUDO DE CASO: IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA  
FOTOVOLTAICO *ON-GRID* EM PIQUIRIVAÍ – PARANÁ**

CAMPO MOURÃO

2019

FLÁVIA RIBEIRO

**ESTUDO DE CASO: IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA  
FOTOVOLTAICO *ON-GRID* EM PIQUIRIVAÍ – PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso, do curso de Engenharia Ambiental, do Departamento Acadêmico de Ambiental (DAAMB), do Campus Campo Mourão, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. José Hilário Delconte Ferreira

CAMPO MOURÃO

2019



## TERMO DE APROVAÇÃO

### ESTUDO DE CASO: IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO *ON-GRID* EM PIQUIRIVAÍ – PARANÁ

por

**FLÁVIA RIBEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no dia 04 de dezembro de 2019 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão. O(A) discente foi arguido(a) pela Comissão Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a comissão considerou o trabalho APROVADO.

---

Prof. Radames Juliano Halmeman

**Avaliador(a) UTFPR**

---

Prof. Jordana Dorca dos Santos

**Avaliador(a) UTFPR**

---

Prof. José Hilário Delconte Ferreira

**Orientador(a) UTFPR**

*“O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental”*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aos meus pais, Benedito Ribeiro da Silva e Ivone Marques de Souza Ribeiro, por toda luta e dedicação em tentar proporcionar uma vida melhor aos seus filhos, por ser fonte de inspiração e exemplo de pessoas trabalhadoras e humilde. Vocês foram essenciais nessa minha caminhada, onde sem medir esforços, amor, carinho e paciência me fizeram chegar até aqui, sendo meu alicerce em todos os momentos fazendo com que eu sempre siga em frente. Hoje, essa vitória é nossa e é tão brilhante quanto o futuro que comporemos juntos!

Agradeço ao meu irmão Francisco Ribeiro da Silva Neto e a toda família, por me guiarem nessa caminhada, por todo o amor e por todo apoio e dedicação que tiveram comigo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Hilário Delconte Ferreira por toda a paciência e dedicação. Aos professores que contribuíram para minha formação juntamente com toda a instituição UTFPR. Em especial agradeço a minha Professora Dr<sup>a</sup> Maria Cristina Rodrigues Halmeman, por toda paciência, dedicação e principalmente, pelos ensinamentos transmitidos de uma forma carinhosa e exemplar.

Sou grata há todos os amigos que estiveram sempre ao meu lado nessa trajetória, especialmente ao Cleber Fernandes Leal, Matheus Feza Ferrari, Rafaela Bernardes, Rafael Gomes, Franciele Gomes, Mauricio Flauzino, Edmar Santos, Fabiana Costa, Mariana Biel, Bruna Grugel, Letícia Pedrão, Raíssa Amadeo, Carise Prado, Natália Suman, Aline Panzarini, Danieli Alves, Karol Rodrigues.

Em especial, agradeço ao Érico Borges Fernandes por se fazer presente nessa jornada, me apoiando e incentivando essa conquista de uma forma paciente e dedicada. Obrigada por todo zelo, parceria e carinho.

Por fim, agradeço ao Sr. Mauro Raimundo, representante da empresa Usicampo Indústria Metalúrgica, que se disponibilizou e forneceu todas as informações necessárias para a realização deste trabalho.

## RESUMO

Devido a sua localização intertropical e características do sistema elétrico, o Brasil apresenta condições positivas para o aproveitamento da geração fotovoltaica, onde a partir dos incentivos do governo através da Resolução normativa nº 482 de 2012 e de sua melhoria na Resolução normativa nº 687 de 2015, faz com que esse setor renovável passe por momento de expansão. Esse mercado está cada vez mais aprimorado e eficiente, contudo, mesmo com a grande oferta de equipamentos os valores desses são considerados elevados, portanto é necessário que faça uma análise financeira criteriosa que justifique o investimento, considerando o potencial solar da região e os custos do projeto. Sob o aspecto ambiental há a redução da emissão de gases do efeito estufa, da emissão de materiais particulados e do uso de água para geração de energia elétrica. Dessa forma, neste trabalho foi realizado um estudo de caso do sistema fotovoltaico *on-grid* instalado em uma área rural no distrito de Piquirivaí – PR, sendo toda energia produzida transmitida para a concessionária (COPEL), que realizará o procedimento do sistema de compensação de energia gerada mensalmente no empreendimento que fornecem serviços especializados em metalurgia industrial que está localizada no município de Campo Mourão – PR, se tendo como utilização de uma fonte de energia elétrica considerada limpa, renovável e inesgotável apresentando um baixo impacto ambiental. Tendo isso em vista, este trabalho além de apresentar os equipamentos e fundamentos da geração fotovoltaica, sintetizar as etapas de projeto, instalação e procedimentos de conexão à rede elétrica, também analisa a viabilidade econômica, onde os dados foram coletados através de entrevistas e documentos fornecidos pelo empreendedor para então ser realizado o fluxo de caixa e os cálculos de viabilidade através das fórmulas de engenharia econômica (VPL, TIR, *payback* e ROI), resultando em uma TIR de 41% onde se encaixa no cenário correspondente a  $TIR > TMA$ , o VPL no final do período de 25 anos apresentou valor de R\$ 1.273.267,94, o ROI de 28,88% e o *payback* calculado para 3 anos e 4 meses para o retorno do investimento, onde após as análises desses parâmetros pôde-se concluir que a utilização do sistema fotovoltaico *on-grid* nessa empresa tem total viabilidade econômica no atual cenário.

**Palavras-chaves:** Energia solar, produção de energia, viabilidade econômica.

## ABSTRACT

Due to its intertropical location and characteristics of the electric system, Brazil presents positive conditions for the use of photovoltaic generation, where from government incentives through Normative Resolution No. 482 of 2012 and its improvement in Normative Resolution No. 687 of 2015, This renewable sector is undergoing expansion. This market is increasingly improved and efficient, but even with the large supply of equipment these values are considered high, so it is necessary to make a careful financial analysis that justifies the investment, considering the solar potential of the region and the costs of the project. From an environmental point of view, there is a reduction in greenhouse gas emissions, the emission of particulate materials and the use of water to generate electricity. Thus, in this work a case study of the on-grid photovoltaic system installed in a rural area in the district of Piquirivaí - PR was carried out. Monthly energy generated in the venture that provide specialized services in industrial metallurgy that is located in the city of Campo Mourão - PR, using a source of electricity considered clean, renewable and inexhaustible presenting a low environmental impact. With this in mind, this work presents the photovoltaic equipment and fundamentals, synthesizes the design stages, installation and procedures for connection to the grid, also analyzes the economic viability, where data were collected through interviews and documents provided. cash flow and viability calculations using economic engineering formulas (NPV, IRR, payback and ROI), resulting in an IRR of 41% where it fits into the scenario corresponding to  $IRR > TMA$ , NPV at the end of the 25-year period was R \$ 1,273,267.94, ROI of 28.88% and payback calculated for 3 years and 4 months for return on investment, where after analyzing these parameters It can be concluded that the use of on-grid photovoltaic system in this company has total economic viability in the current scenario.

**Keywords:** Solar energy, energy production, economic viability.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 – Localização da área do objeto de pesquisa .....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 2 – Fluxograma da metodologia aplicada .....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 3 – Instalação da estrutura de fixação dos painéis fotovoltaicos .....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 4 – Instalação dos painéis fotovoltaicos .....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 5 – Instalação dos painéis fotovoltaicos .....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 6 – Placas fotovoltaicas instaladas .....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 7 – Placas fotovoltaicas instaladas .....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 8 – Estrutura para proteção do inversor e painéis instalados sob o telhado .....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 9 – Registro de luz ligado ao poste que demanda a energia direta à rede .....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 10 – Fluxograma das etapas com a concessionária .....</b>	<b>30</b>

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1 – Valores das Maiores médias anual de irradiação solar em regiões próximas ao município de Campo Mourão – PR .....</b>	<b>31</b>
<b>Gráfico 2 - Valores das Maiores mínimos mensal de irradiação solar em regiões próximas ao município de Campo Mourão – PR .....</b>	<b>31</b>
<b>Gráfico 3 - Consumo mensal de potência em kWh no empreendimento no período de um ano antes da instalação do sistema fotovoltaico <i>on-grid</i> .....</b>	<b>32</b>
<b>Gráfico 4 - Produção mensal de potência em kWh pela instalação do sistema fotovoltaico <i>on-grid</i> .....</b>	<b>33</b>
<b>Gráfico 5 – Comportamento do indicador de retorno financeiro com relação aos anos .....</b>	<b>38</b>



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 – Custo total do projeto, investido pelo empreendedor .....</b>	<b>34</b>
<b>Tabela 2 – Variação no valor de energia elétrica .....</b>	<b>34</b>
<b>Tabela 3 - Variação da taxa de inflação .....</b>	<b>35</b>
<b>Tabela 4 – Valores da taxa Selic dos anos de 2013 a 2018 .....</b>	<b>35</b>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1 Objetivos.....</b>	<b>11</b>
1.1.1 Objetivo Geral .....	11
1.1.2 Objetivos Específicos .....	11
<b>1.2 Justificativa .....</b>	<b>11</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Sistema Fotovoltaico.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2 Componentes do Sistema .....</b>	<b>12</b>
2.2.1 Detalhamento dos Componentes .....	14
<b>2.3 Legislação brasileira sobre sistemas de geração fotovoltaica de energia elétrica .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4 Potencial de radiação solar no Brasil.....</b>	<b>17</b>
<b>2.5 Estudo de viabilidade econômica .....</b>	<b>18</b>
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 Preparação da área do objeto de pesquisa .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2 Etapas da concessionária .....</b>	<b>20</b>
<b>3.3 Instalação.....</b>	<b>21</b>
<b>3.4 Levantamento do consumo e da produção média de energia.....</b>	<b>21</b>
<b>3.5 Comprovar a viabilidade econômica do projeto.....</b>	<b>21</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>23</b>
<b>4.1 Preparação/ instalação do sistema fotovoltaico na área de estudo .....</b>	<b>23</b>
<b>4.2 Processo de solicitação e aprovação do sistema fotovoltaico pela concessionária .....</b>	<b>29</b>
<b>4.3 Irradiação Solar.....</b>	<b>31</b>
<b>4.4 Levantamento do consumo e da produção média de energia gerada pelo sistema implantado.....</b>	<b>32</b>
<b>4.5 Cálculo da viabilidade econômica .....</b>	<b>34</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>39</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>40</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O sistema *On-Grid* funciona em função de sua conexão à rede de transmissão, sendo um sistema autônomo, permitindo que a energia produzida em excesso e que não for consumida pela residência ou empreendimento seja repassada para a rede de transmissão e sendo nesta convertida em créditos de energia para a mesma, estabelecendo a energia de compensação. Esta troca de energia com as concessionárias para quem adquirir esse sistema, faz com que a redução dos custos em kWh seja demonstrada na conta de energia (BOSO; GABRIEL; GABRIEL FILHO, 2015).

