



**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**  
**PATRICK DA SILVA CORRÊA**

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA A GERAÇÃO DE  
ENERGIA FOTOVOLTAICA EM UMA EMPRESA DE EMBALAGENS PLÁSTICAS**

**Tubarão, SC**

**2019**

**PATRICK DA SILVA CORRÊA**

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONOMICA PARA A GERAÇÃO DE  
ENERGIA FOTOVOLTAICA EM UMA EMPRESA DE EMBALAGENS PLÁSTICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade  
do Sul de Santa Catarina como requisito parcial  
à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Esp. Ricardo Mendes da Silva

Tubarão, SC  
2019

PATRICK DA SILVA CORRÊA

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONOMICA PARA A GERAÇÃO  
DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM UMA EMPRESA DE EMBALAGENS  
PLÁSTICAS

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 29 de novembro de 2019



---

Professor e orientador Esp. Ricardo Mendes da Silva  
Universidade do Sul de Santa Catarina



---

Professora Vivian Mendes da Silva  
Universidade do Sul de Santa Catarina



---

Eng.º Guilherme Mauricio Marques

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, que sempre esteve presente em todos os momentos desta fase. Também a meus familiares e amigos que não mediram esforços para me apoiar sempre quando necessário.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de expressar meus agradecimentos primeiramente ao orientador Ricardo Mendes da Silva, por todo apoio, empenho e disposição durante todo esse trabalho, sem dúvida foi parte essencial para a conclusão deste.

Aos meus familiares e amigos, que sempre estiveram à disposição para ajudar e apoiar sempre que preciso, em especial a minha irmã, Layane da Silva Corrêa, que sempre esteve pronta para ajudar em qualquer dúvida ou questionamento.

A todos os professores da UNISUL, por todo conhecimento proporcionado durante meu processo de formação profissional.

Por fim, aos colegas de faculdade e todos aqueles que contribuíram, seja com grandes ou pequenas ações, para a completa realização deste trabalho.

“Só se pode alcançar um grande êxito quando nos mantemos fiéis a nós mesmos.”  
(Friedrich Nietzsche).

## RESUMO

Quando se trata de energia elétrica limpa, a energia solar possui grande destaque devido aos mínimos impactos ambientais e abundância de matéria prima necessária para a geração. Esta também se destaca por possuir um baixo custo de geração, fato que se torna um item atrativo a empresas que buscam, nas mais variadas formas possíveis, reduzir custos operacionais. Seguindo este raciocínio, este estudo de caso tem como objetivo apresentar o sistema solar fotovoltaico a uma empresa de embalagens plásticas da região Sul de Santa Catarina, juntamente com análises técnicas e financeiras de diferentes fornecedores de tal sistema. Para se obter um completo êxito, foram realizados orçamentos em dois fornecedores e após esta fase, foram aplicadas as técnicas de análises financeiras como Pay-back, Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno. Desta forma, foi possível analisar a viabilidade, o tempo e o percentual interno de retorno para cada orçamento apresentado.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica. Viabilidade Econômica. Sustentabilidade.

## **ABSTRACT OU RÉSUMÉ OU RESUMEN**

When it comes to clean electricity, solar energy is very prominent due to the minimal environmental impacts and abundance of raw material needed for generation. This also stands out for having a low cost of generation, a fact that becomes an attractive item for companies that seek, in the most varied ways possible, to reduce operating costs. Following this reasoning, this case study aims to present the photovoltaic solar system to a plastic packaging company in the southern region of Santa Catarina, together with technical and financial analysis of different suppliers of such system. To be completely successful, budgets were made in two suppliers and after this phase, financial analysis techniques such as Payback, Net Present Value and Internal Rate of Return were applied. Thus, it was possible to analyze the feasibility, the time and the internal percentage of return for each budget presented

**Keywords:** Photovoltaic Solar Energy. Economic viability. Sustainability.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Célula de silício Monocristalino. ....                               | 22 |
| Figura 2: Célula de Silício Policristalino.....                                | 23 |
| Figura 3: Célula de silício amorfo. ....                                       | 24 |
| Figura 4: Sistema Fotovoltaico Centralizado. ....                              | 25 |
| Figura 5: Sistema Fotovoltaico Isolado. ....                                   | 26 |
| Figura 6: Sistema Fotovoltaico Distribuído. ....                               | 27 |
| Figura 7: Funcionamento de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede..... | 28 |
| Figura 8: Medição bidirecional de registros independentes. ....                | 31 |
| Figura 9: Medição com a utilização de dois medidores unidirecionais.....       | 31 |
| Figura 10: Localização geográfica do empreendimento.....                       | 36 |
| Figura 11: Mapa potencial solar na cidade de Armazém/SC. ....                  | 38 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|  |    |
|--|----|
| Gráfico 1: Consumo x geração: sistema proposto pelo fornecedor A.....  | 41 |
| Gráfico 2: Consumo x geração: sistema proposto pelo Fornecedor B. .... | 42 |
| Gráfico 3: Consumo x geração de energia elétrica.....                  | 44 |
| Gráfico 4: Fluxo de caixa acumulado empresa A.....                     | 48 |
| Gráfico 5: Fluxo de caixa acumulado empresa B.....                     | 49 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1: Características de inversores com diferentes formas de onda. ....  | 29 |
| Tabela 2: Irradiação solar diária média mensal na cidade de Armazém/SC. .... | 37 |
| Tabela 3: Consumo de energia elétrica da empresa nos últimos 12 meses. ....  | 39 |
| Tabela 4: Cálculo Pay-Back do orçamento oferecido pela empresa A. ....       | 46 |
| Tabela 5: Cálculo Pay-Back do orçamento oferecido pela empresa B.....        | 47 |

## LISTA DE EQUAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| Equação 1: Cálculo para o Valor Presente Líquido.....   | 33 |
| Equação 2: Cálculo para a Taxa Interna de Retorno. .... | 33 |

## SUMÁRIO

|              |   |           |
|--------------|---|-----------|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUÇÃO.....</b>  | <b>16</b> |
| 1.1          | JUSTIFICATIVA .....   | 16        |
| 1.2          | OBJETIVO .....  | 18        |
| <b>1.2.1</b> | <b>Objetivo geral .....</b>   | <b>18</b> |
| <b>1.2.2</b> | <b>Objetivos específicos .....</b>  | <b>18</b> |
| <b>2</b>     | <b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>   | <b>19</b> |
| 2.1          | RADIAÇÃO SOLAR .....  | 19        |
| 2.2          | VANTAGENS DO INVESTIMENTO NA GERAÇÃO DE ENERGIA PROVENIENTE DE PROCESSOS SUSTENTÁVEIS ..... | 19        |
| 2.3          | PLACAS SOLARES FOTOVOLTAICAS .....  | 21        |
| <b>2.3.1</b> | <b>Tipos de Células Fotovoltaicas .....</b>   | <b>21</b> |
| 2.3.1.1      | Silício Monocristalino .....  | 21        |
| 2.3.1.2      | Silício Policristalino .....  | 22        |
| 2.3.1.3      | Silício Amorfo .....  | 23        |
| <b>2.3.2</b> | <b>Implantação dos Sistemas Fotovoltaicos .....</b>   | <b>24</b> |
| 2.3.2.1      | Sistema Centralizado .....  | 24        |
| 2.3.2.2      | Sistema Isolado.....  | 25        |
| 2.3.2.3      | Sistema distribuído .....   | 26        |
| 2.4          | CONCEPÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS COM LIGAÇÃO À REDE ELÉTRICA.....                       | 27        |
| 2.5          | VIABILIDADE ECONÔMICA.....  | 32        |
| <b>2.5.1</b> | <b>Pay-Back .....</b>   | <b>32</b> |
| <b>2.5.2</b> | <b>Valor Presente Líquido (VPL) .....</b>   | <b>32</b> |
| <b>2.5.3</b> | <b>Taxa Interna de Retorno (TIR).....</b>   | <b>33</b> |
| <b>3</b>     | <b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>  | <b>34</b> |
| 3.1          | O ESTUDO REALIZADO .....  | 34        |
| <b>3.1.1</b> | <b>A Coleta de Dados .....</b>  | <b>35</b> |
| 3.2          | O PROCESSO .....  | 35        |
| 3.3          | APRESENTAÇÃO DO EMPREENDIMENTO .....  | 35        |
| <b>4</b>     | <b>ESTUDO DE CASO .....</b>   | <b>37</b> |
| 4.1          | POTENCIAL DE GERAÇÃO DO LOCAL.....  | 37        |
| 4.2          | CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA ELÉTRICA PELA EMPRESA.....   | 38        |

|              |   |           |
|--------------|---|-----------|
| 4.3          | CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS ANALISADOS .....               | 39        |
| <b>4.3.1</b> | <b>Sistema Proposto do Fornecedor A .....</b>               | <b>40</b> |
| 4.3.1.1      | Equipamentos do Sistema.....                                | 40        |
| 4.3.1.2      | Investimento para Aquisição do Sistema .....                | 40        |
| 4.3.1.3      | Potencial Estimado .....                                    | 40        |
| <b>4.3.2</b> | <b>Sistema Proposto do Fornecedor B.....</b>                | <b>41</b> |
| 4.3.2.1      | Equipamentos do Sistema.....                                | 41        |
| 4.3.2.2      | Investimento para Aquisição do Sistema .....                | 42        |
| 4.3.2.3      | Potencial Estimado .....                                    | 42        |
| <b>5</b>     | <b>RESULTADOS .....</b>                                     | <b>44</b> |
| 5.1          | CONSUMO X GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA .....                 | 44        |
| 5.2          | PAY-BACK .....  | 45        |
| <b>5.2.1</b> | <b>Sistema Proposto pelo Fornecedor A .....</b>             | <b>45</b> |
| <b>5.2.2</b> | <b>Sistema Proposto pelo Fornecedor B.....</b>              | <b>46</b> |
| <b>5.2.3</b> | <b>Análises de Pay-Back dos Sistemas Propostos.....</b>     | <b>48</b> |
| 5.3          | VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL) .....                          | 50        |
| <b>5.3.1</b> | <b>Sistema Proposto pelo Fornecedor A .....</b>             | <b>50</b> |
| <b>5.3.2</b> | <b>Sistema Proposto pelo Fornecedor B.....</b>              | <b>50</b> |
| <b>5.3.3</b> | <b>Análises do Valor Presente Líquido dos projetos.....</b> | <b>50</b> |
| 5.4          | TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR).....                          | 51        |
| <b>6</b>     | <b>CONCLUSÃO.....</b>                                       | <b>52</b> |
|              | <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                    | <b>53</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a população mundial vem crescendo consideravelmente se tratando de números absolutos. Este aumento populacional faz com que se exija cada vez mais do nosso planeta e, conseqüentemente, de suas riquezas naturais que são usadas para abastecer, de diversas maneiras, toda essa população. Paralelamente a tal crescimento, nota-se também um constante avanço tecnológico, que faz com que seja necessária uma alta demanda energética para suprir todas as necessidades do homem.

Atualmente a maior parte dessa energia é produzida por combustíveis fósseis como petróleo, carvão e gás natural, por exemplo. A geração por meio destes combustíveis possui altos índices de poluição atmosférica, fato que inviabiliza, ecologicamente falando, estes processos. Outro método bastante utilizado para tal geração se dá através de usinas hidroelétricas, que, mesmo sendo considerado uma fonte renovável, sua implantação causa diversos impactos ambientais no local de sua instalação.

Buscando contrapor-se a grande utilização dessas fontes não-renováveis ou que causam impactos negativos ao nosso planeta, temos a nossa disposição diversas tecnologias que possam vir a suprir nossa necessidade energética, diminuindo o impacto ambiental para nosso planeta.

Vivemos em um país que tem a sua disposição altos índices de radiação solar, entretanto, não é aproveitado de maneira considerável esse bem inesgotável que temos a nosso favor. Buscando melhor aproveitamento destes altos índices, este trabalho tem a finalidade de analisar técnica e economicamente a instalação de placas solares fotovoltaicas para geração de energia elétrica em uma empresa da região Sul do estado de Santa Catarina.

