

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GRENDA COSTA CORDEIRO ALVES

**SISTEMA FOTOVOLTAICO *ON-GRID***: estudo de caso em uma  
empresa de refrigeração em Campo Mourão-PR

CAMPO MOURÃO

2017

GRENDA COSTA CORDEIRO ALVES

**SISTEMA FOTOVOLTAICO *ON-GRID*: estudo de caso em uma empresa de refrigeração em Campo Mourão-PR**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental, do Curso de Engenharia Ambiental da Coordenação de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Maria Cristina Rodrigues Halmeman

Co-orientador: Prof. Dr. Radames Juliano Halmeman

CAMPO MOURÃO

2017



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

SISTEMA FOTOVOLTAICO *ON-GRID*: Estudo de caso em uma empresa de refrigeração em Campo Mourão - PR

Grenda Costa Cordeiro Alves

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 27 de novembro de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho APROVADO.

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Maria Cristina Rodrigues Halmeman

---

Prof. Dr. Radames Juliano Halmeman

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Paula Cristina de Souza

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Luciane Vieira

*O Termo de Aprovação assinado encontra-se na coordenação do curso de Engenharia Ambiental.*

Dedico esse Trabalho de Conclusão de Curso aos meus pais, Rosangela Costa Cordeiro Alves e Ricardo Pereira Alves e ao meu irmão Ricardo Pereira Alves Filho, que tanto apoiaram e incentivaram o meu crescimento profissional.

## AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa jornada. Portanto, pedirei desculpas àquelas que não citarei nessas palavras, mas que estão sempre em meu coração e terão minha eterna gratidão.

Primeiramente chegar até aqui foi uma benção, e agradeço a Deus pela oportunidade de poder viver essa experiência, pela saúde, pela fé e por me fazer acreditar que eu seria capaz de lutar e alcançar meu objetivo.

Agradeço eternamente aos meus pais Rosangela Cordeiro e Ricardo Alves, e ao meu irmão Ricardo Filho (Cadu), por sempre me apoiarem em minhas decisões e por estarem sempre ao meu lado para eu poder seguir em frente, sem medir esforços. Vocês foram essenciais nessa minha caminhada, sem o amor, carinho e paciência de vocês eu não teria conseguido chegar até aqui. Vocês são minha base e meu alicerce, terei eterna gratidão e amor.

A minha família Cordeiro e meus padrinhos (Solange e Anselmo), que durante todo o período de curso torceram para que eu conseguisse chegar ao fim com êxito. Em especial minha vó Maria Francisca, que do jeitinho dela esteve presente em toda minha caminhada.

Aos meus amigos de São Paulo (Kesley, Mirella, Família Bazei, Antônio Marcos e Daniele Soares), que sempre me incentivaram a concluir a graduação e que tiveram grande importância na minha trajetória. Um agradecimento especial ao Kesley, que por muitas vezes teve que escutar minhas lamentações.

Aos amigos que ganhei durante o curso (Marcos Polinarski, Jonar Roth, Pâmela Francisquetti, Igor Malfetoni, Fernanda Zanella e outros), fizeram minha caminhada mais leve e se tornaram minha família em Campo Mourão, agradeço de coração a parceria de vocês.

A Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria Cristina Rodrigues Halmeman, ou para os mais próximos (“chegados”) Cris Hal, agradeço por me orientar da forma mais exemplar e mais que isso, uma amiga que me surpreendeu com conselhos e afeto.

Agradeço a todos os mestres que passaram pela minha vida acadêmica, pois aprendi muito com cada um de vocês, e os carregarei sempre em meu

pensamento. Um agradecimento especial ao Prof. Dr. Marcelo Caxambu, que se tornou um exemplo de professor.

Ao Sr. Itamar sócio da empresa Refrigeração Mamborê, que se disponibilizou e forneceu todas as informações necessárias para a realização deste trabalho

E por fim, agradeço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná e a cidade de Campo Mourão, por terem me proporcionado momentos e experiências incríveis e ter me tornado um pouquinho paranaense.