Devido à preocupação com a preservação do meio ambiente e a procura por menores gastos no consumo, se faz necessário a busca por fontes alternativas para a geração de energia sustentável onde no Brasil, além de apresentar diversas fontes também se tem um potencial expressivo de radiação solar que auxiliam a produção e conversão em energia elétrica através do Sistema Fotovoltaico (NASCIMENTO, 2017).

Destaca-se como benefícios à produção de energia elétrica por fontes naturais, sendo no caso o sistema fotovoltaico que apesar dos custos de aquisição ainda elevados para boa parte da população brasileira, estes se tornam uma fonte alternativa de baixo custo ao longo prazo. Sob o aspecto ambiental há a redução da emissão de gases do efeito estufa, da emissão de materiais particulados e do uso de água para geração de energia elétrica. Com relação a benefícios socioeconômicos, a geração de energia solar fotovoltaica contribui com a geração de empregos locais, o aumento da arrecadação e o aumento de investimentos (NASCIMENTO, 2017).

O sistema fotovoltaico pode ser instalado em locais distantes de áreas urbanas, operando como centrais geradoras de energia elétrica, ou instalada no próprio local de uso da energia produzida interligada à rede elétrica (SIGNORINI; VIANNA; SALAMONI, 2014).

Dessa forma, neste trabalho foi realizado um estudo de caso do Sistema Fotovoltaico instalado em uma área rural no distrito de Piquirivaí – PR, sendo toda energia produzida transmitida para a concessionária (COPEL), que realizará o procedimento do sistema de compensação de energia gerada mensalmente no empreendimento que fornecem serviços especializados em metalurgia industrial que está localizada no município de Campo Mourão – PR, se tendo como utilização de uma fonte de energia elétrica considerada limpa, renovável e inesgotável apresentando um baixo impacto ambiental.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo Geral

Estudar o processo de instalação Sistema Fotovoltaico *On-Grid* no distrito de Piquirivaí - PR.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Acompanhar o processo de preparação do local para implantação do Sistema Fotovoltaico *On-Grid*;
- Levantar informações sobre níveis de radiação solar do distrito em estudo, comparados com a irradiação global;
- Levantar qual a produção média de energia gerada pelo sistema Fotovoltaico *On-Grid* a ser implantado;
- Descrever o processo de solicitação e aprovação do sistema fotovoltaico *On-Grid* pela concessionária;
- Analisar a viabilidade econômica do investimento do projeto considerando o consumo histórico de energia elétrica na empresa, através dos cálculos de *payback*, valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e retorno sobre o investimento (ROI).

## 1.2 Justificativa

A energia solar apresenta diversas vantagens se comparada a outras fontes. Como ela é renovável, inesgotável e não emite gases poluidores, é considerada de baixo impacto ambiental, ao contrário das hidrelétricas, as placas fotovoltaicas não requerem uma grande área de instalação nem o desmatamento de vegetações para que possam funcionar.

Por todos esses motivos, ela é considerada limpa e importante para o controle do meio ambiente. Além de não retirar da natureza recursos essenciais à vida, como a água potável, não emite gases do efeito estufa, como os combustíveis fósseis, nem polui rios e mares com vazamentos, como o petróleo, por exemplo.

Dessa forma, este trabalho contribui como um estudo de caso da instalação do Sistema Fotovoltaico *on-grid*, estabelecendo um sistema de compensação de energia e se tendo como utilização de uma fonte de energia elétrica sustentável.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Sistema Fotovoltaico

O sistema fotovoltaico é um processo capaz de gerar energia elétrica através da radiação solar contendo dois meios de geração e consumo de energia, sendo eles o Sistema Conectado à Rede (*on-grid*) e o não conectados à rede, Sistemas Isolados (*off-grid*).

No método *on-grid* se dispensa o uso de baterias, pois toda potência gerada pelo sistema fotovoltaico é consumida pelas cargas ou são injetadas diretamente na rede pública de distribuição de energia elétrica do município, sendo composto por painéis com módulos que possuem a função de converter a energia solar em energia elétrica em corrente contínua (CC), composto por inversores, que convertem essa corrente em corrente alternada (CA), com frequência e tensão compatível com os valores da rede elétrica. Segundo Rüter (2004), basicamente os sistemas *on-grid* podem se dividir em dois tipos: o de forma centralizada, como se fosse uma usina convencional e longe dos consumidores (grandes centrais fotovoltaicas) e de forma integrada a edificação, próxima ao consumidor e descentralizada (pequeno porte).

Este tipo de sistema envia energia para a rede quando a geração é maior que o consumo, e retira dela quando o consumo é maior que a geração. Portanto, a rede funciona como um grande banco de baterias, ora armazenando o excedente da energia, ora suprindo em horários de maior demanda. Com isso, o usuário paga só para a concessionária quando consome mais que gera, e caso produza mais do que consome, ele recebe créditos de acordo com a resolução normativa da ANEEL (482/2012).

Já o método *off-grid* se trata de um sistema autônomo sendo totalmente independente e isolado, ou seja, não conectado à rede elétrica, utilizando apenas a produção dos painéis fotovoltaicos. Por isso, é mais utilizado em locais onde não há ligação com distribuidoras de energia, sendo recomendado para áreas rurais longe dos centros urbanos. Todo excedente da produção, nesse caso, é armazenado em baterias estacionárias, que garantem o funcionamento do sistema mesmo nos períodos em que a incidência de luz solar seja insuficiente (BORTOLOTO et al., 2017).

### 2.2 Componentes do Sistema

Os painéis solares, ou módulos, são os principais componentes do sistema fotovoltaico de geração de energia. Estes são formados por um conjunto de células fotovoltaicas associadas,

eletricamente, em série e/ou paralelo, dependendo das tensões e/ou correntes determinadas em projeto. O conjunto destes módulos é chamado de gerador fotovoltaico e constituem a primeira parte do sistema, ou seja, são os responsáveis no processo de captação da irradiação solar e a sua transformação em energia elétrica (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011).

Portanto, o processo de conversão da energia solar em energia elétrica acontece por meio de células fotovoltaicas onde normalmente são feitas de silício ou outro material semicondutor, sendo em duas camadas: uma positivamente carregada e outra negativamente carregada, formando uma junção eletrônica. Quando a luz do sol atinge o semicondutor na região dessa junção, o campo elétrico existente permite o estabelecimento do fluxo eletrônico, antes bloqueado, e dá início ao fluxo de energia na forma de corrente contínua. Quanto maior a intensidade de luz, maior o fluxo de energia elétrica, mas não precisa do brilho do sol para operar, pois gera eletricidade também em dias nublados (ANEEL, 2008).

Com isso, para o funcionamento de um sistema fotovoltaico é necessário a instalação de equipamentos auxiliares em conjunto com os módulos. Esses componentes atuarão, principalmente, no processo de armazenamento e distribuição da energia elétrica gerada, sendo diferenciados de acordo com o tipo de sistema implantado, se *on-grid* ou *off-grid* (SERRAO, 2010).

Enquanto para os sistemas isolados (*off-grid*) além de serem integrados por painéis fotovoltaicos, devem também possuir os seguintes componentes: o controlador de carga, que é o responsável pelo comedimento da carga do sistema de armazenamento; o banco de baterias, onde é responsável pelo armazenamento de energia que é fornecida pelos painéis e o inversor que é responsável pela conversão da tensão CC oriunda do banco de baterias para tensão CA que é compatível com as cargas instaladas (SERRAO, 2010).

Já o sistema *on-grid* é normalmente composto pelos seguintes equipamentos: painel fotovoltaico que é responsável pela geração de energia; inversor que é responsável pela conversão da tensão CC oriundo do painel fotovoltaico para tensão CA que é compatível com as cargas instaladas e um registrador de energia que faça a leitura de energia consumida e entregue a rede. Além disso, o sistema deve possuir um dispositivo eletrônico que seja capaz de isolar o sistema fotovoltaico da rede convencional sempre que desejar, de forma simples e sistemática, evitando riscos para os técnicos de manutenção da rede elétrica (PRADO JR., 2004).

### 2.2.1 Detalhamento dos Componentes

Geralmente são três componentes básicos de um sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica. O primeiro, é responsável pela geração de energia através de painéis fotovoltaicos. O segundo, usado apenas no sistema *off-grid*, é responsável pelo armazenamento da energia gerada em corrente contínua, sendo constituído basicamente por um banco de baterias. Por fim, o terceiro é responsável pelo condicionamento de potência, sendo composto por um inversor que transforma a corrente contínua oriunda do banco de baterias em corrente alternada compatível com equipamentos convencionais, no qual para o sistema *off-grid* exige um controlador de carga que permite controlar a carga e descarga, bem como proteger o banco de baterias (PINHO, 2014).

Um dos desafios das energias renováveis é que seu consumo não se dá necessariamente no momento de sua geração. Sendo assim, faz-se necessária a utilização de baterias para armazenar esta energia gerada para ser consumida quando necessário (SERRAO, 2010). As baterias, ou banco de baterias possuem um papel essencial em um sistema fotovoltaico isolado, pois elas efetuam o armazenamento da energia elétrica em energia potencial química e, posteriormente, podem converter essa energia novamente em elétrica (CARNEIRO, 2009).

As baterias são compostas por células que são as unidades básicas de sua constituição, as quais são responsáveis pelo acúmulo de energia. São formadas por dois eletrodos, isolados e de diferentes polaridades, um positivo e outro negativo, separador, eletrólito e material ativo. Quando ocorre uma descarga o material ativo dos eletrodos reage quimicamente com o eletrólito convertendo assim a energia potencial química em energia elétrica (SERRAO, 2010).