### 1.1 JUSTIFICATIVA

O quadro atual de nossa sociedade consiste em constantes mudanças de hábitos do cotidiano. Para acompanhar o tal desenvolvimento, a todo instante pesquisas estão sendo desenvolvidas nas mais variadas áreas de estudo, onde novas descobertas de melhorias de vida são propostas. Por outro lado, a modernidade no padrão de vida muitas vezes diminui o ciclo de vida dos produtos, transformando-os em ultrapassados ou menos eficientes.

A construção civil está inclusa neste grande leque das mais variadas formas de pesquisa. É notório em qualquer ambiente, seja ele real ou virtual, que novos empreendimentos cheios de inovações e novidades estão tomando conta e espalhando-se por todo o território mundial.

Chegamos a um ponto em que foi necessário focar os olhos dos pesquisadores à responsabilidade ambiental e de sustentabilidade. E este pode ser um dos temas mais desafiadores para os engenheiros civis, fato que influencia todo o processo construtivo, desde o início na escolha de um terreno e sua preparação para o início do empreendimento, até mesmo nos mais sofisticados detalhes de acabamentos. É imprescindível que estes sejam executados de forma sustentável e com a mínima geração de impactos para o planeta e, conseqüentemente, para os seres humanos que nele vivem.

Além de todas as preocupações existentes durante o processo construtivo, sejam elas a geração de entulhos, reaproveitamentos de materiais, redução na quantidade de lixo ou outras dezenas de fatores existentes na construção civil, nos deparamos com o problema de geração de energia da qual o empreendimento irá dispor para o seu completo funcionamento.

No mundo atual o homem tem a sua disposição diversas formas de gerar essa energia, podendo ser através de hidroelétricas, termelétricas, usinas nucleares, biomassa, entre outros. São esses os mais utilizados modos de gerar tal energia, porém, mesmo alguns podendo ser considerados métodos sustentáveis de geração (como hidroelétricas e biomassa), todos eles trazem consigo impactos negativos que vão na contramão de tudo aquilo que se busca nos dias atuais: a sustentabilidade.

De acordo com esse raciocínio, o homem tem aumentado de forma significativa o uso de geração de energia através de processos sustentáveis, buscando cada vez mais diminuir os danos causados por tais processos. Onde notoriamente se destacam a energia eólica, e solar como formas de geração sustentáveis que produzem mínimos impactos ao nosso planeta.

Desta forma, buscando adequar-se nessa tendência mundial elegeu-se como pergunta central para esta pesquisa: **Qual a viabilidade técnica e econômica para a instalação de um sistema de produção sustentável de energia através de placas fotovoltaicas em uma empresa de embalagens plásticas do município de Armazém, sul de Santa Catarina, que consome mensalmente aproximadamente 1.075 KW de energia elétrica, em estudo realizado no ano de 2019.**

## 1.2 OBJETIVO

### 1.2.1 Objetivo geral

Analisar a de viabilidade técnica e econômica da instalação de placas solares fotovoltaicas para o fornecimento de energia elétrica, contribuindo para minimizar os impactos ambientais e os custos com a agência fornecedora de energia, da empresa Embalay Embalagens Plásticas, localizada na cidade de Armazém/SC.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- a) Apresentar o funcionamento da utilização do sistema fotovoltaico para transformação de energia solar em elétrica;
- b) Exibir um estudo solar do local do empreendimento.
- c) Expor uma projeção de geração de energia elétrica e comparar com o consumo atual da empresa estudada.
- d) Executar um estudo de viabilidade técnica e econômica para a implantação do sistema fotovoltaico.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 RADIAÇÃO SOLAR

É chamado de radiação solar a energia oferecida pelo sol. Ela é a maior fonte de energia presente no planeta terra.

O Sol fornece anualmente, para a atmosfera terrestre,  $1,5 \times 10^{18}$  kWh de energia. Trata-se de um valor considerável, correspondendo a 10.000 vezes o consumo mundial de energia neste período. Este fato vem indicar que, além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, a radiação solar constitui-se numa inesgotável fonte energética, havendo um enorme potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outra forma de energia (térmica, elétrica, etc.). (CRESESB, 2006).

Levando em consideração o potencial elétrico que o sol nos fornece, é de suma importância que o homem saiba utilizar tal energia a seu favor, afinal trata-se de uma fonte inesgotável e sem custos de matéria prima, cabendo a ele apenas pôr em prática métodos e procedimentos que possam captar e converter a energia disposta para outra fonte de energia que seja benéfica para suas atividades e convivência.

De acordo com Pereira et al. (2006), a média anual de irradiação global apresenta uma boa uniformidade no Brasil, com médias relativamente altas em todo o território. Os valores de irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro (1500-2500 Wh/m<sup>2</sup>) são superiores aos da maioria dos países europeus, como Alemanha (900-1250 Wh/m<sup>2</sup>), França (900-1650 Wh/m<sup>2</sup>) e Espanha (1200-1850 Wh/m<sup>2</sup>), locais onde projetos de aproveitamentos solares são amplamente disseminados.

### 2.2 VANTAGENS DO INVESTIMENTO NA GERAÇÃO DE ENERGIA PROVENIENTE DE PROCESSOS SUSTENTÁVEIS

Devido ao ser humano exigir cada vez mais dos recursos naturais dispostos pelo mundo, os mesmos correm riscos de se extinguirem caso não sejam utilizados de formas adequadas. Desta forma, é essencial que sejam desenvolvidas maneiras de exploração destes recursos que amenizam os impactos no ciclo harmonioso da terra, para as mais variadas atividades do nosso cotidiano.

No processo de geração de energia não é diferente, podemos, através de investimentos e estudos, suprir a demanda necessária de energia com fontes que amenizam os

impactos negativos ao planeta. A geração de energia através de placas solares fotovoltaicas é um importante e rentável exemplo deste cenário.

Se 0,1% da radiação solar que atinge a superfície terrestre fosse convertida em energia elétrica, a 10% de eficiência, seria gerada uma quantidade equivalente a quatro vezes a capacidade de produção mundial instalada. No entanto, 80% da energia utilizada atualmente no mundo possui origem em fontes não renováveis. (THIRUGNANASAMBANDAM; INIYAN; GOIC, 2010).

Torna-se muito proveitoso o investimento nesse tipo de geração de energia pelo fato de se tratar de uma fonte natural e abundante em toda terra. Sua exploração causa baixos danos ao planeta, sem mencionar os danos que deixariam de ser causados pelo abandono gradativo nas formas não renováveis de geração de energia, caso seja efetivado a implantação das placas para substituí-las.

A energia solar adquire cada vez maior significado na discussão do problema de fornecimento de energia. É, presentemente, a única fonte de energia conhecida que pode abastecer o homem por período de tempo praticamente ilimitado, estando além disso e sobretudo livre de poluição. A duração limitada de fornecimentos de energia fóssil foi dada a conhecer pelos acontecimentos de 1973. Desde então, por todo o mundo aumentou a procura de novas fontes de energia e a energia solar ocupa um lugar preponderante nestes esforços. (SABADY, 1979, p. 35).

O ponto de partida para o aumento desse tipo de fonte de geração de energia sem dúvida é o incentivo. O sol nos proporciona uma fonte de energia imensa e inacabável que se utilizada de forma correta só nos trará benefícios. Basicamente ele é uma esfera com 1.400.000 km de diâmetro que irradia uma ampla energia devido a reações nucleares em cadeia. A temperatura aparente do Sol é de aproximadamente 6.000 K. (CABIROL, 1980).

A utilização de placas fotovoltaicas para geração de energia, como já citado acima, tem sido umas das alternativas encontradas para aliviar e, podendo até futuramente substituir, o alto consumo das formas convencionais, que são as mais poluentes e geradoras de impactos negativos para o planeta

A muito tempo atrás já se notava a importância da utilização da radiação solar pela humanidade e atualmente percebe-se o grande aumento na utilização da mesma, seja para geração de energia ou outros fins, fato que nos faz refletir nos interessantes resultados que isso pode proporcionar para toda a população mundial.

## 2.3 PLACAS SOLARES FOTOVOLTAICAS

A energia fotovoltaica tem grande potencial para ser utilizada tanto em grandes usinas de geração quanto em residências, empresas ou pequenos geradores particulares.

Ela foi descoberta em 1839 por Edmond Becquerel, quando o mesmo percebeu a geração de uma diferença de potencial nos terminais de uma célula eletroquímica ocasionada pela absorção de luz. Porém somente em 1950 ela começou a ser colocada em prática quando criou-se a primeira célula fotovoltaica, a qual será explicada no capítulo a seguir. (CRESESB, p.5, 2006)

### 2.3.1 Tipos de Células Fotovoltaicas

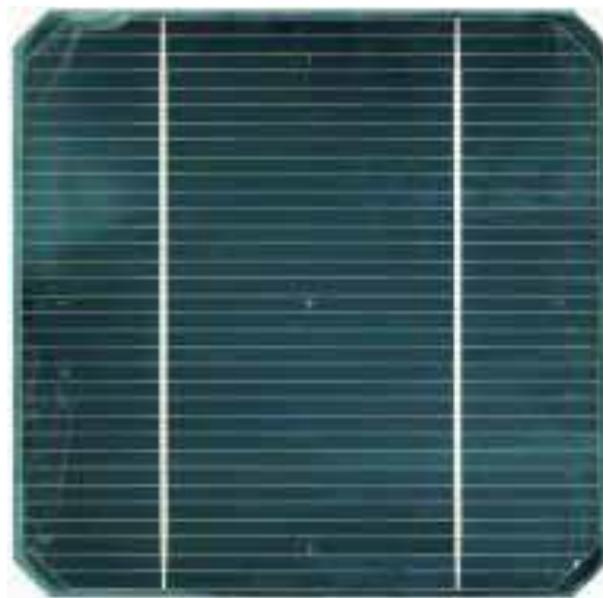
Dentre vários tipos de células fotovoltaicas existentes as mais utilizadas atualmente são as de silício monocristalino, policristalino e filmes finos de silício. São materiais extraídos do mineral quartzo, este que pode ser obtido na natureza em ocorrências ou jazidas, ou por crescimento hidrotérmico na indústria de cristais cultivados. (PINHO et al., 2008).

#### 2.3.1.1 Silício Monocristalino

São células geralmente obtidas através de barras cilíndricas de silício monocristalino, produzidas em fornos especiais. Elas são cortadas em fatias para que, em um conjunto com cerca de 40 a 60 fatias unidas formem um painel solar.

Estes minerais silicatos são abundantes em território brasileiro. Ela possui uma boa eficiência na conversão da luz em energia solar, chegando a faixa de 15%. Ou seja, aproximadamente 15% da incidência solar que nela radia é transformada em energia elétrica. (NASCIMENTO, 2010).

Figura 1: Célula de silício Monocristalino.



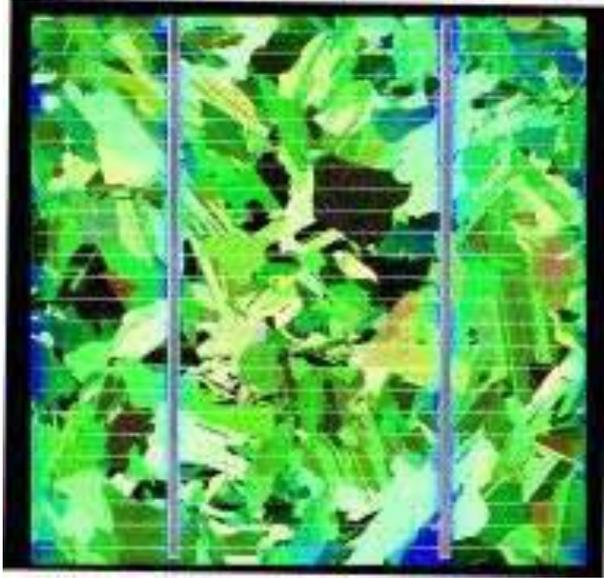
Fonte: Energia Fotovoltaica: manual sobre tecnologias, projeto e instalação, 2004. p. 37.