## RESUMO

Com o aumento da demanda de energia elétrica no mundo e conseqüentemente no Brasil, a produção de energia através de fontes renováveis tem sido utilizada de forma crescente. O Brasil 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 o setor de energia elétrica 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 consideráveis altos, portanto é necessário que faça uma análise financeira criteriosa que justifique o investimento, considerando o potencial solar da região e os custos do projeto. O presente trabalho é um estudo de caso de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico *on-grid* instalado em uma empresa de refrigeração no município de Campo Mourão – PR. 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 econômica através das fórmulas de engenharia econômica (VPL, TIR, *payback* e ROI). Então, após as análises desses parâmetros conclui-se que a utilização do sistema fotovoltaico *on-grid* nessa empresa tem total viabilidade econômica no atual cenário e também em cenários em que o consumo de energia aumente até 50%.

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

## ABSTRACT

Increasing the demand for electric energy in the world and, consequently, in Brazil, the production of energy by renewable sources has been used increasingly. In Brazil, based on the government incentives such as the Normative Resolution n. 482 from 2012 and its solution in Normative Resolution n. 687 from 2015, it makes the renewable electric energy sector undergo a moment of expansion. This market is increasingly improved and efficient, however, even with a large equipment supply, their price is high; so it is necessary to make a careful financial analysis that justifies the investment, considering the solar potential of the region and the project cost. The present work is a case study of economic viability for an on-grid photovoltaic system installed in a refrigeration company in Campo Mourão - PR. The data were collected through interviews and documents provided by the company. Then, it was performed the cash flow and economic viability calculations using the economic engineering formulas: NPV, IRR, return and ROI. Thus, after the analysis, it was concluded that using the on-grid photovoltaic system in this company has total economic viability not only at the current scenario, but also in scenarios that the energy consumption increases up to 50%.

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

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1: Descrição do painel fotovoltaico .....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 2: Comparação do índice de irradiação solar Brasil e Alemanha ..</b>	<b>18</b>
<b>Figura 3: Histórico da capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos ...</b>	<b>22</b>
<b>Figura 4: Localização da área de estudo no município de Campo Mourão .....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 5: Fluxograma das etapas de realização do trabalho.....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 6: Valores do consumo mensal de potência em kWh no empreendimento no período de um ano antes da instalação do SFCR ....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 7: Valores do consumo mensal de potência em kWh no empreendimento no período de um ano após a instalação do SFCR .....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 8: Valores das Maiores médias anual de irradiação solar no município de Campo Mourão - PR .....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 9: Valores dos Maiores mínimos mensal de irradiação solar no município de Campo Mourão – PR. ....</b>	<b>39</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1: Custo final do valor do projeto</b> .....	40
<b>Tabela 2: Variação no valor da energia elétrica</b> .....	41
<b>Tabela 3: Variação da taxa de inflação</b> .....	41
<b>Tabela 4: Valores da taxa Selic dos anos de 2012 a 2017</b> .....	41
<b>Tabela 5: Futuros possíveis cenários de consumo de energia (kWh) elétrica no empreendimento</b> .....	43

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	14
2.1 Objetivo geral .....	14
2.2 Objetivos específicos .....	14
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	15
<b>3.1 Energia fotovoltaica e efeito fotovoltaico</b> .....	15
3.1.1 Radiação solar .....	17
<b>3.2 Tipos de sistemas fotovoltaicos</b> .....	19
<b>3.3 Regulamentação para sistemas fotovoltaicos <i>on-grid</i></b> .....	24
3.3.1 Procedimento para viabilização de instalação do sistema <i>on-grid</i> .....	26
<b>3.4 Condomínios de sistemas fotovoltaicos <i>on-grid</i></b> .....	27
<b>3.5 Benefícios ambientais na utilização da energia fotovoltaica</b> .....	28
3.5.1 Reciclagem no setor fotovoltaico .....	28
<b>3.6 Análise da viabilidade econômica</b> .....	29
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	31
<b>4.1 Objeto de estudo</b> .....	31
<b>4.2 Coleta de dados</b> .....	32
<b>4.3 Análise da viabilidade econômica</b> .....	33
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	36
<b>5.1 Demanda de consumo de energia elétrica</b> .....	36
5.1.1 Consumo de energia elétrica antes da instalação do SFCR .....	36
5.1.2 Consumo de energia elétrica após a instalação do SFCR .....	37
<b>5.2 Incidência solar</b> .....	38
<b>5.3 Análise do sistema fotovoltaico</b> .....	39
<b>5.4 Cálculo da viabilidade econômica</b> .....	40
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	44
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	45
<b>APÊNDICES</b> .....	50