Já os Conversores CC/CA e/ou Inversores são utilizados para converter tensão/corrente contínua (CC) em tensão/corrente alternada (CA), possibilitando a alimentação de cargas CA a partir de fontes CC. Dentre os inversores disponíveis no mercado, uma característica que os distingue é a forma na qual convertem o sinal de entrada CC para um sinal de saída CA. Para tanto, os inversores podem utilizar como métodos de conversão a onda quadrada, a onda retangular e a senoide pura (SERRAO, 2010).

Os inversores de onda quadrada são os mais utilizados, pela sua facilidade de construção e custo baixo. Possuem seu chaveamento por largura de pulso PWM (PulseWidth-Modulated) o que permite uma onda de saída próxima de uma senoide (SERRAO, 2010).

Conforme Pacheco (2012), as chaves estáticas semicondutoras mais utilizadas na confecção de conversores são: MOSFET's, IGBT's, GTO's e Tiristores. Os componentes são definidos levando em consideração corrente e tensão que o conversor irá operar, os primeiros

citados são utilizados para correntes e tensões menores, já os dois últimos são recomendados para correntes e tensão elevadas (PACHECO, 2012).

Para o dimensionamento de um inversor devem ser observadas várias características, como tensão da fonte de alimentação, tensão e frequência de saída desejada e a potência necessária para suprir as necessidades das cargas instaladas. Inversores isolados normalmente operam com tensões de alimentação de 12, 24, 48 até 120Vcc, com tensão de saída de 110 ou 220Vca com uma frequência de 50 ou 60Hz e potências variadas (GREENPRO, 2004).

Os sistemas de energia solar que utilizam banco de baterias como fonte de alimentação, necessitam de controlador de carga para administrar a carga e descarga das baterias, pois o controlador oferece controle para facilitar a máxima transferência de energia do módulo fotovoltaico ao banco de baterias, ainda protege as baterias de cargas ou descargas excessivas (GREENPRO, 2004). Os controladores de carga devem ser compatíveis com a tensão do banco de baterias que se deseja carregar.

Os painéis fotovoltaicos podem atingir uma tensão entre 15Vcc a 18Vcc. Para que seja possível à carga de uma bateria a tensão de carga deve ser maior que a dos seus terminais, mas deve-se observar a tensão máxima de carga, pois superando esta pode-se danificar a bateria. Neste caso o controlador monitora a tensão, se ocorrer alguma anomalia, impede que a tensão chegue às baterias, assim protegendo-as (PRADO JR., 2004).

As principais funções do controlador de carga são: assegurar o carregamento do banco de baterias, evitar sobrecargas da bateria, reter corrente reversa entre o painel fotovoltaico e as baterias e prevenir descargas profundas (CARNEIRO, 2009).

### **2.3 Legislação brasileira sobre sistemas de geração fotovoltaica de energia elétrica**

A legislação restringe a contratação de geração distribuída pelas distribuidoras somente a empreendimentos de agentes concessionários, permissionários e autorizados, não prevendo expressamente a compra de unidades consumidoras que instalem painéis solares fotovoltaicos para consumo e injetem o excedente de energia na rede.

Em 2012, a ANEEL deu grande passo para ampliar a geração de energia solar fotovoltaica em unidades consumidoras ao editar a Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, criando o sistema de compensação de energia, no qual injeta-se a energia produzida na rede, sendo tal energia abatida do consumo da própria unidade ou de outra do mesmo titular.



Segundo a resolução da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2015) 687/15 que complementa a resolução anterior 482/12 a partir 1 de março de 2016, permite o uso de qualquer fonte renovável, além da cogeração qualificada, denominando-se microgeração distribuída a central geradora com potência instalada até 75 quilowatts (KW) e minigeração distribuída aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW (sendo 3 MW para a fonte hídrica), conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades geradoras. Quando a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida naquele período, o consumidor fica com créditos que podem ser utilizados para diminuir a fatura dos meses seguintes.

De acordo com a resolução da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2015) 687/15 as novas regras, o prazo de validade dos créditos passou de 36 para 60 meses, sendo que eles podem também ser usados para abater o consumo de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local, desde que na área de atendimento de uma mesma distribuidora. Esse tipo de utilização dos créditos foi denominado “autoconsumo remoto”. Outra inovação da resolução diz respeito à possibilidade de instalação de geração distribuída em condomínios (empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras).

Nessa configuração, a energia gerada pode ser repartida entre os condôminos em porcentagens definidas pelos próprios consumidores. Com relação aos procedimentos necessários para se conectar a micro ou minigeração distribuída à rede da distribuidora, a ANEEL estabeleceu regras que simplificam o processo: foram instituídos formulários padrão para realização da solicitação de acesso pelo consumidor e o prazo total para a distribuidora conectar usinas de até 75 kW, que era de 82 dias, foi reduzido para 34 dias. Adicionalmente, a partir de janeiro de 2017, os consumidores poderão fazer a solicitação e acompanhar o andamento de seu pedido junto à distribuidora pela internet (ANEEL, 2015).

Caso a energia injetada na rede seja superior à consumida, cria-se um “crédito de energia” que não pode ser revertido em dinheiro, mas pode ser utilizado para abater o consumo da unidade consumidora nos meses subsequentes ou em outras unidades de mesma titularidade (desde que todas as unidades estejam na mesma área de concessão), com validade de 60 meses (ANEEL, 2015).

Um exemplo é o da microgeração por fonte solar fotovoltaica: de dia, a “sobra” da energia gerada pela central é passada para a rede; à noite, a rede devolve a energia para a unidade consumidora e supre necessidades adicionais. Portanto, a rede funciona como uma bateria, armazenando o excedente até o momento em que a unidade consumidora necessite de energia proveniente da distribuidora (ANEEL, 2015).

Compete ao consumidor a iniciativa de instalação de micro ou minigeração distribuída, a ANEEL não estabelece o custo dos geradores e tampouco eventuais condições de financiamento. Portanto, o consumidor deve analisar a relação custo/benefício para instalação dos geradores, com base em diversas variáveis: tipo da fonte de energia (painéis solares, turbinas eólicas, geradores a biomassa), tecnologia dos equipamentos, porte da unidade consumidora e da central geradora, localização (rural ou urbana), valor da tarifa à qual a unidade consumidora está submetida, condições de pagamento/financiamento do projeto e existência de outras unidades consumidoras que possam usufruir dos créditos do sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2015).

#### **2.4 Potencial de radiação solar no Brasil**

A energia solar é uma forma de energia limpa e silenciosa disponível em todo o planeta, sendo que o Brasil possui uma condição extremamente favorável, uma vez que apresenta valores de irradiação elevados em todo o seu território. Diversas são as aplicações da energia solar, desde processos térmicos para aquecimento de água em residências e indústrias, tecnologias para conversão da energia térmica em elétrica, até na geração de energia elétrica por meio de sistemas fotovoltaicos isolados ou conectados à rede elétrica (TIEPOLO et al., 2017).

Se tendo em vista o Estado do Paraná, Tiepolo et al. (2017), apresenta dados recentes que mostram o seu excelente potencial em radiação solar, com média superior à maioria dos países europeus, onde está concentrada a maior parte da capacidade instalada mundial, realizando um levantamento indicando que apenas seis países europeus dos 33 analisados, têm média acima do Estado do Paraná, ou seja, a média do estado é superior à de 27 países, inclusive aqueles onde o uso das tecnologias de aproveitamento da energia solar é bastante difundido, o que confirma o grande potencial fotovoltaico existente no território paranaense.

As informações apresentadas por Tiepolo et al. (2017), mostram os valores elevados de irradiação encontrados no Paraná, com destaque para a mesorregião Noroeste, que apresentou a maior média anual e menor variabilidade da irradiação global horizontal, e também a maior média anual no plano inclinado na latitude do estado.

Entretanto, cabe ressaltar que um dos fatores de perdas em sistemas fotovoltaicos é a temperatura, a qual influencia diretamente na produtividade apresentada. Por isso, os sistemas fotovoltaicos que utilizam módulos de silício cristalino (monocristalino e policristalino) estão sujeitos a apresentar um desempenho menor com o aumento da temperatura (acima dos 25°, temperatura padrão de teste). Outras tecnologias encontradas no mercado, como as de filme

fino de silício amorfo, são menos suscetíveis a este fator. Com isto, sistemas fotovoltaicos que utilizam tecnologia de célula de silício cristalino tendem a ter desempenho menor em locais onde historicamente a temperatura média é maior em comparação a locais cujas temperaturas médias se apresentam mais amenas, como é o caso do Paraná (TIEPOLO et al., 2017).

Contudo, o levantamento do potencial de energia solar é direcionado aos estudos que serão realizados para fundamentação desta pesquisa na região de Campo Mourão, situado no Estado do Paraná, onde será acompanhado o processo de implantação do Sistema Fotovoltaico, procurando auxiliar o empreendimento envolvido.

## **2.5 Estudo de viabilidade econômica**

Para realizar estudos de viabilidades para sistemas fotovoltaicos de modo geral, deve-se sempre recorrer à legislação aplicada no local. Afinal, como uma análise econômica representa os ganhos financeiros do projeto, deve-se sempre ter conhecimento da remuneração, prevista em lei, aplicável à dimensão da planta fotovoltaica em estudo (MIRANDA, 2014).

Os principais indicadores econômicos para análise de projetos, como esse em caso, são o *Payback*, VPL (Valor Presente Líquido), TIR (Taxa Interna de Retorno) e ROI (Retorno do Investimento). O trabalho faz referência às fórmulas matemáticas para cálculo dos indicadores mencionados acima (MIRANDA, 2014).

O *payback* é o período necessário para que se obtenha retorno de todo o investimento feito em alguma aplicação, acaba sendo extremamente limitado, pois não se leva em consideração o risco, correção monetária ou financiamento. Ele é simplesmente o valor onde o lucro líquido iguala ao valor aplicado no investimento analisado (MIRANDA, 2014).