Porém o painel possui um alto custo de fabricação, comparada a outros tipos de células, devido a sua maior complexidade de fabricação, que exige uma pureza superior de silício. A mesma possui uma vida útil média de 25 anos com garantia de 80% de eficiência e seu maior aproveitamento se dá quando instalada voltada ao Norte e com mesmo ângulo de inclinação que a Latitude do local em que o sistema será instalado.

#### 2.3.1.2 Silício Policristalino

Estas células são produzidas a partir de blocos de silício, obtidos através da fusão de silício puro. Posteriormente, o silício sofre um processo de resfriamento de forma lenta almejando sua solidificação. Estas não possuem o mesmo grau de pureza de fabricação da célula monocristalina, devido ao seu menor grau de aproveitamento. Com um custo menor de fabricação, seu valor comercial é reduzido obtendo um bom custo benefício com considerável aproveitamento energético, mas com uma eficiência na conversão de luz solar em eletricidade ligeiramente menor do que as de silício monocristalino. (NASCIMENTO, 2019).

Figura 2: Célula de Silício Policristalino.



Fonte: Energia Fotovoltaica: manual sobre tecnologias, projeto e instalação, 2004. p. 44.

A diferença entre as placas é perceptível a olho nu, pois a Monocristalina possui uma cor escura e uniforme, ao contrário da Policristalina que tem uma coloração variada, um pouco mais clara, conforme Figura 2. Porém sua vida útil dela e processos de instalações são semelhantes as placas de silício monocristalino.

#### 2.3.1.3 Silício Amorfo

São células obtidas pela deposição de camadas finas de silício sobre superfícies de vidro ou metal. Apresentam custo e rendimento elétrico mais reduzido. Sua eficiência varia entre 5% e 7%. (NASCIMENTO, 2019).

Figura 3: Célula de silício amorfo.



Fonte: Energia Fotovoltaica: manual sobre tecnologias, projeto e instalação, 2004. p. 80.

Essa tecnologia está em crescimento no mercado impulsionado pelo seu baixo custo, e resistência, design visual e flexibilidade de instalação, podendo ser instaladas como películas em janelas, telhados e fachadas, com a ângulos de até 10°.

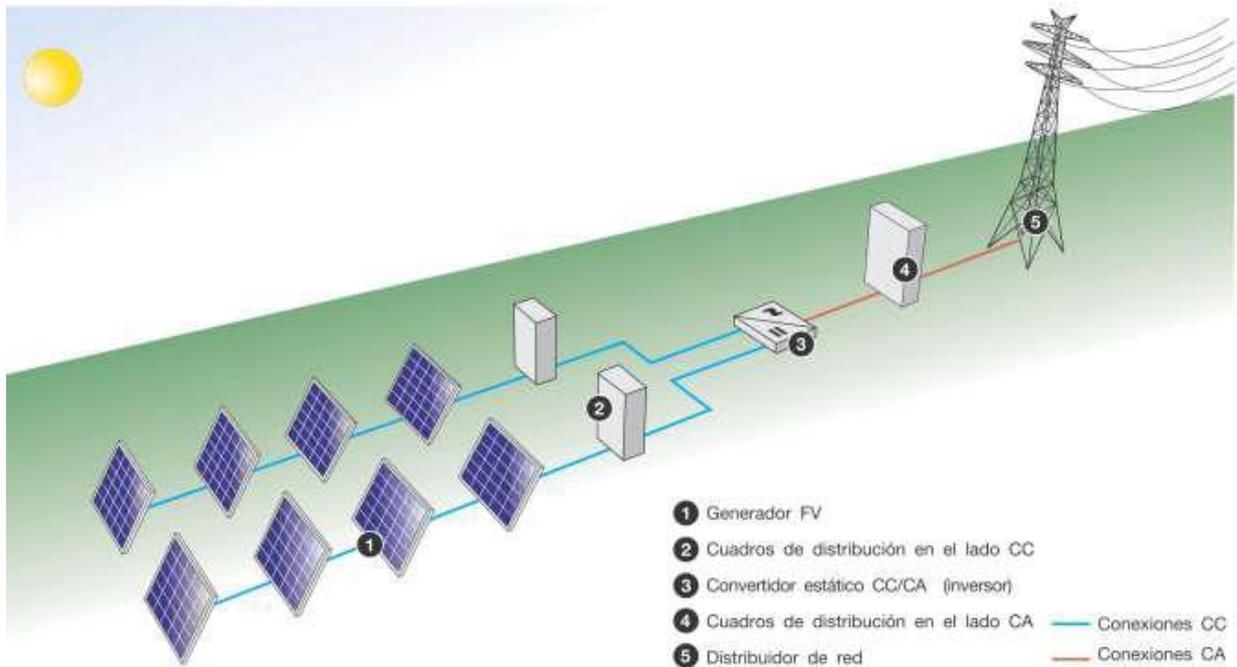
### **2.3.2 Implantação dos Sistemas Fotovoltaicos**

Os sistemas são compostos por três configurações distintas de implantação, que são: centralizado, distribuído ou isolado que serão descritos a seguir.

#### **2.3.2.1 Sistema Centralizado**

Conforme apresentado na Figura 4, o sistema centralizado também é designado como “Usina de Energia Solar Fotovoltaica”, pois trata-se de uma central com diversas placas solares em uma determinada área, comandada por centrais, que monitoram todos os equipamentos, onde toda energia solar convertida em eletricidade é lançada diretamente na rede de distribuição. (SHAYANI, 2006).

Figura 4: Sistema Fotovoltaico Centralizado.



Fonte: Eletricidade global, p. 1, (2013, p. 01).

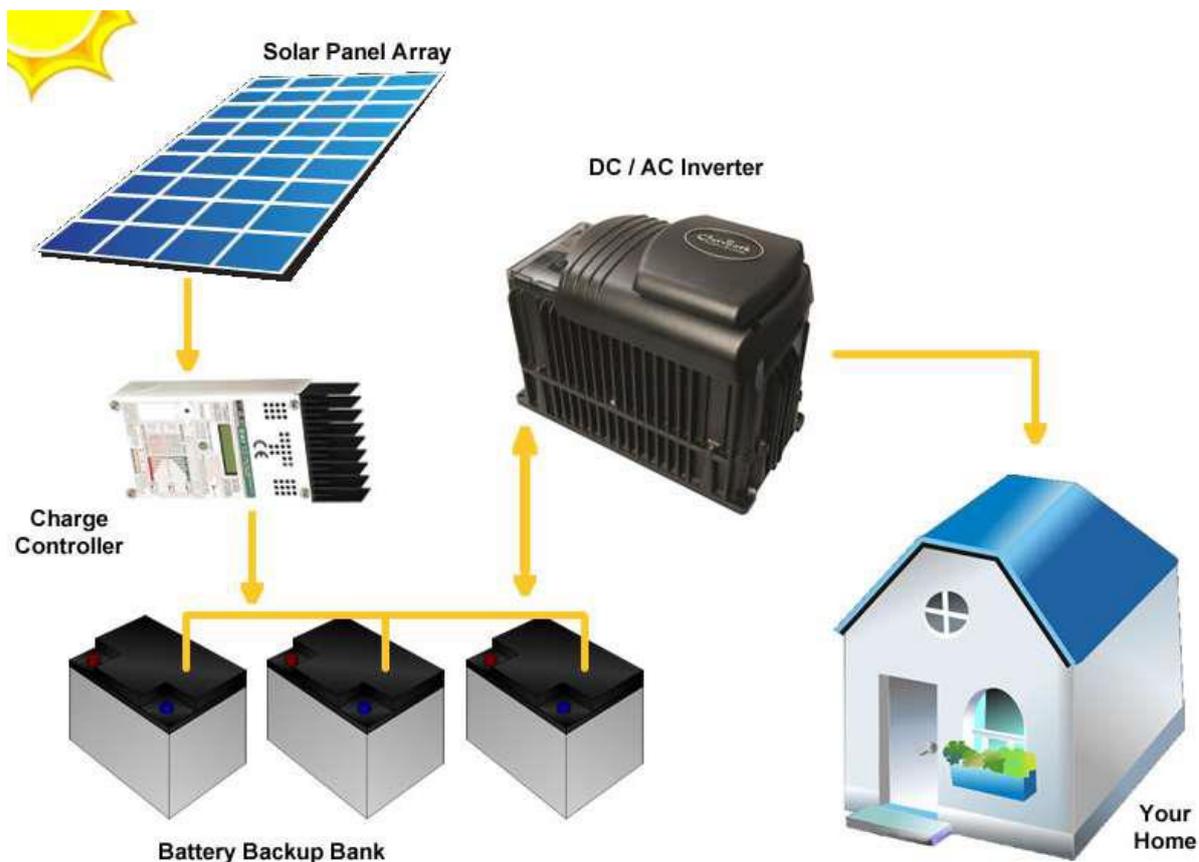
Os equipamentos utilizados para tal sistema, são:

- Painel Solar Fotovoltaico;
- Inversor de corrente CC/CA (corrente contínua/ corrente alternada).

### 2.3.2.2 Sistema Isolado

Como pode-se observar na Figura 5, o Sistema Isolado é indicado para ser usado em regiões onde a energia convencional não tem alcance, como residências isoladas, estações de bombeamento de água, poste de iluminação, estação replicadoras de sinal. Podendo ser classificado em Híbridos, onde o sistema trabalha conectado à rede elétrica e com banco de baterias para armazenagem de baterias, ou autônomos onde o sistema utiliza apenas o banco de baterias para armazenamento desta energia elétrica. (PORTAL SOLAR, 2014).

Figura 5: Sistema Fotovoltaico Isolado.



Fonte: Solar Brasil, p. 1 (2015).

Este necessita dos seguintes equipamentos para seu ideal funcionamento:

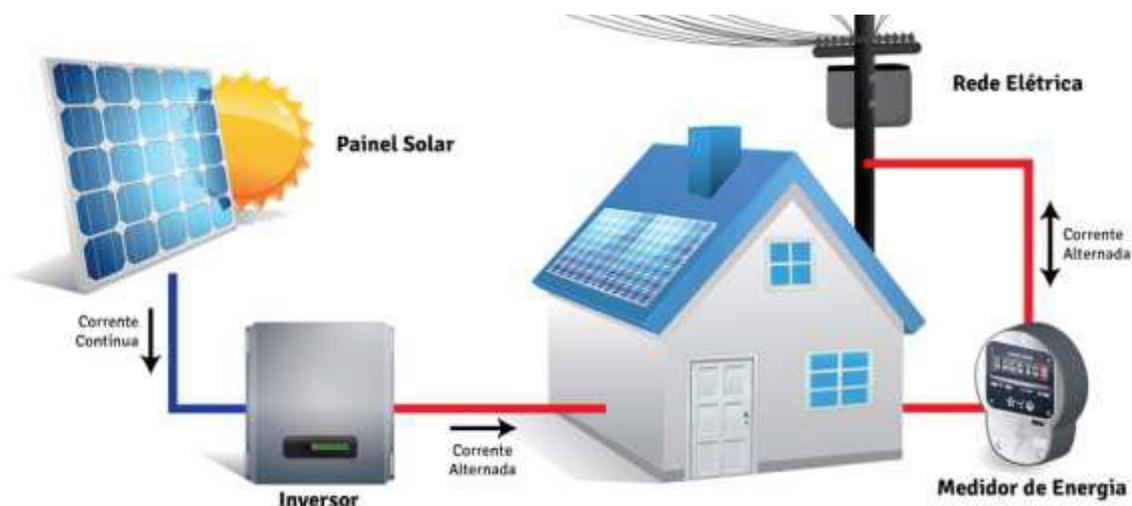
- Painel Solar Fotovoltaico;
- Controlador de carga;
- Baterias;
- Inversor de corrente CC/CA.

### 2.3.2.3 Sistema distribuído

O Sistema Distribuído também chamado de Sistema Conectado à Rede, é o sistema que está diretamente conectado à rede elétrica de distribuição das concessionárias, como podemos ver na Figura 6. A energia gerada através do sistema fotovoltaico é utilizada na alimentação da própria residência e a energia excedente, não utilizada, é jogada na rede gerando um crédito elétrico que pode ser descontado no valor da fatura elétrica mensal ou até mesmo

ser utilizado pela própria residência em horários de baixa eficiência do sistema solar. (SHAYANI, 2006).