## 1 INTRODUÇÃO

Com o rápido crescimento da população mundial, notou-se mudanças nos processos produtivos e tecnológicos, o que ocasionou descomedidas mudanças sociais, econômicas e principalmente ambientais. O aumento das atividades industriais, provocou um aumento na produção de materiais descartados e um aumento exponencial na utilização de recursos naturais, tanto como matéria-prima para a indústria como no uso de matéria-prima para geração de energia elétrica (MOTTA, 2014).

Destaca-se que no Brasil no ano de 1970 a demanda de energia primária era de 70 milhões de toneladas equivalente de petróleo (tep), esse valor representa  $8,141 \times 10^{11}$  kWh tendo uma população de aproximadamente 93 milhões de habitantes. No ano 2000 a demanda de energia triplicou, atingindo 190 milhões de tep ( $2,2097 \times 10^{12}$  kWh), enquanto a população era superior a 170 milhões de habitantes. Contudo, a produção de energia não acompanhou proporcionalmente a demanda (SALAMOLI, 2009; TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007).

O mundo utiliza predominantemente fontes energéticas primárias não renováveis, em superioridade o petróleo (31,1%), seguido do carvão mineral (28,9%) e o gás natural (21,4%). A utilização destes recursos emitem na atmosfera gases que estão relacionados ao efeito estufa, entre eles o CO<sub>2</sub>. Devido as mudanças climáticas causadas pela utilização destes recursos não renováveis a preocupação com os impactos ambientais vem crescendo e estimulam a consciência na preservação do meio ambiente (GHIZONI, 2016)

É necessário encontrar formas para a produção de energia elétrica que não agridam o meio ambiente, de acordo com este cenário, as fontes renováveis de energia tem sido uma alternativa cada vez mais estudada e aplicada, com o propósito de se obter maior qualidade e segurança no abastecimento de energia elétrica para a população (GHIZONI, 2016; SALAMOLI, 2009).

Segundo Bühler et al. (2015), o Brasil é um dos países que detém umas das maiores matrizes renováveis do mundo, principalmente pelas instalações de hidroelétricas, entretanto esta matriz apresenta problemas, entre eles a dependência de uma única fonte de energia, considerando-se que tenha

períodos de estiagem, o que pode ocasionar o uso de termoelétricas para suprir a falta de energia do consumidor.

O Brasil tem recebido incentivos para diversificar a matriz elétrica das fontes renováveis, com destaque para a biomassa, solar, eólica e as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), esta última é considerada com baixo potencial de impacto ambiental, pois não requer grandes áreas alagadas (CASTAGNA et al., 2016)

Uma opção de energia mais limpa e renovável consideravelmente inesgotável, é a energia proveniente do sol. Esta tem a capacidade de transformar a energia solar diretamente em energia elétrica sem emissão de gases, este fato é também conhecido como efeito fotovoltaico, foi descoberto por Alexandre-Edmond Becquerel em 1839 (VIANA, 2010).

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).

Sabe-se que a alteração de um modelo de sistema de geração energia para outro, demanda tempo, investimento e viabilidade econômica, contudo os sistemas de produção de energia elétrica através de fontes renováveis, tem uma tendência para aumentar nas próximas décadas em todo o mundo (GHIZONI, 2016). As fontes renováveis eólica e solar tendem a aumentar de 3 teraWatt hora (tWh) para 8 tWh e 9,5 tWh respectivamente (*ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION*, 2017).