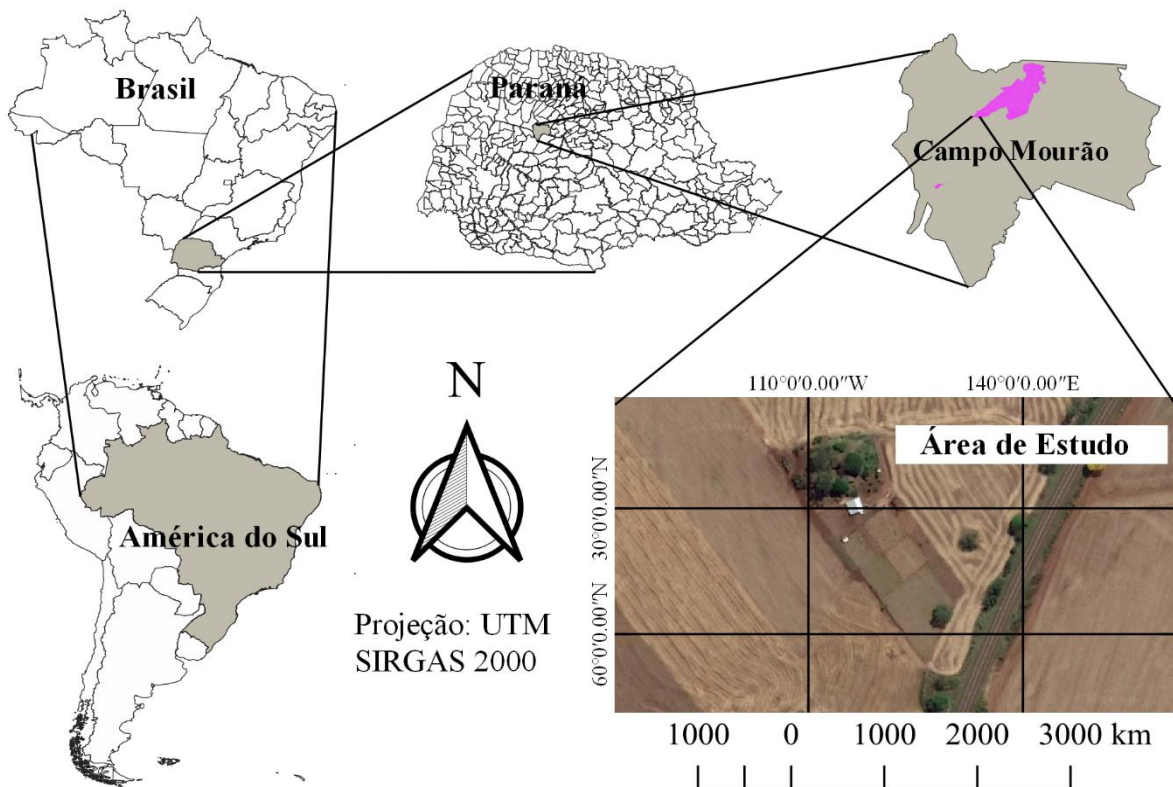
O VPL (Valor Presente Líquido) calcula o valor atual de todos os fluxos de caixa, considerando os as taxas de juros apropriadas. Como qualquer investimento, que só gera fluxo de caixa futuro, é preciso atualizar esse valor para cada um desses e com isso compará-los com o valor do investimento (SANTOS; SOUZA; DALFIOR, 2016).

A Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) representa a rentabilidade gerada por determinado investimento em comparação, ou seja, expõe uma taxa de juros tal, que se o capital investido tivesse sido colocado a essa taxa, obteríamos exatamente a mesma taxa de rentabilidade final. Resumidamente, o TIR representa a tributo que, se utilizado como taxa de atualização, obteria o  $VPL = 0$  (O lucro líquido pagaria o investimento inicial na vida útil do projeto). A aceitação de um projeto através do TIR é feita também através da TMA (Taxa Mínima de Atratividade), considerando uma taxa de juros atrativa adicionada ao risco de cada investimento (SANTOS; SOUZA; DALFIOR, 2016).

### 3 METODOLOGIA

O local do objeto de pesquisa está inserido em uma área rural no distrito de Piquirivaí, do município de Campo Mourão - PR (Figura 1). Na área de estudo será instalado 304 painéis solares, distribuídas em 5 fileiras contendo 60 placas em cada uma delas e 4 painéis instalados no telhado da estrutura de proteção do inversor, sendo conectadas diretamente à rede de distribuição de energia da concessionária COPEL, onde ocorrerá o processo de compensação de energia ao empreendimento do ramo de metalúrgica Usicampo situada no município de Campo Mourão - PR.

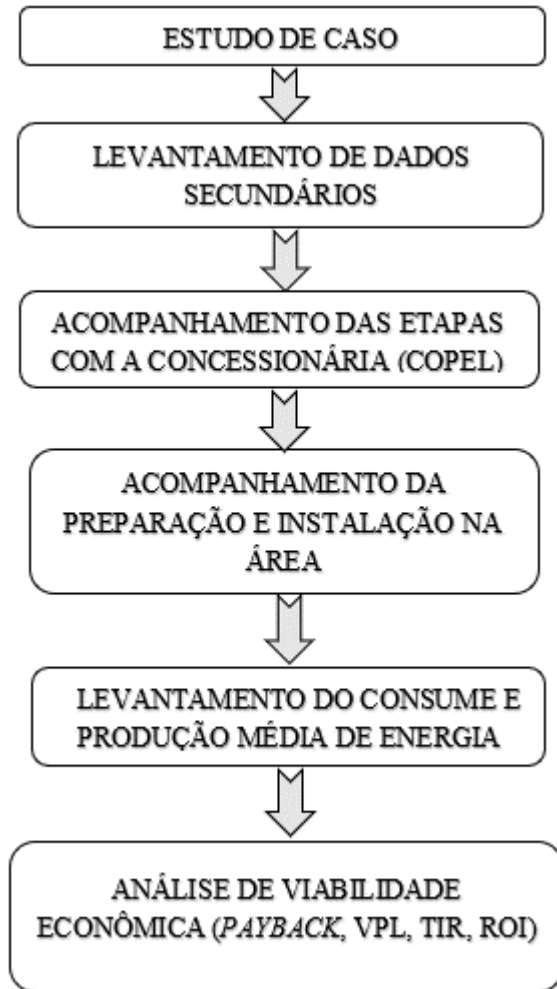
**Figura 1 - Localização da área do objeto de pesquisa**



**FONTE: Autoria própria (2019).**

Os critérios utilizados para a execução do estudo de caso em questão, se iniciou com o levantamento de dados secundários para auxílio na compreensão do processo de instalação do Sistema Fotovoltaico *on-grid*, sendo estes dados necessários para realização da análise de seu desempenho e da viabilidade econômica e por fim, comprovar as vantagens dadas ao empreendimento compensado. Com isso, o fluxograma a seguir (Figura 2) demonstra um passo a passo da metodologia aplicada que servirá para o melhor entendimento das atividades realizadas durante o processo de pesquisa.

**Figura 2 - Fluxograma da metodologia aplicada**



FONTE: Autoria própria (2019).

### 3.1 Preparação da área do objeto de pesquisa

Antes da implantação do sistema fotovoltaico, houve a fase de planejamento, que inclui a preparação do terreno para a instalação dos painéis solares. Com isso, foi realizado um acompanhamento dessas mudanças, que teve como intuito adequar a área para o tipo de sistema implantado e assim obter um melhor rendimento.

### 3.2 Etapas da concessionária

A concessionária Copel fornece os requisitos para acesso de geradores de energia elétrica conectados através de unidades consumidoras optantes pelo Sistema de Compensação de Energia Elétrica (micro e minigeradores), instituído pela Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, onde serão apresentadas as etapas envolvidas para adesão do sistema fotovoltaico.

### 3.3 Instalação

Nessa etapa, foi realizado um acompanhamento através de visitas no local da instalação dos painéis fotovoltaicos nos meses de setembro e outubro, onde se obteve como forma de registros fotográficos do procedimento.

### 3.4 Levantamento do consumo e da produção média de energia

Para a descrição e levantamento do consumo de energia elétrica do empreendimento, foram utilizados documentos da concessionária de energia do município, onde apresentou o consumo mensal de energia elétrica no período de um ano antes da instalação do sistema fotovoltaico *on-grid*, disponibilizados pelo empreendedor e em seguida calculado a média de energia produzida pelo sistema fotovoltaico transmitida diretamente à rede.

### 3.5 Comprovar a viabilidade econômica do projeto

Foi realizado uma análise da viabilidade econômica do investimento do projeto considerando o consumo histórico de energia elétrica na empresa, através dos cálculos de *payback*, valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e retorno sobre o investimento (ROI).

Para o *Payback*, se utilizou a seguinte Equação 1:

$$FC_n/360 = X, \tag{1}$$

$$FC_a/X = Y,$$

$$Payback = N + Y$$

Logo;

$FC_n$  – Fluxo de Caixa do ano referência;

$FC_a$  – Fluxo de Caixa Acumulado do ano referência;

$N$  – Primeiro ano de Lucro;

$X$  – valor resultante;

$Y$  – Valor Resultante em dias.

Para o valor presente líquido (VPL), foi utilizada a seguinte Equação 2:

$$VPL(n) = \frac{FC(n)}{(1 + i)^n} \quad (2)$$

Onde:

$VPL(n)$  = Valor presente líquido (R\$);

$FC(n)$  = Fluxo de caixa no período (R\$);

$n$  = Período (anos ou meses);

$i$  = Taxa básica de juros (SELIC) (%).

A TIR se calculou com o emprego da seguinte Equação 3:

$$VPL = Invest. Inicial + \frac{FC(n)}{(1 + TIR)^n} = 0 \quad (3)$$

Sendo:

$VPL(n)$  = Valor presente líquido (R\$);

$FC(n)$  = Fluxo de caixa no período (R\$);

$n$  = Período (anos ou meses).