Figura 6: Sistema Fotovoltaico Distribuído.



Fonte: Solar Brasil, p. 1 (2015).

Os equipamentos utilizados neste sistema, são:

- Painel Solar Fotovoltaico;
- Inversor de corrente CC/CA;
- Medidor bidirecional.

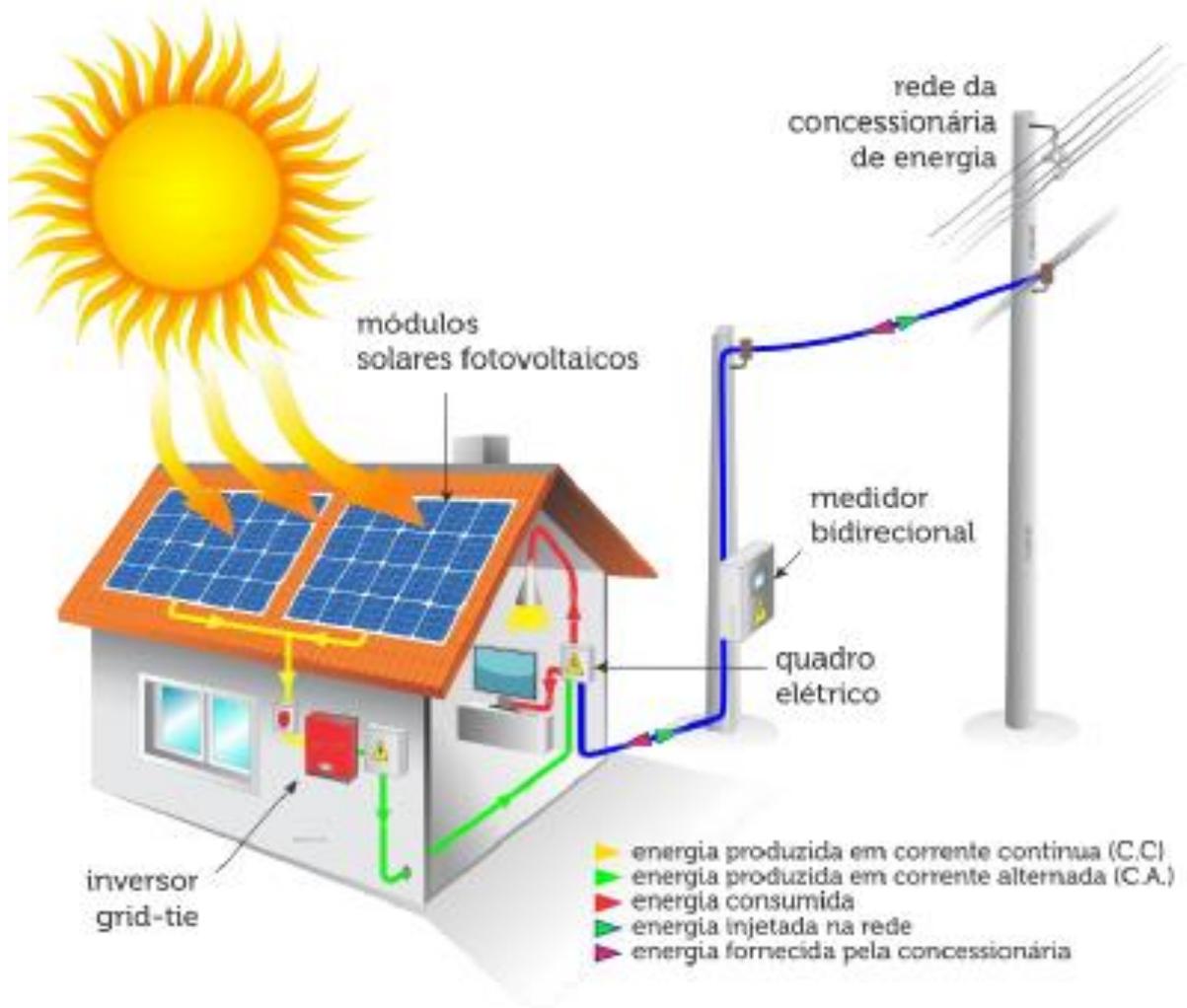
#### 2.4 CONCEPÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS COM LIGAÇÃO À REDE ELÉTRICA

Levando em consideração o potencial elétrico que o sol nos fornece, torna-se plausível seu uso. Para isso, deve-se pôr em prática métodos e procedimentos que possam captar e converter a energia disposta para outra forma de energia que possa ser lançada na rede de distribuição sem que haja danos a mesma.

Com a aprovação da RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 482, DE ABRIL DE 2012 surgiu como possibilidade a conexão dos sistemas fotovoltaicos à rede de distribuição podendo assim ser descartados métodos de armazenamento de energia como baterias e afins.

Na figura abaixo podemos observar como funciona um sistema de geração de energia fotovoltaica conectado à rede.

Figura 7: Funcionamento de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede.



Fonte: Luz Solar. (2019)

Toda a energia gerada pelas placas deve ser conectada em inversores que agem em cima desta, fazendo com que tal energia possa ser adicionada a rede elétrica atendendo as exigências impostas pela concessionária local, que visam qualidade e segurança para que a rede não seja afetada.

Tabela 1: Características de inversores com diferentes formas de onda.

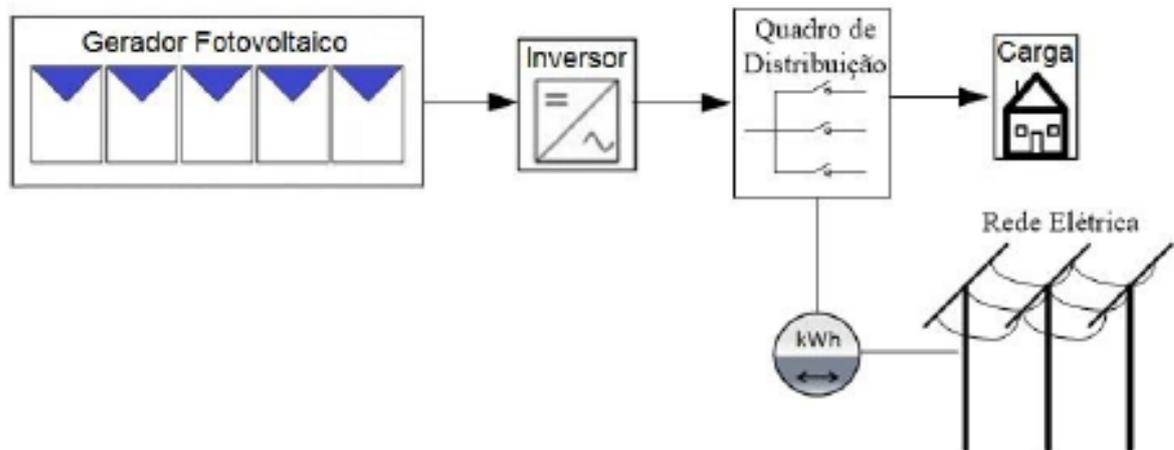
| <b>Tipo de inversores</b>                                   | <b>Características</b>  |
|---|---|
| <b>Inversores de onda quadrada</b>                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fornecem uma saída CA com harmônicos elevados e pequena regulação de tensão. A onde quadrada é obtida simplesmente alternando-se a tensão e corrente.</li> <li>- Comparando-se com a operação em tensão senoidal da rede elétrica, um motor de indução, que esteja operando com estes tipos de inversores, tem somente cerca de 60% do seu torque normal e aquecimentos indesejáveis.</li> <li>- São tipicamente mais baratos, porém, não devem ser usados para cargas indutivas, como motores. Entretanto, são muito adequados para cargas resistivas, tais como lâmpadas incandescentes.</li> </ul>  |
| <b>Inversores de onda quadrada modificada ou retangular</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- São um refinamento dos inversores de onda quadrada. Chaveamentos adicionais são usados para melhor aproximação de uma onde senoidal e, por isso, estes possuem menos distorção harmônica que os de onda quadrada.</li> <li>- São adequados para uma maior variedade de cargas, incluindo lâmpadas, equipamentos eletrônicos e a maioria dos motores, embora não consigam operar um motor tão eficientemente quanto um inversor de onda senoidal.</li> <li>- São mais adequados para operarem motores do que os inversores de onda quadrada, já que o aquecimento do motor é menos. O torque</li> </ul> |

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
|                                    | de partida e operação também são melhores visto que a tensão e corrente de pico são maiores. Entretanto, a tensão de pico destes inversores não deve ser excessiva.   |
| <b>Inversores de onda senoidal</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- São geralmente mais caros: entretanto, se adequadamente projetados e dimensionados, são os que produzem uma tensão de saída e desempenho mais adequados.</li> <li>- Podem operar qualquer aparelho CA ou motor, dentro da sua classificação de potência.</li> <li>- Utilizam normalmente a técnica PWM com uma filtragem posterior.</li> <li>- Usado, em geral, para inversores trifásicos.</li> </ul> |
| <b>PWM</b>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Possuem distorção harmônica muito baixa, principalmente em configurações trifásicas, apesar do aspecto visual da forma de onda</li> <li>- Permitem a construção de inversores senoidais com filtragem não muito complexa.</li> <li>- Adequado para quase todas as cargas CA, exceto equipamentos muito sensíveis.</li> </ul>   |

Fonte: Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos, p.80 (2004).

A energia consumida ou gerada pode ser medida por medidores bidirecionais ou por medidores separados que medem a energia em cada sentido, como exemplificado na Figura 8 e Figura 9.

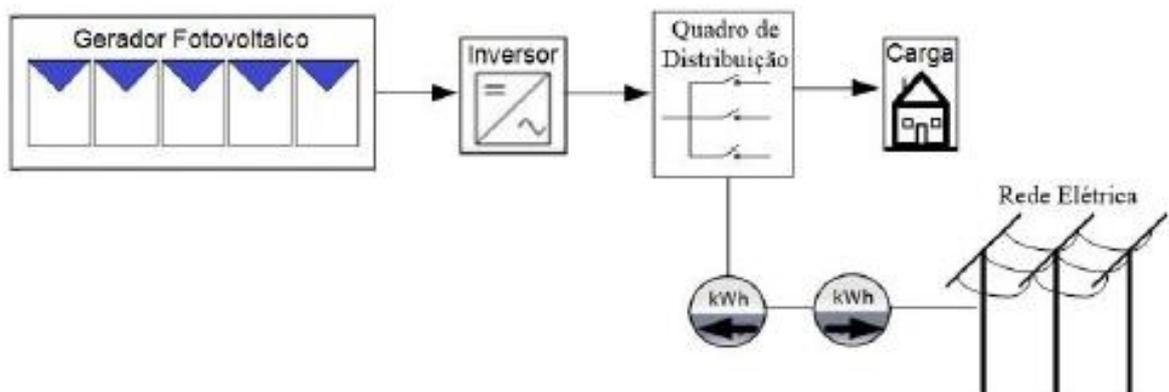
Figura 8: Medição bidirecional de registros independentes.



Fonte: Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos, p. 291. (2014)

Neste caso o medidor é capaz de medir a energia em dois sentidos, sendo um deles da energia que é gerada pelo sistema fotovoltaico e o outro sendo a energia fornecida pela agência local, fazendo assim a medição exata de todo o processo.

Figura 9: Medição com a utilização de dois medidores unidirecionais.



Fonte: Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos, p. 291. (2014)

Neste outro caso, o consumidor precisará de dois medidores separados onde um deles servirá para medir o consumo de energia proveniente da concessionária local, e o outro que servirá para controlar toda a energia gerada pelo sistema fotovoltaico.

Caso a geração de energia do sistema for maior do que o consumo, pela resolução 456/2000 da ANEEL, a cobrança realizada ao titular da fatura é somente da taxa mínima ou custo de disponibilidade.

## 2.5 VIABILIDADE ECONÔMICA

Para avaliar a viabilidade econômica de um projeto, é necessário fazer uma análise de alternativa de investimentos. Ou seja, estudar os fluxos de caixas, desembolso de capital (saídas de caixa) e retornos de investimentos (entradas de caixa). (REBELATTO, 2004).