Atualmente, o custo da energia elétrica no Brasil tem aumentado significativamente, com isso, pessoas físicas e/ou jurídicas têm se interessado pela opção da instalação dos sistemas fotovoltaicos. Logo, o presente trabalho verificou a viabilidade econômica do sistema fotovoltaico numa empresa de refrigeração em Campo Mourão – PR.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Verificar a viabilidade econômica do sistema fotovoltaico *on-grid* em uma empresa de refrigeração no município de Campo Mourão – PR.

### 2.2 Objetivos específicos

- Descrever as condições de instalação do local, para a análise do sistema fotovoltaico *on-grid* instalado;
- Verificar o investimento necessário com equipamentos e instalações do projeto;
- Analisar a viabilidade econômica do investimento do projeto levando em consideração o consumo histórico de energia elétrica, através dos cálculos de *payback*, valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e retorno sobre o investimento (ROI).

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 Energia fotovoltaica e efeito fotovoltaico

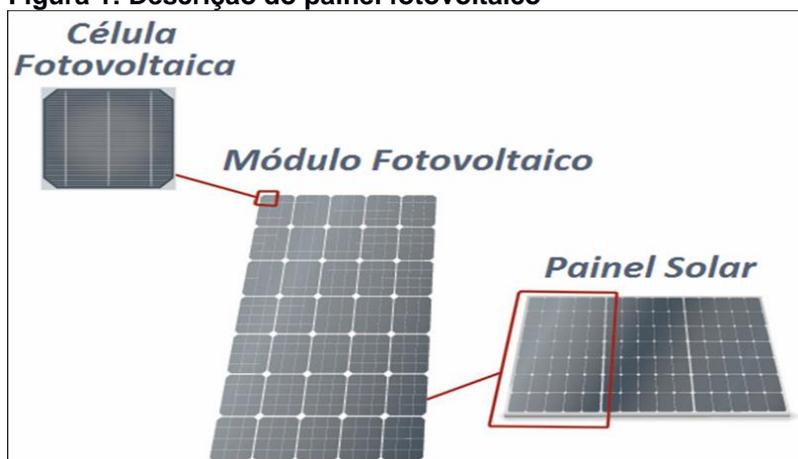
A energia fotovoltaica é obtida através de uma tecnologia que converte a radiação solar em energia sob a forma elétrica, conhecida como efeito fotovoltaico. Este fenômeno ocorre através de materiais semicondutores que tem uma faixa de valência preenchida por elétrons e outra faixa de condução sem elétrons, tem-se por objetivo absorver a energia solar (PINHO, GALDINO, 2014).

A conversão da energia solar em energia elétrica ocorre quando os fótons presentes na radiação solar incidem o material semicondutor, assim os elétrons do semicondutor são excitados por uma fração dos fótons, para então os elétrons produzir uma diferença de tensão e conseqüentemente uma corrente elétrica (RÜTHER, 2004).

Para obter energia elétrica por meio deste efeito é necessário a utilização de um sistema fotovoltaico, que são constituídos basicamente por módulos fotovoltaicos, conexões mecânicas e elétricas e opcionalmente módulo/bateria de armazenamento (PARIDA; INIYAN; GOIC, 2011).

O painel solar é o principal elemento do sistema, formado por módulos fotovoltaicos que por sua vez são compostos de grupos de células fotovoltaicas (Figura 1).

**Figura 1: Descrição do painel fotovoltaico**



Fonte: RECICLOTECA Centro de informações sobre reciclagem e meio ambiente (2017)

Segundo Pinho e Galdino (2014), existem três principais gerações de tecnologia na produção das células fotovoltaicas:

- A primeira geração é considerada a tecnologia mais consolidada (85% do mercado) e confiável, são produzidas através do silício monocristalino (m-Si) e o silício policristalino (p-Si);
- A segunda geração é conhecida como filmes finos, sendo produzida de silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre e índio (CIS) ou disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e o telureto de cádmio (CdTe). Esta geração apresenta menor eficiência e menor mercado, pois os materiais tem pouca disponibilidade, são tóxicos o que faz diminuir a utilização em grande escala e tem vida útil reduzida;
- A terceira geração está em testes em produção de pequena escala, pois ainda estão em pesquisas, logo, elas não são competitivas no mercado atual mesmo tendo bons resultados. São elas: célula fotovoltaica multijunção e célula fotovoltaica para concentração (CPV – *Concentrated Photovoltaics*), células sensibilizadas por corante (DSSC – *Dye-sensitized Solar Cell*) e células orgânicas ou poliméricas (OPV – *Organic Photovoltaics*).