E a última análise a ser realizada foi a do retorno sobre o investimento (ROI), onde o investimento do projeto é consolidado como viável ou não, este cálculo foi executado através da Equação 4 a seguir:

$$ROI = \frac{\text{Lucro Operacional} - \text{Investimento Inicial}}{\text{Investimento Inicial}} \times 100 \quad (4)$$

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Preparação/ instalação do sistema fotovoltaico na área de estudo

De acordo com o empreendedor, a área de estudo ocupa um espaço 1300 m<sup>2</sup>, onde foram instaladas 304 placas voltadas à direção Norte com um ângulo de inclinação de 23°. Os painéis solares fotovoltaicos utilizados são de silício monocristalino, por apresentarem um maior rendimento, classes de potência mais elevadas e taxa de eficiência de 18,8%, possuindo uma cor uniforme, indicando silício de alta pureza e cantos tipicamente arredondados.

As Figuras 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9 a seguir, apresentam as etapas do processo de instalação do sistema fotovoltaico na área rural do distrito Piquirivaí -PR, iniciando-se o processo inserindo as estruturas de fixação dos painéis fotovoltaicos sob o solo, e assim, assegurando a eficiência do sistema, a segurança e aumentando o retorno de investimento.

**Figura 3 – Instalação da estrutura de fixação dos painéis fotovoltaicos**



**FONTE: Autoria própria (2019).**



**Figura 4 – Instalação dos painéis fotovoltaicos**



**FONTE: Autoria própria (2019).**

**Figura 5 – Instalação dos painéis fotovoltaicos**



**FONTE: Autoria própria (2019).**

**Figura 6 – Placas fotovoltaicas instaladas**



**FONTE: Aatoria própria (2019).**

**Figura 7 – Placas fotovoltaicas instaladas**



**FONTE: Aatoria própria (2019).**

**Figura 8 – Estrutura para proteção do inversor e painéis instalados sob o telhado**



**FONTE: Aatoria própria (2019).**

**Figura 9 – Registro de luz ligado ao poste que demanda a energia direta à rede**



**FONTE: Aatoria própria (2019).**

Segundo Santos et al. (2017), a busca por meios de produção de energia elétrica para aproveitar de forma mais eficiente e diminuir os impactos ambientais, faz com que os sistemas fotovoltaicos estejam entre os mais propícios, pois a energia proveniente do sol é renovável e não escassa, e em sua instalação não causa impactos ambientais negativos, diferente das hidrelétricas.

Câmara (2011), afirma que os sistemas fotovoltaicos *on-grid* apresentam um conjunto de benefícios econômicos, sociais e ambientais. Dentre os benefícios ambientais, destacam-se como uma fonte de energia inesgotável, sendo disponível em todos os locais, produzindo energia limpa, silenciosa e renovável; não emite gases causadores do efeito estufa; não emite ruído; sendo possível utilizar áreas que já estão ocupadas, diminuindo problemas com o desmatamento; possível utilizar áreas de deserto; não é necessário um dia de céu limpo ou com alta incidência solar para o funcionamento; durabilidade de aproximadamente 25 anos.

As placas fotovoltaicas após o seu uso, não podem ser descartadas de maneira incorreta, pois pode gerar impactos negativos ao meio ambiente, como a lixiviação de metais pesados (chumbo e cádmio). Hoje já existem tecnologias mecânicas, químicas, térmicas e até o uso de laser para a reciclagem deste material (DIAS; 2015).

#### **4.2 Processo de solicitação e aprovação do sistema fotovoltaico pela concessionária**

Para que o consumidor (proprietário) instale o sistema fotovoltaico *on-grid*, é necessário que esteja identificado como microgerador ou minigerador estabelecida na Resolução Normativa nº 687 de 2015 e siga as instruções definidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica do módulo 3 na seção 3.7 do Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), tendo como as etapas para a viabilização de acesso e as responsabilidades do consumidor e da concessionária:

O cliente interessado em aderir ao sistema de compensação de energia elétrica deve formalizar à Copel sua intenção através de uma Solicitação de Acesso, sendo um requerimento formulado pelo acessante que, uma vez entregue à Copel, implica a prioridade de atendimento, de acordo com a ordem cronológica de protocolo.

Em seguida, é necessário escolha do Inversor onde um profissional responsável pelo projeto e instalação da central geradora indicará quando for necessário seu uso. Internamente, o inversor deve conter funções de proteção e seu funcionamento deve atender as normas vigentes e, por isso, somente será aceita a utilização de modelos com certificados emitidos por laboratórios acreditados verificados pela Copel ou modelos etiquetados pelo INMETRO, conforme o caso.

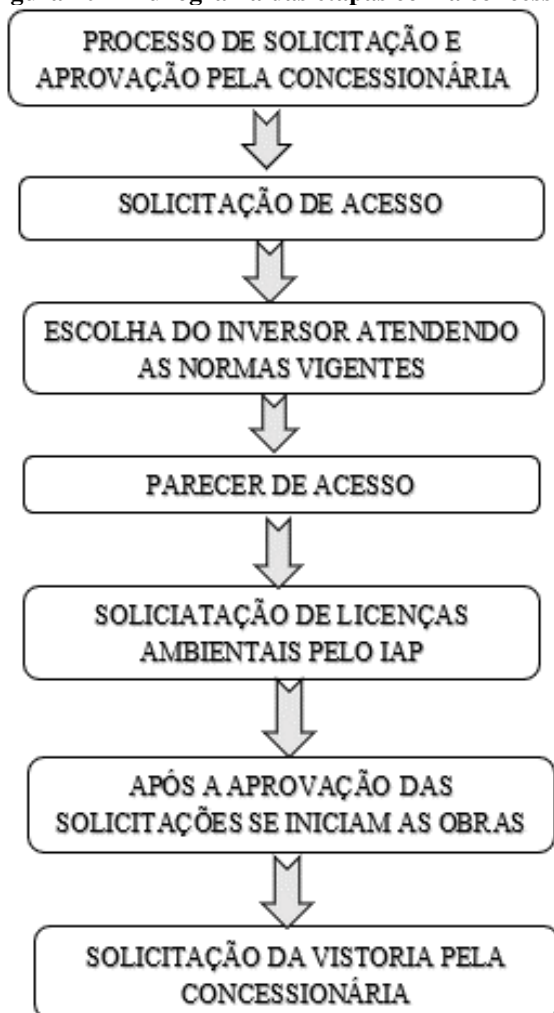
Posteriormente, se tem o Parecer de Acesso, sendo um documento elaborado pela Copel em resposta à Solicitação de Acesso, onde são informados as condições de acesso e os requisitos técnicos para a conexão das instalações de micro ou minigeração à rede elétrica. O prazo para a emissão do Parecer de Acesso pela Copel é de 15 dias para microgeração e de 30 dias para minigeração, após o recebimento da Solicitação de Acesso contendo toda a documentação prevista nesta norma.

Depois desse processo, passa para a solicitação das Licenças Ambientais estabelecidas pelo IAP para a regularidade ambiental dos empreendimentos, sendo esse de até 1 MW dispensados de estudos e de licenciamento ambiental, já as de 1 MW a 5 MW, é necessário apresentar um memorial descritivo para a autorização ambiental ou dispensa de licenciamento ambiental. Já os empreendimentos com potência entre 5 MW e 10 MW, o relatório ambiental simplificado é exigido para a emissão das licenças prévias, de instalação e de operação, de acordo com a etapa da obra. E a partir de 10 MW, são necessários o estudo de impacto ambiental e o relatório de impacto ambiental (EIA/RIMA) para a emissão das licenças correspondentes. E assim dando início ao próximo passo, começando a execução das obras para instalação do projeto.

Por fim, depois de concluídas as obras necessárias, o acessante deve solicitar vistoria à Copel em até 120 (cento e vinte) dias após a emissão do parecer de acesso, que será realizada pela Copel em até 7 (sete) dias contados da data da solicitação formal. Se aprovada a vistoria, o medidor convencional será substituído por um novo, que medirá tanto a energia consumida quanto a energia injetada na rede. A conexão da microgeração ou minigeração distribuída estará concluída e o consumidor fará jus ao regime de compensação de energia elétrica.

A seguir, o fluxograma (Figura 10) demonstra os passos de solicitação e aprovação do processo com a concessionária para a instalação de um sistema fotovoltaico de compensação:

**Figura 10 – Fluxograma das etapas com a concessionária**



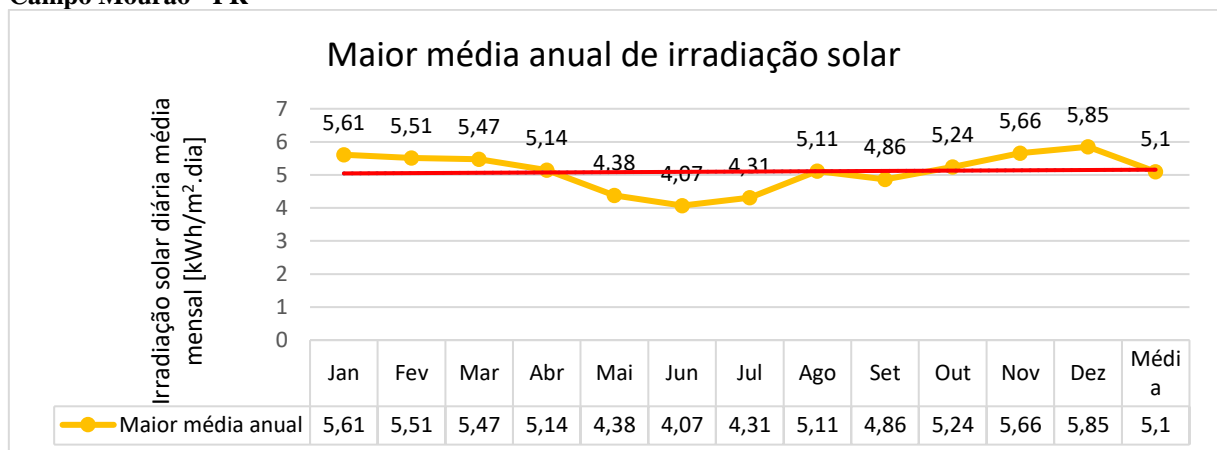
**FONTE:** Autoria própria (2019).

### 4.3 Irradiação Solar

O site da CRESESB disponibiliza informações de irradiação solar de acordo com as coordenadas geográficas indicadas pelo usuário. Estes dados são fundamentados do banco de dados *Valores Medios de Irradiacion Solar Sobre Suelo Horizontal* do Centro de Estudos de la Energia Solar (CENSOLAR).