De um modo geral podemos atestar que a viabilidade econômica de um projeto está relacionada com a vida útil do mesmo e com o tempo de retorno dos investimentos. (BERNAL; PASCALICCHIO, 2012).

De acordo com as características do projeto, a base de cálculo utilizada para analisar a viabilidade econômica do mesmo será o Pay-back, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR).

### 2.5.1 Pay-Back

O método Pay-back é considerado um dos métodos mais simples de análises de investimento, nada mais é do que calcular o tempo de retorno do valor investido.

O Pay-Back pode ser calculado de duas formas, a primeira que é chamada de Pay-back simples não há nenhum desconto sobre o capital investido, a segunda forma, denominado Pay-back descontado, leva esse nome porque é descontado uma taxa, que geralmente é a TMA estipulada pelo investidores. (BRITO, 2006, p.51)

Segundo Motta e Calôba (2002, p.97) esta é uma técnica muito importante para se ter conhecimento de qual período de tempo será necessário para obter um investimento, porém não é recomendado que seja utilizado somente essa técnica para atestar a viabilidade econômica de um projeto, por isso utilizaremos outras duas maneiras para analisar sua viabilidade, apresentadas nos itens a seguir.

### 2.5.2 Valor Presente Líquido (VPL)

É umas das técnicas mais utilizadas nas análises de investimentos, que compreende em determinar o valor presente de pagamentos futuros, com juros apropriados, descontando o custo inicial do investimento.

Equação 1: Cálculo para o Valor Presente Líquido

$$VPL = FC_o + \frac{FC_1}{(1+i)^1} + \frac{FC_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1+i)^n}$$

Onde:

VPL = Valor Presente Líquido

FC = Fluxo de Caixa

i = Taxa de Juros

Basicamente o VPL de um projeto é bem avaliado quando o seu resultado se dá de forma positiva, isso indica que o valor investido será recuperado. Em caso de mais de um projeto, o com maior VPL é automaticamente o melhor projeto a ser executado.

### 2.5.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Trata-se de um método que zera o valor presente líquido dos fluxos de caixa, ou seja, entradas e saídas do caixa de qualquer projeto se igualam.

Seu cálculo é definido pela equação:

Equação 2: Cálculo para a Taxa Interna de Retorno.

$$0 = -FC_o + \frac{FC_1}{(1+i)^1} + \frac{FC_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1+i)^n}$$

Onde:

$FC_o$  = Investimento inicial

$FC_n$  = Entradas do projeto

n = Período de entradas

i = Taxa de Juros

Seu objetivo se resume em encontrar um percentual de remuneração para tal investimento. Seu critério para escolha entre projeto dá-se em função de  $TIR \geq TMA$ . Em casos de escolher entre mais de um projeto opta-se pelo o que apresentar o maior valor de TIR, considerando que ele cumpra o requisito citado anteriormente.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 O ESTUDO REALIZADO

O método de abordagem utilizado foi o qualitativo sob procedimento do tipo análise bibliográfica e nível exploratório.

Araújo e Oliveira (1997, p. 11) descrevem a pesquisa qualitativa como um estudo que:

[...] se desenvolve numa situação natural, é rico em dados descritivos, obtidos no contato direto do pesquisador com a situação estudada, enfatiza mais o processo do que o produto, se preocupa em retratar a perspectiva dos participantes, tem um plano aberto e flexível e focaliza a realidade de forma complexa e contextualizada.

Tem como objetivo principal a identificação dos motivos que determinaram a ocorrência de um fenômeno ou contribuíram para tanto. Os estudos qualitativos buscam, sobretudo, apresentar uma nova dimensão, de resgate do social na investigação científica e, ao mesmo tempo, propõe se esquivar das formas positivistas de entendimento da realidade. Para tanto, procura-se incorporar o caráter construtivo do trabalho conceitual e analítico desenvolvido no estudo descrito.

O método de procedimento, bibliográfico, permite a busca, a criatividade e imaginação do investigador, propiciando o afloramento deste enfoque. Evidentemente que, não obstante essa característica metodológica, também serão utilizados dados, percentuais e números que fazem parte da estrutura quantitativa de pesquisa.

A pesquisa bibliográfica é meio de formação por excelência. Como trabalho científico original, constitui a pesquisa propriamente dita na área das Ciências Humanas. Como resumo de assunto, constitui geralmente o primeiro passo de qualquer pesquisa científica. (CERVO E BERVIAN, 1996, p. 48).

Entendendo-se artigos científicos como objetos de produção humana, conseqüentemente histórica, pode-se perceber a importância dessa análise para a investigação, especialmente quando se tratou de um tema de grande magnitude e atualidade como a implantação de sistema sustentável de obtenção de energia elétrica.

### 3.1.1 A Coleta de Dados

Os dados foram obtidos a partir de artigos científicos, analisados previamente por especialistas e resgatados de bases de dados livres ou fornecidas pela universidade. Livros, revistas científicas, teses, relatórios científicos também foram utilizados como instrumentos de coleta.

## 3.2 O PROCESSO

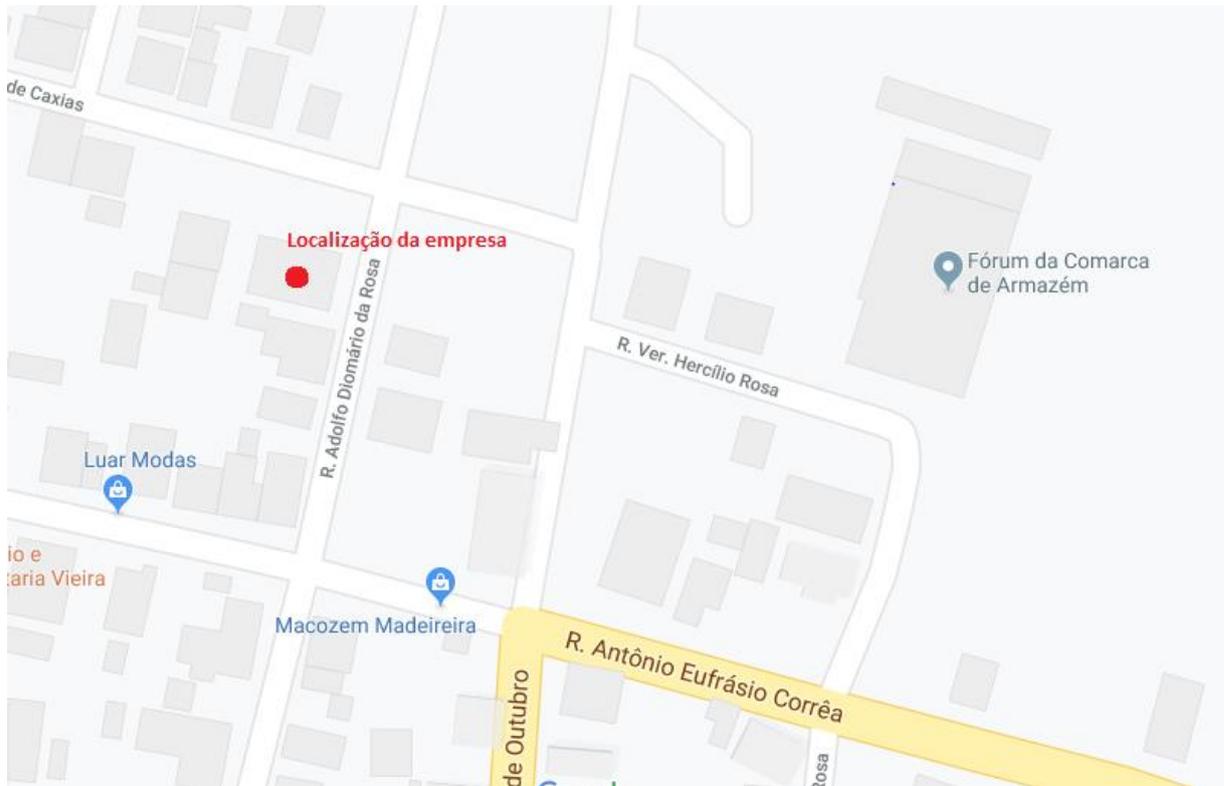
A energia solar foi desde os primórdios uma fonte de energia presente, utilizada inicialmente apenas para fazer fogo, aquecer as casas e a água, por exemplo. Somente no século XIX, o físico francês Alexandre Edmond Becquerel observou o efeito fotovoltaico quando realizava algumas experiências. E no ano de 1839 Alexandre Edmond foi o criador da energia solar. (PORTAL SOLAR, 2016).

Segundo MME (2017) o Brasil possuía no fim de 2016, 81 MWp de energia solar fotovoltaica instalados, o que representa aproximadamente 0,05% da capacidade instalada no país. Fato que chama a atenção devido aos índices de insolação que o país recebe, que são favoráveis à exploração dessa forma de geração de energia.

## 3.3 APRESENTAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

A empresa na qual será aplicado este estudo localiza-se no município de Armazém/SC, situada ao sul a 186 km da capital catarinense, Florianópolis. O empreendimento está localizado na Rua Adolfo Diomário da Rosa, Bairro Nossa Senhora Aparecida, com Latitude -28.257929 e Longitude -49.019978, como podemos observar na Figura 10.

Figura 10: Localização geográfica do empreendimento



Fonte: Google Maps 2019, adaptado pelo autor.

Trata-se da empresa Embalay Embalagens Plásticas que atua no ramo de embalagens plásticas para cama, mesa e banho, moda íntima, moda praia e diversos outros segmentos. A mesma atua no mercado a 24 anos e possui clientes em todo território nacional, destacando-se por atuar principalmente nas regiões sul e sudeste do país.

## 4 ESTUDO DE CASO

### 4.1 POTENCIAL DE GERAÇÃO DO LOCAL.

Para o dimensionamento correto do sistema de placas solares, torna-se necessário conhecer o potencial de geração da localidade em estudo. Desta forma, apresenta-se na tabela a seguir os dados de irradiação solar diária mensal na cidade de Armazém/SC, segundo dados do Centro de Referência Para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB).

Tabela 2: Irradiação solar diária média mensal na cidade de Armazém/SC.

| MÊS                | IRRADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA MÉDIA (kWh/m <sup>2</sup> . dia) |
|--------------------|--|
| Janeiro            | 5,74   |
| Fevereiro          | 5,30   |
| Março              | 4,57   |
| Abril              | 3,81   |
| Maio               | 2,99   |
| Junho              | 2,57   |
| Julho              | 2,76   |
| Agosto             | 3,51   |
| Setembro           | 3,62   |
| Outubro            | 4,43   |
| Novembro           | 5,67   |
| Dezembro           | 5,99   |
| <b>MÉDIA ANUAL</b> | <b>4,25</b>  |

Fonte: (CRESESB, 2019).

Com auxílio do Atlas Global Solar, percebe-se que a cidade de Armazém/SC está situada em uma área que possui potencial de geração entre 1.300 e 1.400 kWh/kWp, como apresentado na Figura 11.

Figura 11: Mapa potencial solar na cidade de Armazém/SC.



Fonte: Global Solar Atlas (2019).

Através do potencial de energia solar que a região dispõe, verificou-se a opção de implantação de placas solares fotovoltaicas para a captação de energia elétrica, objeto de análise técnica proposto neste trabalho.

#### 4.2 CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA ELÉTRICA PELA EMPRESA

No período de setembro de 2018 a agosto de 2019 a empresa consumiu 11.538 kWh, com um custo total de R\$ 9.119,30, como podemos observar na tabela a seguir:

Tabela 3: Consumo de energia elétrica da empresa nos últimos 12 meses.

| MÊS/ANO      | CONSUMO (kwh) | CUSTO              |
|--------------|---------------|--------------------|
| ago/19       | 1126          | R\$873,11          |
| jul/19       | 1077          | R\$808,14          |
| jun/19       | 933           | R\$686,45          |
| mai/19       | 1004          | R\$736,15          |
| abr/19       | 1075          | R\$791,74          |
| mar/19       | 938           | R\$694,44          |
| fev/19       | 1126          | R\$824,66          |
| jan/19       | 686           | R\$515,97          |
| dez/18       | 951           | R\$718,11          |
| nov/18       | 829           | R\$780,35          |
| out/18       | 893           | R\$840,59          |
| set/18       | 900           | R\$849,59          |
| <b>TOTAL</b> | <b>11538</b>  | <b>R\$9.119,30</b> |

Fonte: Cooperzém, adaptador pelo autor (2018-2019).