Não é possível a utilização das células fotovoltaicas individualmente, pois possuem baixos níveis de tensão e corrente, portanto é realizado uma conexão de grupos de células em série e/ou paralelo, de modo que aumente a tensão (IZIDORO; ORSI; CORDEIRO, 2014)

A primeira geração de tecnologia é a que obtém o melhor desempenho, dentre as tecnologias descritas, tendo uma eficiência entre 15% e 18% (CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLA E EÓLICA SÉRGIO BRITO, 2006).

Segundo Villalva e Gazoli (2013), os painéis fotovoltaicos apresentam diferentes níveis de eficiência quando estão em determinadas condições climáticas, quando os painéis estão em um local de céu aberto (sem nuvem) obtém eficiência de 1000 Watts, pouco nublado: 700 Watts, nublado e bastante nuvem: 500 Watts, chovendo: 300 Watts e muita chuva (tempestade): 100 Watts. Logo, pode se afirmar que, mesmo em dias onde o sol não esta aparente existe produção de energia.

Para a montagem de um sistema fotovoltaico é necessário a utilização de conexões mecânicas e elétricas, que são basicamente materiais para conectar

os cabos de energia nos módulos a outros dispositivos do sistema, entre eles e opcionalmente as baterias de armazenamento.

Os módulos/baterias para armazenamento de energia é um conjunto de células ou vasos eletroquímicos, conectados em série e/ou paralelo tendo como objetivo armazenar a energia elétrica na configuração de energia química através do processo eletroquímico de oxidação e redução, e o processo contrário acontece quando esta bateria está carregada e é conectada a uma carga elétrica (PINHO; GALDINO, 2014).

Segundo Villalva e Gazoli (2013), existem diversos tipos de baterias: Chumbo ácido (líquida ou gel), Níquel, Níquel-Cádmio (NiCd), Níquel-Metal-Hireto (NiMH) e *Absorbed Glass Mat* (AGM).

A mais conhecida e utilizada é a bateria de chumbo ácido, sendo dividida em líquido e gel. A primeira opção é a mais difundida no mercado dos sistemas fotovoltaicos autônomos, pois seu custo é reduzido. Contudo, as de chumbo em gel entrou para o mercado com o propósito de melhorar a sua eficiência, tendo como vantagens maior vida útil, maior número de ciclos de carga e descarga e a possibilidade de utilização em locais pouco arejado, entretanto este tipo de bateria, necessita de um controlador de carga, visto que altamente sensível a sobrecarga (Villalva; Gazoli, 2013).