Manuseando o site, auferiu os valores de maior média anual (Gráfico 1) e maior mínimo mensal (Gráfico 2), representados a seguir.

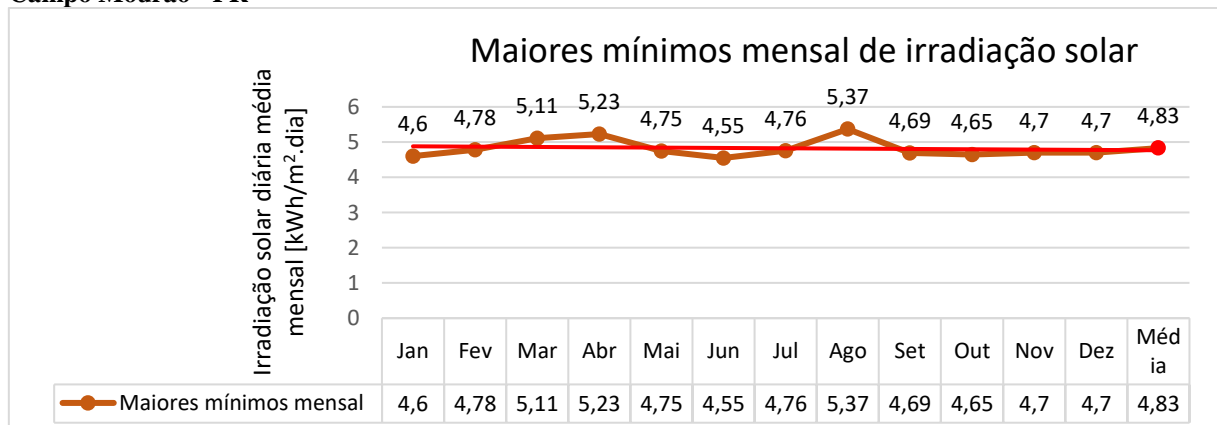
**Gráfico 1 - Valores das Maiores médias anual de irradiação solar em regiões próximas ao município de Campo Mourão - PR**



**FONTE: Adaptado de CRESESB (2019).**

De acordo com o gráfico 1, os valores das maiores médias anuais de irradiação solar em regiões próximas ao município de Campo Mourão – PR, foram obtidos através de uma inclinação de 21° Norte. O menor valor observado foi de 4,07 kWh/m<sup>2</sup>. dia e o maior 5,85 kWh/m<sup>2</sup>. dia. Observou-se que esses dados apresentam baixa variação durante o ano, mantendo uma média de 5,1 kWh/m<sup>2</sup>. dia.

**Gráfico 2 - Valores das Maiores mínimos mensal de irradiação solar em regiões próximas ao município de Campo Mourão - PR**



**FONTE: Adaptado de CRESESB (2019).**



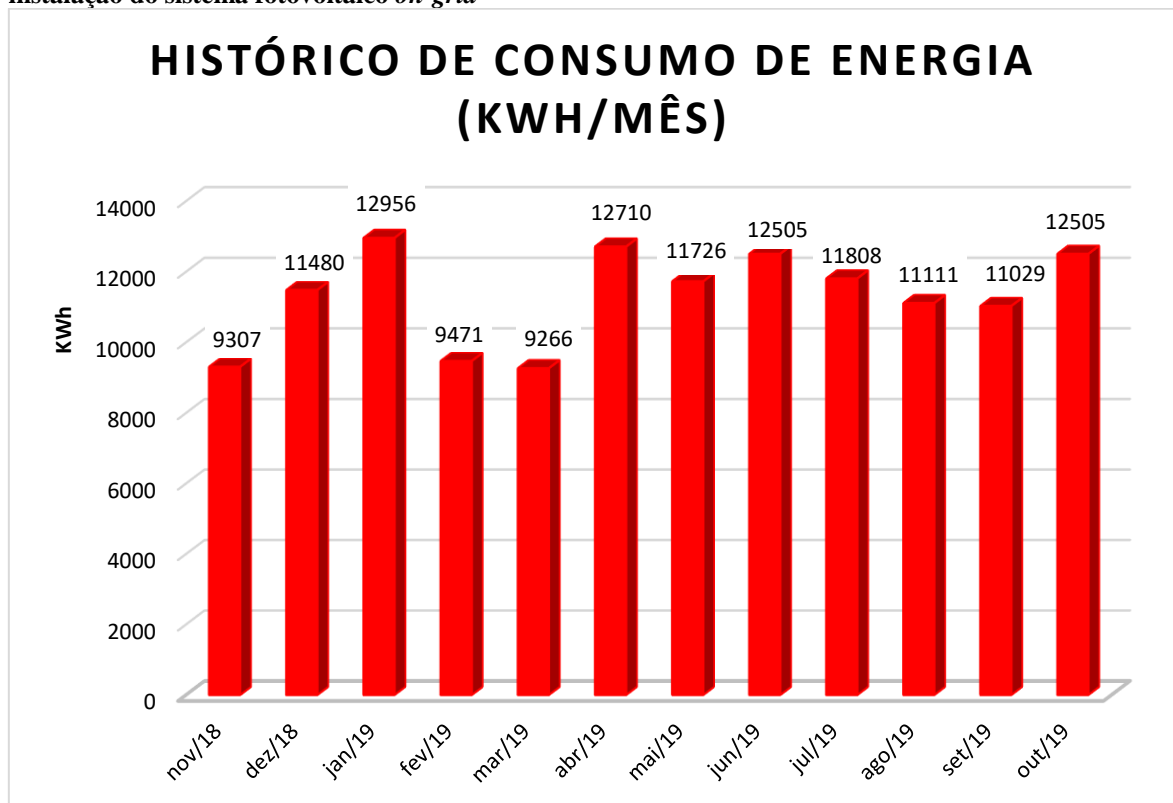
O Gráfico 2, exibe os valores de maiores mínimos mensal de irradiação obtidos em uma inclinação de 43° N. Esses valores também não apresentam uma variação relevante, no qual o menor valor é de 4,55 kWh/m<sup>2</sup>. dia e o maior valor 5,37 kWh/m<sup>2</sup>. dia, constatando-se uma média de 4,83 kWh/m<sup>2</sup>. dia.

Esses valores evidenciam que mesmo sendo os mínimos são valores que estão próximos das maiores médias anual das regiões. Desse modo, comparando as duas figuras, nota-se que em ambas os valores se mantêm análogos, facilitando o empreendedor adquirir o sistema fotovoltaico, uma vez que a produção de energia será constante.

#### 4.4 Levantamento do consumo e da produção média de energia gerada pelo sistema implantado

Através das faturas de pagamento de energia elétrica da companhia paranaense de energia elétrica (COPEL, 2019), disponibilizado pelo proprietário do empreendimento, constatou-se o consumo mensal de energia elétrica um ano antes da instalação do sistema fotovoltaico *on-grid*, apresentados a seguir conforme o Gráfico 3:

Gráfico 3 - Consumo mensal de potência em kWh no empreendimento no período de um ano antes da instalação do sistema fotovoltaico *on-grid*

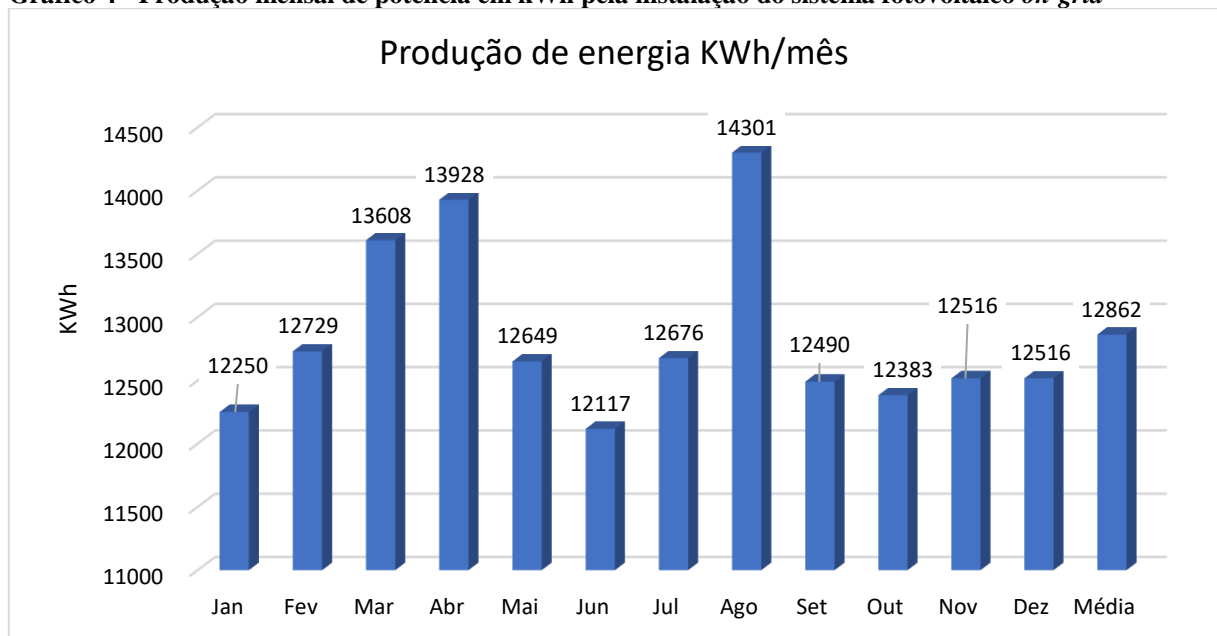


FONTE: Autoria própria (2019).

O alto consumo de energia elétrica na empresa é devido a tecnologia utilizada nos maquinários durante toda produção, ou seja, o valor da conta de energia é proporcional ao uso das robustas máquinas utilizadas nos processos de fabricação dos seus produtos, o que varia de acordo com a demanda suprida.