Por se tratar de um empreendimento do ramo empresarial, é inevitável que nos anos seguintes aja um aumento no consumo absoluto de energia elétrica, fato que deve ser considerado para uma melhor escolha ao fim deste trabalho.

#### 4.3 CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS ANALISADOS

O sistema de geração de energia solar fotovoltaica proposto a ser instalado na empresa visa buscar um equilíbrio entre geração e consumo de energia elétrica, onde quando a energia gerada for maior do que a consumida, esta seja lançada como crédito para a agência fornecedora de energia e, conseqüentemente, debitada nos períodos em que a geração não seja suficiente para suprir as necessidades da empresa.

Desta forma, apresenta-se duas alternativas de sistemas, sugerido por fornecedores da região de Tubarão/SC. As características destas propostas serão apresentadas nos próximos subitens.

### **4.3.1 Sistema Proposto do Fornecedor A**

#### 4.3.1.1 Equipamentos do Sistema

Procurando cumprir tal exigência, foram considerados a utilização de 26 (vinte e seis) painéis fotovoltaicos com potência nominal de 340 Wp e 2 (dois) inversores de frequência com potência de 4kW. O Sistema ocupará uma área de 57 m<sup>2</sup> do telhado da empresa, sendo que sua instalação deverá ser realizada ao lado norte do telhado, onde o sistema terá 100% do aproveitamento da luz solar.

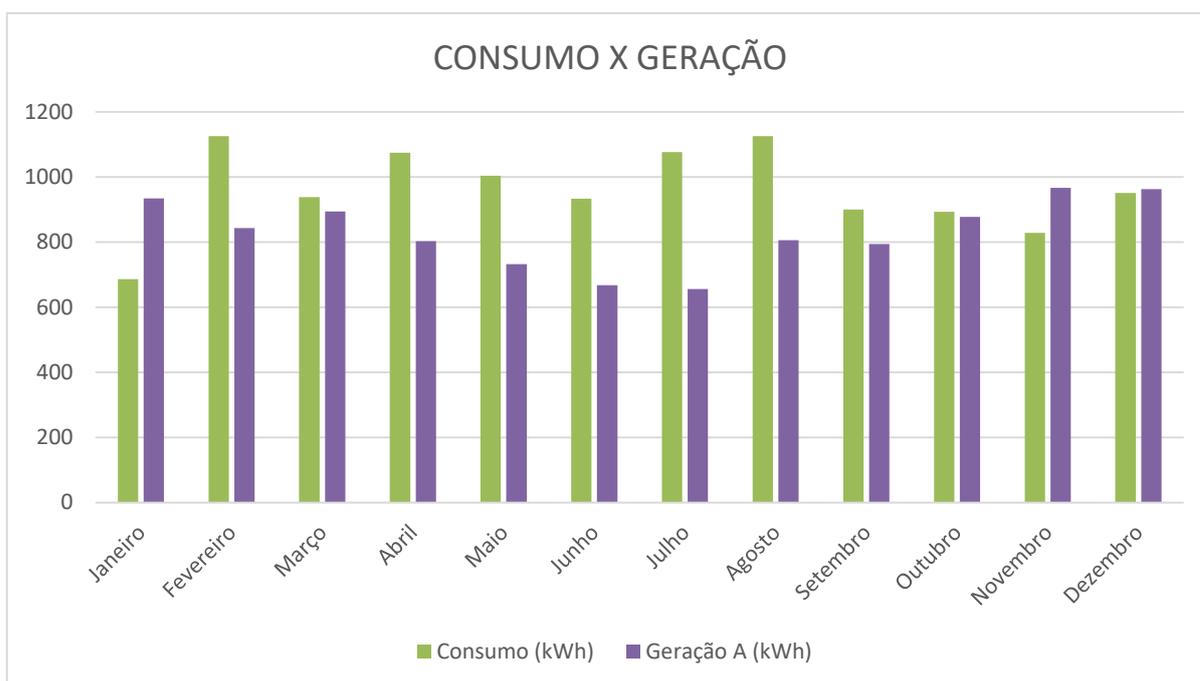
#### 4.3.1.2 Investimento para Aquisição do Sistema

O custo total de implantação do sistema proposto foi de R\$ 32.900,00. Neste valor estão inclusos todos os materiais e serviços necessários para instalação do sistema, como por exemplo, projetos, frete de equipamentos, instalação, homologação junto a agência fornecedora local, monitoramento do sistema após instalado, além de cabos, conectores e demais peças fundamentais para a perfeita instalação do sistema.

#### 4.3.1.3 Potencial Estimado

Baseando-se no mapa brasileiro de energia solar (Global Solar Atlas, 2019), estima-se que o sistema terá a capacidade de gerar, aproximadamente, 9.936 kWh, podendo haver variações de acordo com a incidência de radiação solar. Com base nessa estimativa, apresenta-se no Gráfico 1 um comparativo entre a geração esperada do sistema com o consumo de energia elétrica da empresa nos últimos 12 meses.

Gráfico 1: Consumo x geração: sistema proposto pelo fornecedor A.



Fonte: Autor.

Analisando o resultado final do Gráfico 1, observa-se que nos meses de janeiro, novembro e dezembro o sistema seria autossuficiente fazendo com que fossem gerados créditos a favor da empresa na agência local. Tais créditos serão debitados nos meses restantes do ano, período onde o sistema não é capaz de suprir toda a demanda energética que a empresa necessita. (Esta análise não leva em consideração a possibilidade de acréscimo de consumo, que a empresa poderá vir a ter nos próximos anos.).

### 4.3.2 Sistema Proposto do Fornecedor B

#### 4.3.2.1 Equipamentos do Sistema

Neste caso o sistema foi dimensionado com a utilização de 30 (trinta) painéis fotovoltaicos com potência nominal de 330 Wp e 3 (três) inversores de frequência com potência de 4kW. O mesmo ocupará uma área de 60 m<sup>2</sup> do telhado da empresa sendo que sua instalação, assim como proposto no sistema anterior, deverá ser realizada ao lado norte do telhado, onde será possível o aproveitamento de 100% da luz solar.

#### 4.3.2.2 Investimento para Aquisição do Sistema

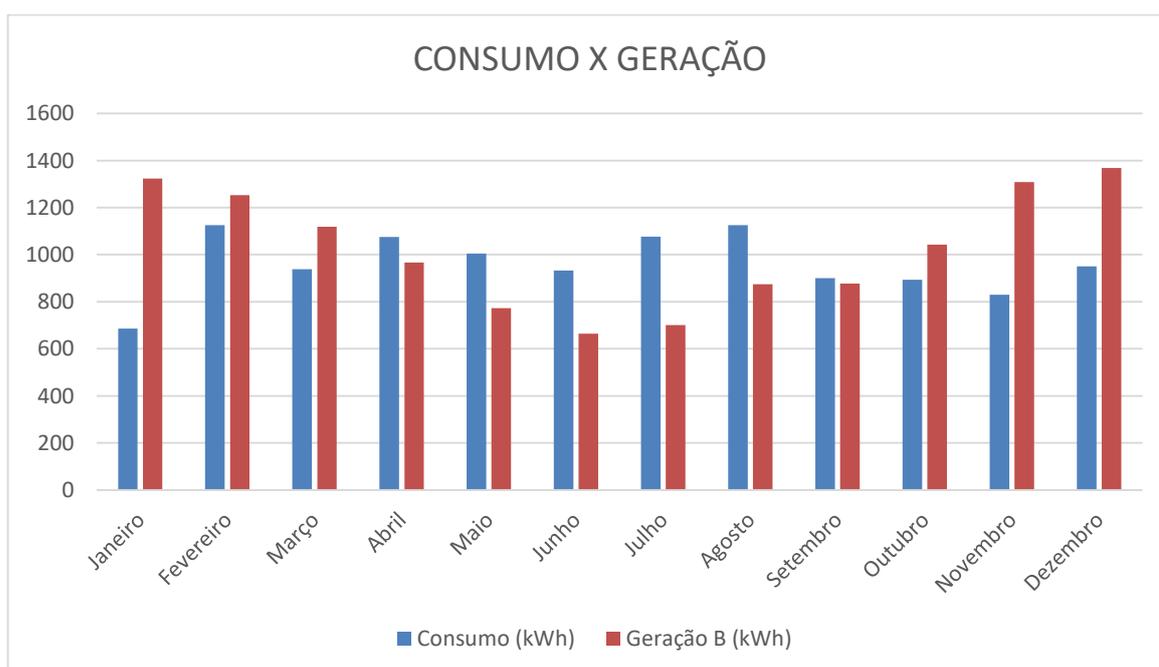
O fornecedor B apresentou uma proposta com um custo total de implantação no valor de R\$ 39.714,38 onde dentro deste, inclui-se todos os materiais e serviços necessários para instalação do sistema, sendo eles, projetos, o custo de frete para movimentação de todos os equipamentos, instalação, regularização do sistema na agência fornecedora local, monitoramento remoto após a instalação através de sistema controlado por aplicativos via Smartphones, além de todos os cabos, conectores e demais peças necessários para sua completa instalação.

#### 4.3.2.3 Potencial Estimado

Com o mesmo critério utilizado para o fornecedor A avaliou-se o sistema com base no mapa brasileiro de energia solar (Global Solar Atlas), estimando assim um sistema com a capacidade de gerar, aproximadamente, 12.271 kWh, fato que pode se alterar devido a variações da incidência de radiação solar. Seguindo esta estimativa, apresenta-se no

Gráfico 2 uma comparação entre a geração apresentada neste sistema com o consumo de energia elétrica da empresa nos últimos 12 meses.

Gráfico 2: Consumo x geração: sistema proposto pelo Fornecedor B.



Fonte: Autor.

Como pode-se observar no

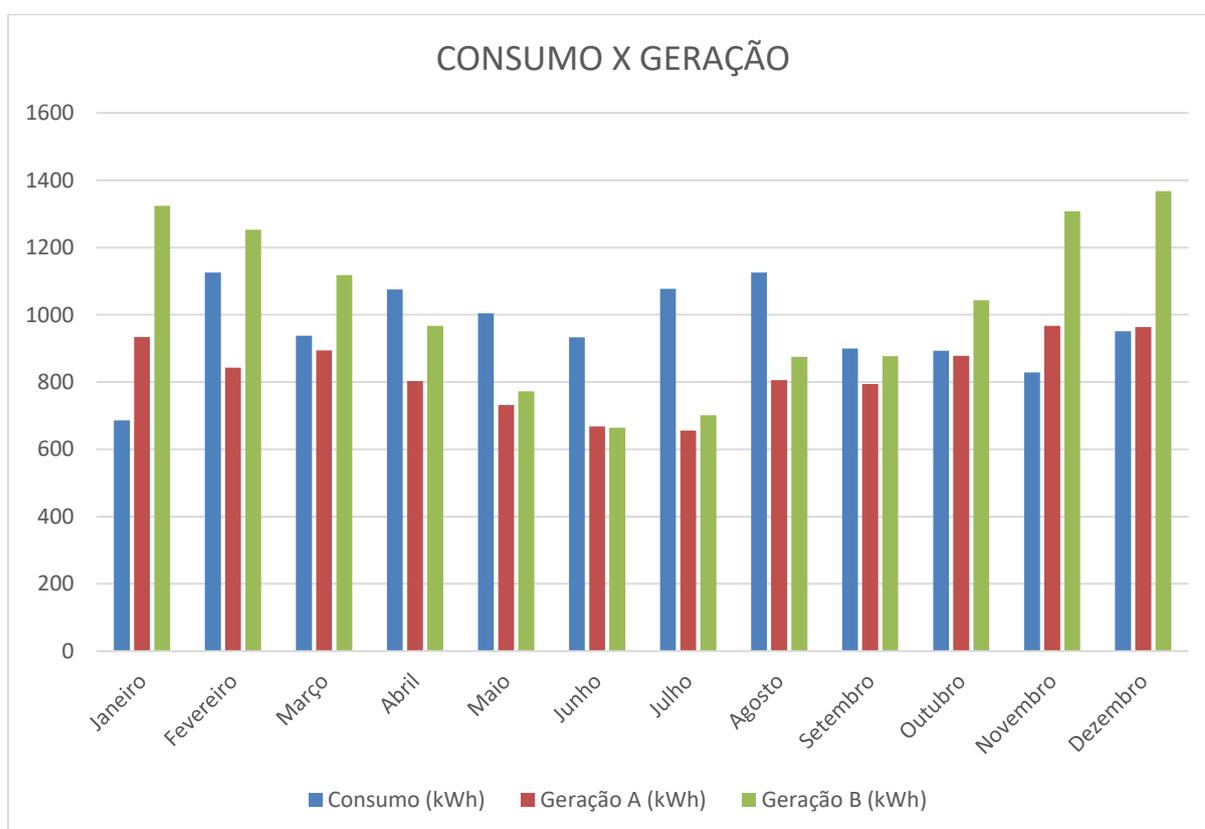
Gráfico 2, nos meses de janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro o sistema conseguirá suprir toda a necessidade energética da empresa e ainda conseguirá gerar créditos de energia na cooperativa local. Nos períodos de outono e inverno, onde caracteriza-se por uma época de menor irradiação solar há uma redução na geração, fazendo com que praticamente todo o crédito gerado nos meses de alta produção seja debitado pela empresa.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 CONSUMO X GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A seguir apresenta-se o Gráfico 3 que nos traz um comparativo entre o consumo de energia elétrica da empresa nos últimos 12 meses e a geração que os sistemas A e B poderão fornecer no período.