### 3.1.1 Radiação solar

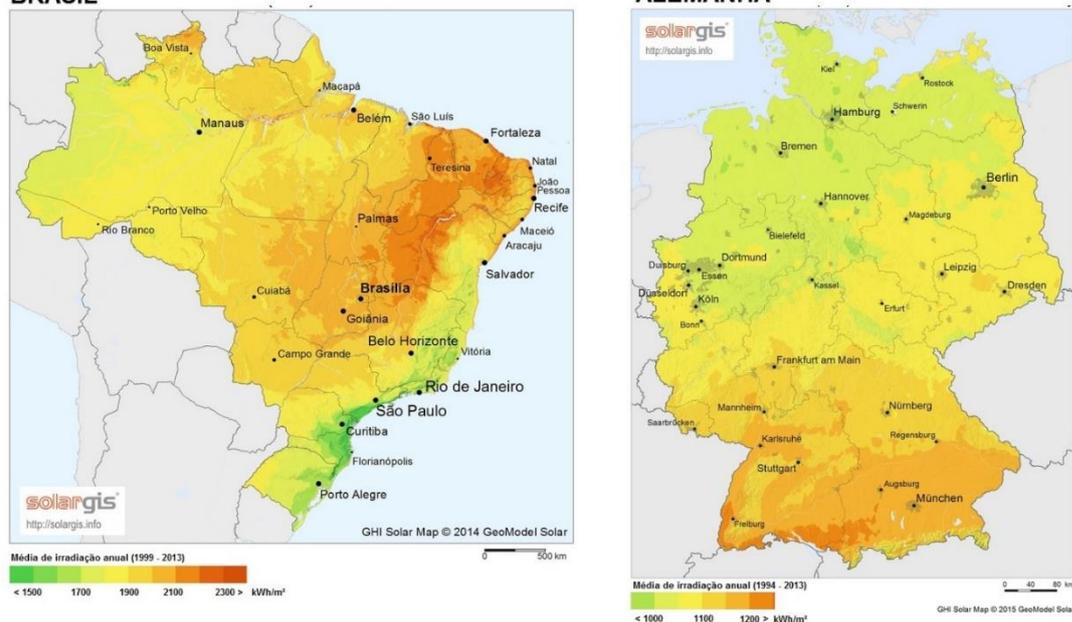
Segundo Villalva e Gazoli (2013), a energia do sol que incide no planeta Terra é transmitida na forma de radiação eletromagnética, onde é composta por ondas eletromagnéticas que apresentam frequências e comprimentos diferentes. O comprimento da onda é inversamente proporcional à frequência, ou seja, quanto maior a frequência menor será o comprimento da onda, e quanto maior a frequência maior é a energia transmitida.

A radiação solar pode ser diferenciada em dois tipos: difusa e direta. A primeira corresponde aos raios solares que atingem a Terra indiretamente, ou seja, a parcela de radiação solar se espalha ou reflete na atmosfera. E o segundo tipo de radiação representa os raios solares que incidem diretamente e em linhas retas uma superfície plana. A soma de ambos os tipos equivale a radiação global total (Villalva; Gazoli, 2013).

O Brasil apesar de apresentar diferentes características climáticas em todo o território, pode-se observar que há uma boa uniformidade e com médias de irradiação relativamente alta ao longo do ano. O Norte do estado da Bahia próximo com a divisa do estado do Piauí exibe o maior valor de irradiação global ( $6,5 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ ). Entretanto, o litoral de Santa Catarina localizado na região Sul do Brasil, apresenta o menor índice de irradiação solar, ou seja,  $4,25 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ . Porém a região Norte do país recebe menor incidência no período de verão do que a região Sul mesmo sendo localizado próximo a linha do Equador, e no inverno acontece o oposto. (PEREIRA et al., 2006).

De acordo com Salamoni e Ruther (2007), a região que detém o menor índice de radiação solar no Brasil ( $1642 - 1715 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{ano}$ ) é 1,4 vezes maior do que a região mais ensolarada da Alemanha ( $1150 - 1200 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{ano}$ ), país no qual utiliza de forma proveitosa os recursos solares para a produção de energia elétrica (Figura 2).

**Figura 2: Comparação do índice de irradiação solar Brasil e Alemanha**



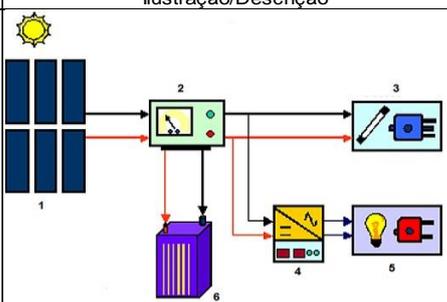
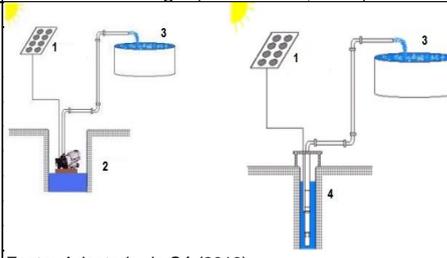
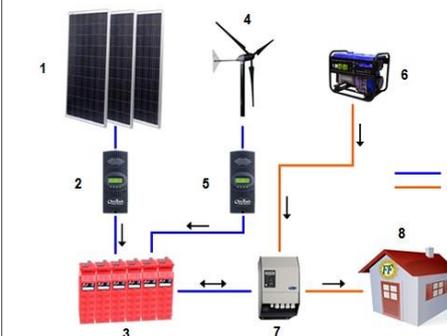
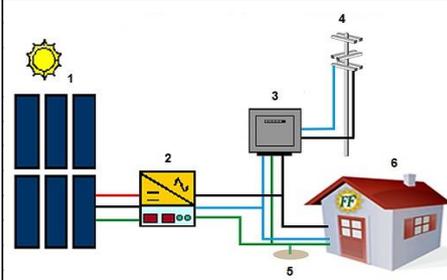
Fonte: Adaptado de Solargis (2017)