O sistema gerador fotovoltaico foi projetado para suprir 100,00 % do consumo atual. Baseando-se em uma média de consumo anual calculada de 11.323 kWh e um sistema de geração onde segundo o fabricante (Q CELLS, Engineered em Germany), possui capacidade de 13.871,52 kWh, contendo em cada placa uma capacidade de produção média mensal 45,63 (KWh/mês) e com a potência em condições padrão de 365 W, pode-se então estimar uma geração de energia total por mês em um período de um ano levando em consideração os maiores mínimos de irradiação solar útil diária média mensal e a eficiência do sistema (com uma perda de 20% por aquecimento e sujeira), apresentados a seguir no Gráfico 4:

**Gráfico 4 - Produção mensal de potência em kWh pela instalação do sistema fotovoltaico *on-grid***



**FONTE: Aatoria própria (2019).**

Conforme evidenciado no Gráfico 4, a média de produção mensal calculada foi de 12.862,48 kWh, comprovando o abatimento total do consumo de energia carecido pela empresa até mesmo nos meses de menor produção pelo sistema fotovoltaico.

Dessa forma, o sistema supre a demanda da empresa e canaliza a energia excedida para a concessionária dispondo-se créditos em kWh, no qual segundo a Resolução normativa 687 de 2015, permite a utilização desses créditos em um prazo de 60 meses.

#### 4.5 Cálculo da viabilidade econômica

De acordo com o investimento inicial adquirido através do custo final do projeto (Tabela 1), o consumo e a produção anual de energia elétrica, foram calculados em uma planilha o fluxo de caixa da empresa, valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR), *payback* e o retorno sobre o investimento (ROI).

**Tabela 1 – Custo total do projeto, investido pelo empreendedor**

Descrição	Valor total
Instalação das bases e parte elétrica	R\$ 35.000,00
Projetos, Contratos com a Concessionária, Substituição do Medidor, Instalação e Equipamentos	R\$ 330.000,00
<b>TOTAL DO SISTEMA</b>	<b>R\$ 365.000,00</b>

FONTE: USICAMPO Indústria Metalúrgica (2019).

De acordo com a política da empresa fabricante, o sistema fotovoltaico possui vida útil de 25 anos, os painéis com garantia de 12 anos contra defeitos de fabricação e 25 anos de até 80% da eficiência. Esses dados foram necessários para a montagem do fluxo de caixa, no qual foi considerado 25 anos e uma média de reajuste 8,76% ao ano no kWh (Tabela 2) utilizados no reajuste da manutenção dos painéis, determinando inicialmente com valor de R\$ 300,00.

**Tabela 2 – Variação no valor da energia elétrica**

Histórico de Reajustes Tarifários	
Ano	Reajuste Médio Anual
2014	24,86%
2015	15,32%
2016	-12,87%
2017	5,85%
2018	15,99%
2019	3,41%
<b>Média</b>	<b>8,76%</b>

FONTE: Adaptado COPEL (2019).

O fluxo de caixa (Quadro 1), considerou além do investimento inicial, reajustes anuais de acordo com a média da inflação nos últimos anos (2013 - 2018) nos valores de geração (Tabela 3), sendo multiplicados pela tarifa (R\$/KWh) do ano anterior e em seguida somados pelo mesmo.

**Tabela 3 - Variação da taxa de inflação**

<b>Ano</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>Média</b>
<b>Inflação (%)</b>	6,21%	6,33%	9,01%	8,77%	3,46%	3,66%	<b>6,24%</b>

**FONTE: Adaptado da Receita federal (2019).**

Segundo o fabricante, os painéis fotovoltaicos têm depreciação de 0,68% a.a nos 10 primeiros anos, e aproximadamente 0,64% a.a nos anos que seguirem funcionando o sistema até o fim de vida útil, utilizados no cálculo de geração anual do sistema em KWh.

Para a efetuação dos cálculos de viabilidade econômica, foi necessário a realização da média da taxa Selic dos últimos anos (2013 – 2018) retirados da Receita Federal (2019), no qual esse valor foi aplicado como a TMA (Tabela 4), e a taxa (i) foi manuseada de acordo com a média da inflação nos últimos 6 (seis) anos.

**Tabela 4 – Valores da taxa Selic dos anos de 2013 a 2018**

<b>ANO</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>MÉDIA (%)</b>
<b>SELIC (%)</b>	8,3	10,8	13,21	14,25	12,25	9,3	<b>11,35</b>

**Fonte: Adaptado da Receita Federal (2019).**

O valor de geração do fluxo de caixa foi calculado através da multiplicação entre o valor da tarifa do kWh e a produção de energia no sistema fotovoltaico, já o valor presente descontado foi calculado através da subtração entre o valor de geração e o valor da geração com depreciação. Sendo esses valores obtidos, utilizados para calcular o VPL e a TIR do projeto.

Para fins de cálculo os valores de consumo foram mantidos os mesmos durante o período de vida útil do projeto, em razão de ser um valor variável no qual a empresa poderá ter um consumo superior ao do 1º ano como também poderá ter um consumo inferior referente ao mesmo período. Se o consumo no empreendimento anual não superar os 154.349,76 kWh por ano, o projeto instalado será eficaz, caso o consumo supere esse valor, o empreendedor terá a opção de usar os créditos gerados quando se teve produção de energia excedida.

**Quadro 1 – Projeção do Fluxo de caixa para análise da viabilidade econômica do projeto**

ANO	GERAÇÃO ANUAL DO SISTEMA (KWh)	TARIFA (R\$/KWh)	VALOR DA GERAÇÃO (R\$)	MANUTENÇÃO (R\$)	VALOR DA GERAÇÃO COM DEPRECIACÃO (R\$)	VALOR PRESENTE DESCONTADO (R\$)	PAIBACK DESCONTADO
0					-365000,00		-R\$ 365000,00
1	153300,18	0,84	129462,27	300,00	129162,27	115996,65	-R\$ 249003,35
2	152257,74	0,90	136605,44	326,28	136279,16	109912,99	-R\$ 139090,36
3	151222,39	0,95	144142,74	354,86	143787,88	104148,16	-R\$ 34942,2
4	150194,08	1,01	152095,91	385,95	151709,97	98685,47	R\$ 63743,28
5	149172,76	1,08	160487,91	419,76	160068,15	93509,09	R\$ 157252,36
6	148158,38	1,14	169342,94	456,53	168886,41	88604,01	R\$ 245856,37
7	147150,90	1,21	178686,55	496,52	178190,03	83956,02	R\$ 329812,4
8	146150,28	1,29	188545,70	540,01	188005,69	79551,65	R\$ 409364,05
9	145156,46	1,37	198948,84	587,32	198361,52	75378,14	R\$ 484742,19
10	144169,39	1,46	209925,98	638,77	209287,21	71423,39	R\$ 556165,59
11	143246,71	1,55	221598,00	694,73	220903,27	67703,28	R\$ 623868,87
12	142329,93	1,64	233918,99	755,58	233163,40	64176,75	R\$ 688045,62
13	141419,02	1,75	246925,03	821,77	246103,26	60833,74	R\$ 748879,35
14	140513,94	1,86	260654,22	893,76	259760,46	57664,69	R\$ 806544,04
15	139614,65	1,97	275146,76	972,05	274174,71	54660,56	R\$ 861204,6
16	138721,11	2,09	290445,10	1057,21	289387,89	51812,77	R\$ 913017,37
17	137833,30	2,22	306594,03	1149,82	305444,22	49113,19	R\$ 962130,56
18	136951,16	2,36	323640,86	1250,54	322390,32	46554,11	R\$ 1008684,67
19	136074,68	2,51	341635,50	1360,09	340275,41	44128,21	R\$ 1052812,89
20	135203,80	2,67	360630,65	1479,23	359151,42	41828,58	R\$ 1094641,47
21	134338,49	2,83	380681,94	1608,81	379073,13	39648,65	R\$ 1134290,11
22	133478,73	3,01	401848,10	1749,74	400098,36	37582,17	R\$ 1171872,29
23	132624,46	3,20	424191,12	1903,02	422288,09	35623,27	R\$ 1207495,56
24	131775,67	3,40	447776,41	2069,73	445706,69	33766,33	R\$ 1241261,88
25	130932,30	3,61	472673,07	2251,03	470421,03	32005,99	R\$ 1273267,87

FONTE: Autoria própria (2019).

A TMA utilizada como base para os cálculos do projeto foi de 11,35%, valor este que representa a média da SELIC dos anos de 2013 a 2018, sendo aplicada no cálculo do valor presente descontado, levando em consideração o valor da geração com depreciação, o ano equivalente e a taxa. Dessa forma, o retorno obtido com a geração de energia elétrica através do sistema fotovoltaico levou à uma TIR de 41%, valor superior a TMA, no qual segundo Gitman (2002), esta equação existe três tipos de cenário para análise:

a)  $TIR > TMA$ , O retorno interno é superior à taxa mínima de atratividade, logo o fluxo de caixa é positivo e o VPL é maior que zero, portanto, o investimento é rentável sendo passível de aprovação;

b)  $TIR = TMA$ , o investimento não é lucrativo, entretanto também não indica prejuízo, já que contempla a TMA, logo, para que haja aprovação do projeto é necessário a análise de outros índices;

c)  $TIR < TMA$ , a taxa mínima de atratividade é superior que a taxa interna de retorno, logo o investimento terá faturamento negativo, assim o projeto dificilmente será aprovado.

Dessa maneira, o valor calculado da TIR se encaixa no cenário correspondente a  $TIR > TMA$  referindo-se à um projeto viável.

A VPL no final do período de 25 anos apresentou valor de R\$ 1.273.267,94, esse valor sendo maior que zero e a TIR superior a TMA, demonstra segundo Gitman (2002) o lucro ao final do período de investimento. O VPL refere-se ao valor atual líquido, ou seja, o valor da economia nas faturas de energia elétrica descontado a taxa aplicada e por fim subtraindo o valor do investimento inicial.

Analisando o VPL e TIR simultaneamente, pode-se avaliar como o investimento irá se conduzir ao longo dos anos, porém não pode levar em consideração questões políticas e financeiras que poderão ocorrer no futuro, apenas projeções atualizadas com a inflação da média dos anos anteriores.

Um dos fatores de maior importância na avaliação do investimento é o tempo em que será necessário para receber o retorno investido, também chamado de *payback*. Nesse projeto foi utilizado o *payback* descontado, onde o tempo de retorno é mais fiel a realidade, pois é considerado a desvalorização do dinheiro ao longo do tempo. O valor obtido é em anos, e é de extrema importância para a viabilização de projeto que esse valor seja menor do que o tempo de vida útil do mesmo.