Gráfico 3: Consumo x geração de energia elétrica.



Fonte: Autor.

Através dos dados encontrados no Gráfico 3, pode-se calcular que o consumo anual da empresa é de 11.538 kWh. O sistema proposto pelo fornecedor A terá uma capacidade de suprir 86% de seu consumo anual. Já a proposta do fornecedor B será capaz de suprir 100% da sua necessidade energética, ficando ainda com crédito anual na cooperativa local de 733 kWh, podendo ter aumento em seu consumo de até 7% sem que haja mais custos com energia.

Levando-se em consideração estes números e o custo de cada projeto, torna-se mais viável, a aquisição do sistema proposto pela empresa B. Isto por que, está nos planos da empresa

a ampliação de sua capacidade produtiva, fato que, conseqüentemente irá resultar em um aumento de consumo de energia elétrica, beneficiando-se assim, dos 7% de 'sobra' de energia que o sistema do fornecedor B lhe oferecerá.

## 5.2 PAY-BACK

### 5.2.1 Sistema Proposto pelo Fornecedor A

Para realizar o cálculo de viabilidade deste projeto, através do método de Pay-back considerou-se inicialmente um custo de implantação de R\$ 32.900,00, e um reajuste anual médio na tarifa de energia de 8,73%, de acordo com aprovação da ANEEL. Nos fluxos de caixa anual foram considerados os valores que, teoricamente, a empresa economizará com a instalação do sistema, levando em conta a projeção de geração de energia oferecida pelo mesmo. Além disso, foi descontado o custo de manutenção, que seria basicamente uma limpeza anual com preço de R\$ 300,00 de acordo com o fornecedor A.

Também foram descontados os rendimentos anuais de 5% (taxa Selic), que a empresa supostamente teria caso o valor inicial do projeto fosse aplicado em um fundo de investimento. Nos cálculos não se avaliou juros ou correções monetárias para aquisição do sistema, ou seja, será necessário recursos próprios para a implantação.

Outro item considerado para o cálculo do fluxo de caixa foi a perda de eficiência das placas, que nos primeiros 12 anos tem-se em média 90% de seu rendimento. Já nos últimos 13 anos o rendimento cai para 80%, tendo uma perda de 20% na geração.

Tabela 4: Cálculo Pay-Back do orçamento oferecido pela empresa A.

| Ano | Fluxo de Caixa | Fluxo de Caixa Acumulado |
|-----|----------------|--------------------------|
| 0   | -R\$32.900,00  | -R\$32.900,00            |
| 1   | R\$4.494,82    | -R\$28.405,18            |
| 2   | R\$4.974,77    | -R\$23.430,41            |
| 3   | R\$5.499,68    | -R\$17.930,72            |
| 4   | R\$6.073,64    | -R\$11.857,08            |
| 5   | R\$6.701,09    | -R\$5.155,98             |
| 6   | R\$7.386,87    | R\$2.230,89              |
| 7   | R\$8.136,25    | R\$10.367,13             |
| 8   | R\$8.954,96    | R\$19.322,09             |
| 9   | R\$9.849,25    | R\$29.171,34             |
| 10  | R\$10.825,94   | R\$39.997,28             |
| 11  | R\$11.892,42   | R\$51.889,70             |
| 12  | R\$13.056,76   | R\$64.946,46             |
| 13  | R\$12.374,20   | R\$77.320,66             |
| 14  | R\$13.590,85   | R\$90.911,51             |
| 15  | R\$14.919,22   | R\$105.830,73            |
| 16  | R\$16.369,35   | R\$122.200,08            |
| 17  | R\$17.952,14   | R\$140.152,22            |
| 18  | R\$19.679,49   | R\$159.831,71            |
| 19  | R\$21.564,34   | R\$181.396,05            |
| 20  | R\$23.620,76   | R\$205.016,81            |
| 21  | R\$25.864,09   | R\$230.880,90            |
| 22  | R\$28.311,02   | R\$259.191,91            |
| 23  | R\$30.979,70   | R\$290.171,62            |
| 24  | R\$33.889,91   | R\$324.061,53            |
| 25  | R\$37.063,15   | R\$361.124,68            |

Fonte: Autor.

Analisando a Tabela 4 podemos notar que o período de Pay-Back para a implantação do sistema é de 6 anos, pois é a partir do 6º ano que o investimento inicial somado aos custos de manutenção e a remuneração anual do capital, se torna superior ao valor inicial de implantação.

### 5.2.2 Sistema Proposto pelo Fornecedor B

Para realizar o cálculo de viabilidade deste outro projeto, que foi avaliado em R\$ 39.714,38, através do método de Pay-Back, também foi considerado um reajuste anual médio

de 8,73% no custo do kWh. Nos fluxos de caixa anual, da mesma forma que o sistema anterior, foi considerado os valores que a empresa economizará com a instalação do sistema, levando em conta a projeção de geração de energia do mesmo. Neste caso, limpeza anual do sistema, que é a única manutenção necessária tem o mesmo custo de R\$ 300,00, serviço que é prestado pela empresa B.

Como no item anterior, também foram descontados os rendimentos anuais de 5% (taxa Selic), pois, por ser um investimento que será feito com recursos próprios, seriam os rendimentos obtidos caso este valor estivesse aplicado em um fundo de investimento.

Considerando uma perda de eficiência das placas, de 10% nos primeiros 12 anos e de 20% nos últimos 13 anos, onde o rendimento cai para 80%, que se trata, em média, da perda de eficiências destas placas, temos o seguinte fluxo de caixa:

Tabela 5: Cálculo Pay-Back do orçamento oferecido pela empresa B.

| Ano | Fluxo de Caixa | Fluxo de Caixa Acumulado |
|-----|----------------|--------------------------|
| 0   | -R\$39.714,38  | -R\$39.714,38            |
| 1   | R\$5.665,89    | -R\$34.048,49            |
| 2   | R\$6.260,78    | -R\$27.787,71            |
| 3   | R\$6.911,31    | -R\$20.876,41            |
| 4   | R\$7.622,51    | -R\$13.253,90            |
| 5   | R\$8.399,89    | -R\$4.854,01             |
| 6   | R\$9.249,42    | R\$4.395,41              |
| 7   | R\$10.177,61   | R\$14.573,02             |
| 8   | R\$11.191,57   | R\$25.764,59             |
| 9   | R\$12.299,00   | R\$38.063,59             |
| 10  | R\$13.508,32   | R\$51.571,91             |
| 11  | R\$14.828,69   | R\$66.400,61             |
| 12  | R\$16.270,08   | R\$82.670,68             |
| 13  | R\$15.431,17   | R\$98.101,85             |
| 14  | R\$16.937,51   | R\$115.039,37            |
| 15  | R\$18.582,01   | R\$133.621,38            |
| 16  | R\$20.377,06   | R\$153.998,44            |
| 17  | R\$22.336,15   | R\$176.334,60            |
| 18  | R\$24.473,97   | R\$200.808,56            |
| 19  | R\$26.806,50   | R\$227.615,06            |
| 20  | R\$29.351,15   | R\$256.966,21            |
| 21  | R\$32.126,86   | R\$289.093,06            |
| 22  | R\$35.154,24   | R\$324.247,31            |
| 23  | R\$38.455,75   | R\$362.703,06            |
| 24  | R\$42.055,79   | R\$404.758,85            |
| 25  | R\$45.980,95   | R\$450.739,80            |

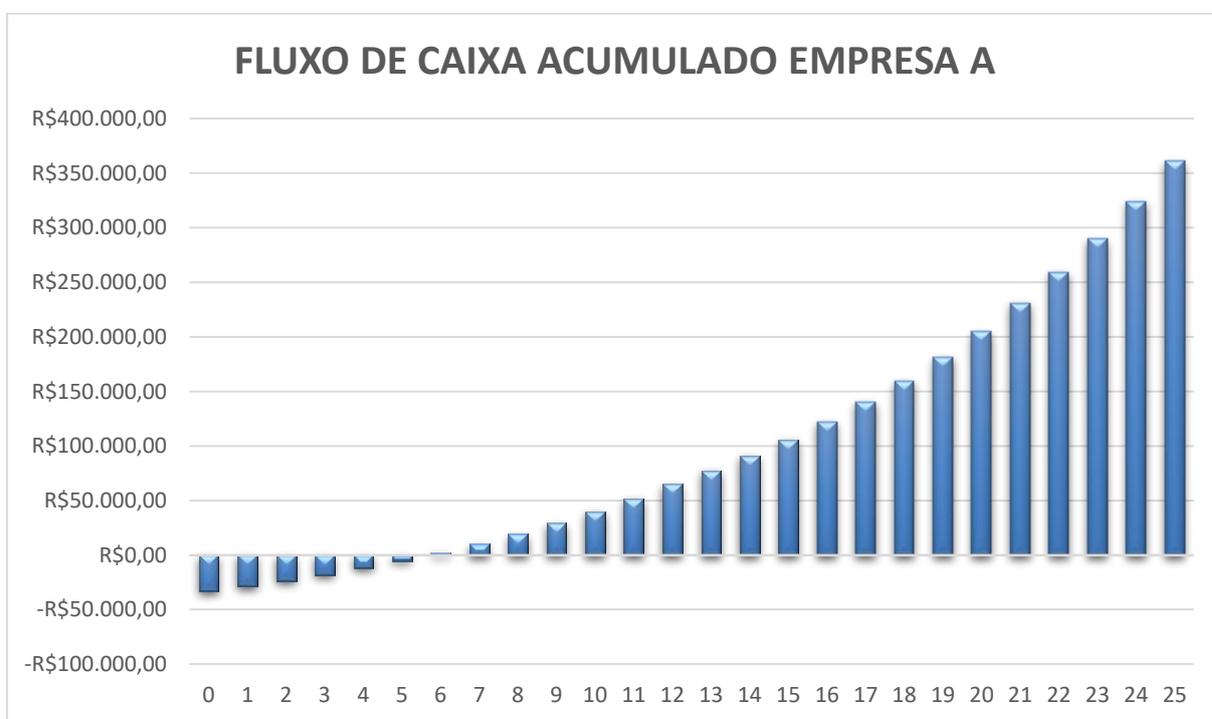
Fonte: Autor.

De acordo com a Tabela 5 podemos perceber que o período de Pay-Back encontrado para a implantação do sistema é de 5 anos, afinal é a partir do 5º ano que o investimento inicial somado aos descontos citados acima ultrapassa ao valor inicial de implantação.

### 5.2.3 Análises de Pay-Back dos Sistemas Propostos

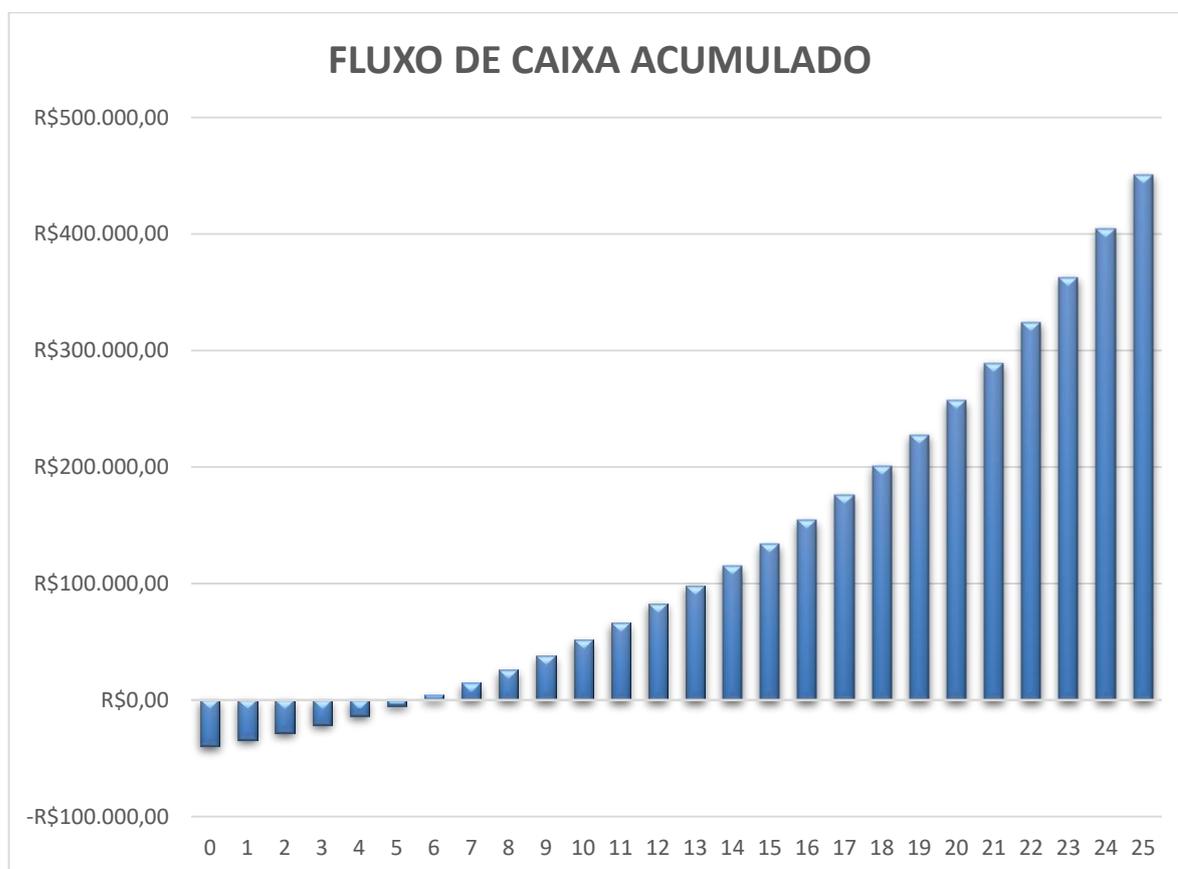
A seguir serão exibidos os gráficos agrupados dos dois sistemas apresentados anteriormente, distinguindo e especificando a opção mais viável financeiramente.

Gráfico 4: Fluxo de caixa acumulado empresa A.



Fonte: Autor.

Gráfico 5: Fluxo de caixa acumulado empresa B.



Fonte: Autor.

Podemos perceber através do Gráfico 4 e

Gráfico 5, que os sistemas apresentados pelas empresas A e B possuem um período de Pay-Back de 6 e 5,5 anos, respectivamente. Fato que favorece a empresa B na escolha final entre os orçamentos, afinal o tempo de retorno para o valor investido se dá de uma maneira mais rápida do que o oferecido pela empresa A.

### 5.3 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

#### 5.3.1 Sistema Proposto pelo Fornecedor A

Utilizando a Equação 1 citada no item 2.5.2 deste trabalho, onde o investimento inicial soma-se com as entradas do fluxo de caixa descontado dentro do período do projeto, para um período de 25 anos, que é o tempo de vida útil estimada do sistema, e com uma TMA (taxa mínima de atratividade) de 20% encontramos o seguinte resultado:

$$VPL_{25 \text{ anos}} = \text{R\$ } 5.920,31$$

Analisando o resultado encontrado para o Valor Presente Líquido do projeto, tem-se a certeza de que o mesmo é um projeto viável e com um retorno atraente, pois seu valor se deu consideravelmente acima de 0.

#### 5.3.2 Sistema Proposto pelo Fornecedor B

Da mesma forma que no item anterior, utilizamos a Equação 1 citada no item 2.5.2 deste trabalho, para um período de 25 anos, e com uma TMA (taxa mínima de atratividade) de 20%, obtendo-se o seguinte resultado:

$$VPL_{25 \text{ anos}} = \text{R\$ } 8.859,93$$

Através do resultado encontrado para o Valor Presente Líquido deste projeto, nota-se a viabilidade do mesmo, afinal seu resultado se deu bem acima de 0, que é o requisito que comprova a sua viabilidade.

#### 5.3.3 Análises do Valor Presente Líquido dos projetos

Analisando os dois resultados encontrados pode-se perceber uma grande diferença entre o VPL do Fornecedor A com relação ao Fornecedor B. O segundo aqui citado, obteve um valor consideravelmente maior que o primeiro, comprovando, mais uma vez, que o sistema proposto pelo Fornecedor B é o sistema ideal para a escolha na implantação deste projeto na empresa.

#### 5.4 TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Foram realizados testes de hipóteses de acordo com a formula anteriormente apresentada, buscando encontrar qual o percentual de retorno para quando o VPL fosse igual a 0. Conclui-se que, quando se iguala o VPL do projeto a 0, a taxa interna de retorno (TIR) dos projetos são:

$$TIR \text{ Fornecedor } A_{25 \text{ anos}} = 22,50\%$$

$$TIR \text{ Fornecedor } B_{25 \text{ anos}} = 23,09\%$$

Desta forma, por obter um valor de TIR superior a TMA, estipulada em 20%, comprova-se a viabilidade de ambos os projetos, e mais uma vez, o Fornecedor B apresentou-se como melhor opção para instalação na empresa, afinal seu percentual de Taxa Interna de Retorno se deu 0,59% acima do projeto apresentado pelo Fornecedor A.

## 6 CONCLUSÃO

Ao fim deste trabalho que teve como objetivo analisar a viabilidade técnica e econômica da instalação de placas solares fotovoltaicas para a geração de energia em uma empresa de embalagens plásticas da região, comprovou-se a viabilidade para ambos os quesitos analisados.

Ao apresentar o funcionamento da utilização do sistema fotovoltaico, notou-se que a melhor aplicação para este caso seria o sistema integrado à rede, para que nos meses de baixa geração a empresa não fique sem o abastecimento.

Os estudos apresentaram que o local sede da empresa possui um grande potencial para geração de energia solar. Além disso, caracterizou-se como um projeto promissor, pois seu período de retorno financeiro se dará em 6 anos conforme fornecedor A e 5 anos seguindo o fornecedor B. Considerando que estes períodos estão dentro da garantia do sistema, que é de 25 anos, o mesmo terá no mínimo 19 anos de lucros com a geração de energia ainda dentro deste prazo.

Comparando os dois sistemas apresentados com o consumo médio da empresa, notou-se que o projeto proposto pelo fornecedor B se mostrou mais rentável, devido a sua maior capacidade de geração, menor tempo para retorno financeiro e a superior Taxa Interna de Retorno. Estes fatos permitem-se concluir que o Fornecedor B seria o mais adequado para a implantação do sistema nesta empresa, mesmo possuindo um valor superior de investimento inicial.

Este trabalho permitiu concluir que o investimento na geração de energia elétrica por placas solares fotovoltaicas é uma ótima opção para as empresas da região sul do estado, mesmo estando em uma região com incidência solar variável durante as quatro estações do ano. Outro fator importante que favorece esta exploração é que os sistemas têm em média 25 anos de garantia, período onde, sem dúvida, o sistema consegue tirar o valor investido e obter uma boa taxa de retorno, caso bem dimensionado.

Por fim, além de todos os benefícios já citados, o sistema tem como matéria prima de geração a luz solar, um bem inesgotável, abundante e sem custos de exploração. Portanto, as placas solares fotovoltaicas deveriam ser uma opção de matriz energética mais ativa para as variadas áreas de aplicação no Brasil, que além de diminuir os custos com a energia elétrica, se trata de uma forma de geração sustentável e renovável.

## REFERÊNCIAS

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO (Brasil). **Energia Solar Princípios e Aplicações**. 2006. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial\\_solar\\_2006.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf)>. Acesso em: 02 out. 2019.

THIRUGNANASAMBANDAM, M.; INIYAN, S.; GOIC, R. A Review of Solar Thermal Technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 1, p. 312-322, 2010.

Sabady, P. (1979). **A energia solar na habitação**. Lisboa: Centro de Ensino Técnico e Profissional à Distância.

CABIROL, Thierry; PELISSOU, Albert; ROUX, Daniel. **O AQUECEDOR SOLAR DE ÁGUA**. Portugal: Edições Cetop, 1980.

J.C. McVEIGH. ENERGIA SOLAR – Introdução às aplicações da energia solar. 1977

PINHO, João Tavares et al. **Sistemas Híbridos: Soluções Energéticas Para Amazônia**. 2008. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/10584/1139276/Solu%C3%A7%C3%B5es+Energ%C3%A9ticas+para+a+Amaz%C3%B4nia+Sistemas+H%C3%ADbridos+\(09-09-2009\)/e1b6331f-91b2-4a09-8195-d835eb33149b?jsessionid=16436295E525CCABBA027B6B69AE10D4.srv154](http://www.mme.gov.br/documents/10584/1139276/Solu%C3%A7%C3%B5es+Energ%C3%A9ticas+para+a+Amaz%C3%B4nia+Sistemas+H%C3%ADbridos+(09-09-2009)/e1b6331f-91b2-4a09-8195-d835eb33149b?jsessionid=16436295E525CCABBA027B6B69AE10D4.srv154)>. Acesso em: 02 out. 2019.

NASCIMENTO, Cássio Araújo do. **PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA CÉLULA FOTOVOLTAICA**. Disponível em: <[https://www.solenerg.com.br/files/monografia\\_cassio.pdf](https://www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf)>. Acesso em: 02 out. 2019.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2013.

SHAYANI, Rafael Amaral. **Medição do rendimento global de um sistema fotovoltaico isolado utilizando módulos de 32 células**. 2006. Dissertação de mestrado em engenharia elétrica – Brasília/DF. 2006. Acesso em 10 de outubro de 2019.

REBELATTO, D. A. N. Projeto de Investimento. 1. ed. Barueri - SP: Editora Manole, 2004. v. 01. 329p.

BERNAL, P; PASCALICCHIO, A. **Gestão de Finanças e Investimento – Guia Prático**. Brasil: Erica, 2012.

BRITO, Paulo. **Análise e Viabilidade de Projetos de Investimento**. 2ed. São Paulo; Atlas 2006.

MOTTA, Regis da Rocha & CALÔBA, Guilherme Marques. **Análise de Investimentos: Tomada de Decisão em Projetos Industriais**. São Paulo: Atlas, 2002.

ARAÚJO, Aneide Oliveira; OLIVEIRA, Marcelle Colares. Tipos de pesquisa. Trabalho de conclusão da disciplina Metodologia de Pesquisa Aplicada a Contabilidade - Departamento de Controladoria e Contabilidade da USP. São Paulo, 1997.

CERVO, Amando Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino. Metodologia científica. São Paulo: Makron Books, 1996.