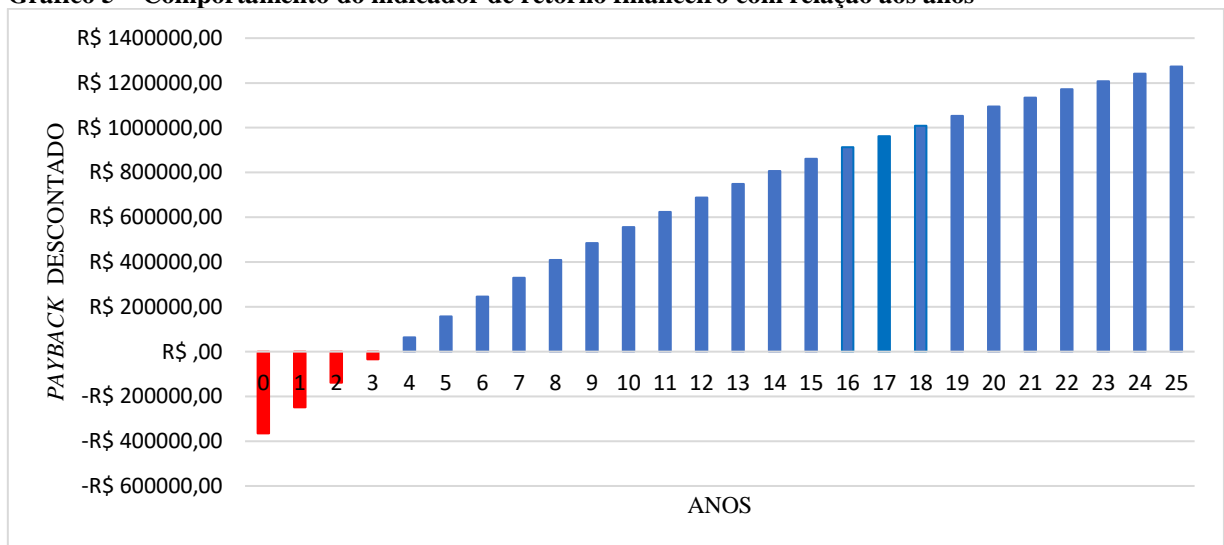
Neste caso, o projeto de instalação do sistema fotovoltaico *on-grid* tem um tempo de retorno de três anos e quatro meses. Após esse período, toda produção de energia será constatada como reais e realizando os descontos de taxas necessários, contabilizará em lucro ao

empreendedor. Ressalta-se que o fluxo de caixa desse projeto, considerou apenas os valores de economia (R\$) que a instalação do sistema produziu, não declarando outros valores que a empresa possui.

Para concretizar a viabilidade do projeto, realizou-se o cálculo do retorno sobre o investimento (ROI). Esse resultado demonstra a porcentagem de retorno sobre o investimento inicial, quanto maior o ROI maior será o retorno do investimento, nesse caso, obteve-se um ROI de 28,88%. Logo, analisando todos os fatores de viabilidade do projeto no cenário atual a viabilidade econômica do mesmo se apresenta positiva.

A seguir, o Gráfico 5 demonstra o comportamento do *payback* indicando quanto de retorno financeiro se terá ao longo dos anos:

**Gráfico 5 – Comportamento do indicador de retorno financeiro com relação aos anos**



**FONTE: Autoria própria (2019).**

## 5 CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos é possível concluir que após a descrição das condições de instalação do local e da análise do sistema fotovoltaico *on-grid* são consideradas favoráveis para a produção de energia elétrica e para o meio ambiente, apresentando diversas vantagens como por exemplo, ser considerada uma energia renovável, limpa, sem geração de poluentes atmosféricos, com baixo custo de manutenção, podendo ser instalado em diversos locais, podendo se comprovar as vantagens no setor econômico, sendo considerado um excelente investimento tendo em vista seu rápido retorno.

Após verificação do valor do investimento necessário para a instalação do sistema, esse valor foi utilizado para dar início ao fluxo de caixa da empresa. Se tendo como base a preparação do fluxo de caixa, que se fez necessário para a realização dos cálculos de viabilidade econômica.

A avaliação da viabilidade econômica é de extrema importância para o empreendedor analisar a possível instalação do sistema fotovoltaico no local. Essas análises são realizadas através do valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR), *payback* descontado e o retorno sobre o investimento (ROI), os dados obtidos são analisados em conjunto.

Para este estudo, o investimento foi analisado apenas com os valores de economia de energia, onde possui a TIR maior que a taxa mínima de atratividade (TMA), um VPL positivo e um retorno total do investimento em 3 anos e 4 meses, logo, podemos concluir que esse sistema instalado nessa empresa, é de total viabilidade econômica para o empreendedor.

Apesar de uma característica negativa ainda para a tecnologia fotovoltaica ser o elevado custo de implantação. No entanto, o presente projeto mostrou que para o consumidor final é possível, além de se obter o retorno do investimento, conseguir rentabilidade ao longo da vida útil do sistema.

Em termos gerais, para que haja ainda uma expansão da geração fotovoltaica no Brasil se faz necessário políticas de incentivos através de financiamentos com baixas taxas de juros e isenções fiscais. Por ser uma tecnologia extremamente dependente do mercado externo, é necessário que haja ainda desenvolvimento das indústrias brasileiras nesse setor para que ocorram reduções nos custos de implantação de sistemas fotovoltaicos, considerando que o Brasil apresenta condições favoráveis ao aproveitamento desse tipo de geração de energia.



## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: Aneel, 2008. 236 p.

ANEEL **Resolução N°482, de 17 de abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mineração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. ANEEL, 2012b. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 17 abril 2019.

ANEEL **Resolução N°687, de 24 de novembro de 2015**. Altera a Resolução Normativa n° 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 17 abril 2019.

BRASIL. **Lei n° 10848, de 15 de março de 2004**. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis nos 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências. Publicado no DOU de 16.3.2004. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2004/Lei/L10.848.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Lei/L10.848.htm)>. Acesso em: 03 maio 2019.

BORTOLOTO, Valter A. et al. GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR ON GRID E OFF GRID. In: JORNADA CIENTÍFICA TECNOLÓGICA, 6., 2017, Botucatu. **Anais**. Botucatu: Fatec, 2017. p. 1 - 6. Disponível em: <<http://www.fatecbt.edu.br/ocs/index.php/VIJTC/VIJTC/paper/viewFile/1069/1234>>. Acesso em: 17 abr. 2019.

BOSO, Ana Cláudia Marassá Roza; GABRIEL, Camila Pires Cremasco; GABRIEL FILHO, Luís Roberto Almeida. ANÁLISE DE CUSTOS DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ON-GRID E OFF-GRID NO BRASIL. **Revista Científica Anap Brasil**, [s. L.], v. 8, n. 12, p.57-66, 2015. Disponível em: <[http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/anap\\_brasil/article/view/1138/1161](http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/anap_brasil/article/view/1138/1161)>. Acesso em: 01 abr. 2019.

CÂMARA, Carlos Fernando. Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede elétrica. **Universidade Federal de Lavras, UFLA, MG**, 2011.

CARNEIRO, Joaquim. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico**: Sistema ligados a rede e sistemas autônomos. 2009. Disponível em: <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/16965/1/DIMENSIONAMENTO%20D%E20SISTEMAS%20FOTOVOLTAICOS.pdf>>. Acesso em 30 abril 2019.

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Grupo de Trabalho de Energia Solar. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos** / Rio de Janeiro, CRESESB, 1999.

DIAS, Pablo Ribeiro. **Caracterização e reciclagem de materiais de módulos fotovoltaicos (painéis solares)**. 2015. 64 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minar, Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

FEDERAL, Receita. **Taxa de Juros Selic**. Disponível em: <[http://receita.economia.gov.br/orientacao/tributaria/pagamentos-e-parcelamentos/taxa-de-juros-selic#Taxa\\_de\\_Juros\\_Selic](http://receita.economia.gov.br/orientacao/tributaria/pagamentos-e-parcelamentos/taxa-de-juros-selic#Taxa_de_Juros_Selic)>. Acesso em: 09 nov. 2019.

GREENPRO. **Energia fotovoltaica: Manual sobre tecnologias, Projeto e Instalação**. 2004.

GITMAN, L.J.: **Princípios de Administração Financeira**. 7 ed. São Paulo: Harbra, 2002.

MIRANDA, Arthur Biagio Canedo Montesano. **ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE**. 2014. 98 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014

NASCIMENTO, Rodrigo Limp. **ENERGIA SOLAR NO BRASIL: SITUAÇÃO E PERSPECTIVAS**. 2017. Disponível em: <<http://bd.camara.gov.br/bd/handle/bdcamara/32259>>. Acesso em: 30 mar. 2019.

PACHECO, Juliano de Oliveira. **Conversores CC-CA. 2012**. Disponível em: <<http://www.uniedu.sed.sc.gov.br/wp-content/uploads/2014/01/Juliano-de-OliveiraPacheco.pdf>>. Acesso em 30 abril 2019.

PEREIRA, F.; OLIVEIRA, M. **Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica**. Porto: Publindústria, 2011.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antônio. **Manual de engenharia para sistema fotovoltaicos**. 2014. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf)>. Acesso em 30 abril 2019.

PRADO JR., F. et al. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. CEPEL & CRESESB, 2004.

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

SANTOS, Fabrício Almeida; SOUZA, Carlos Alberto de; DALFIOR, Vanda Aparecida Oliveira. **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, 13., 2016, Resende. **Anais...** . Rio de Janeiro: Aedb, 2016. p. 1 - 14.

SANTOS, Deivisson Rodrigues et al. **ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: UM ESTUDO DE CASO DA APLICAÇÃO NO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO PROFISSIONALIZANTE**. **Revista GEINTEC Gestão, Inovação e Tecnologias**, v. 7, n. 2, p. 3859-3875, 2017.

SERRAO, Marcos Antonio dos Santos. **Dimensionamento de sistema fotovoltaico para uma casa de veraneio em pouso da Cajaíba- Paraty**. 2010. 99 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em:  
<<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10000620.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2019.

TIEPOLO, Gerson Máximo et al (Org.). **Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná**. Curitiba: Silvia Vitorino Pereira, 2017. 97 p.