### **3.2 Tipos de sistemas fotovoltaicos**

Sistemas fotovoltaicos podem ser dispostos em três categorias: isolados que podem ser com e sem armazenamento (autônomos), híbridos e conectados à rede (Quadro 1). Para cada sistema há uma complexidade que varia de acordo com a aplicação, restrição e a disponibilidade de recursos energético de cada projeto (CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA, 1999).

Os sistemas autônomos podem ou não apresentar outros tipos de fontes de energia complementares, entretanto se houver outras fontes conjugadas ao sistema fotovoltaico é considerado híbrido, caso o sistema for unicamente fotovoltaico é nomeado de isolado (CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA, 1999).

**Quadro 1: Tipos de sistemas fotovoltaicos disponíveis**

Sistemas Fotovoltaicos	Ilustração/Descrição	Legenda
Isolado com armazenamento	 <p>Fonte: adaptado de QdoQ ENERGIAS</p> <p>Dispõem de baterias para armazenar a energia produzida durante o dia, para que possa ser utilizada nos períodos em que não há a produção de energia (CENTRO..., 1999).</p>	<p>1 - Módulos; 2 - regulador; 3 - Corrente contínua; 4 - Inversor; 5 - Corrente alternada; 6 - Bateria</p>
Isolado sem armazenamento	 <p>Fonte: Adaptado de Sá (2010)</p> <p>Não dispõem de baterias, pois a energia produzida é imediatamente utilizada e o funcionamento é apenas nos horários de radiação solar (CENTRO..., 1999).</p>	<p>1 - Módulos; 2 - Motobomba (superficial); 3 - Reservatórios; 4 - Motobomba submersa</p>
Sistema híbrido	 <p>Fonte: Adaptado de FF Solar Energias Renováveis</p> <p>Sistemas desconectados da rede, com mais de uma forma de geração de energia e necessitam de algum controle para incorporar vários geradores (CENTRO..., 1999)</p>	<p>1 - Módulos; 2 - Regulador de carga; 3 - Baterias; 4 - Outra geração; 5 - Regulador de carga; 6 - Gerador; 7 - Inversor; 8 - Consumidor</p>
Sistema conectado à rede (on grid)	 <p>Fonte: adaptado de QdoQ ENERGIAS (2017)</p> <p>É necessário o uso de um inversor para garantir a qualidade e segurança do sistema, pois a energia produzida é entregue diretamente à rede elétrica (CENTRO..., 1999)</p>	<p>1 - Módulo; 2 - Inversor; 3 - Medidor digital; 4 - Rede elétrica; 5 - Aterramento; 6 - Consumidor</p>

Fonte: Autoria própria

Os sistemas isolados com armazenamento são considerados mais aprimorado, pois dispõem de um dispositivo de armazenamento (bateria), um controlador de carga e um conversor/inversor de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA). O controlador de carga é extremamente importante, dado que tem como objetivo propiciar a máxima transferência de energia para a bateria e protegê-la das cargas e descargas inesperadas. Já o conversor CC-CA, deve poupar perdas e controlar a corrente e tensão recebida dos módulos e transferidas para as baterias (CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA, 1999; VILLALVA, 2010).

Os sistemas isolados e sem armazenamento são utilizados normalmente para bombeamento de água, de modo que só funcionará no período de radiação solar, ou seja, a energia produzida neste sistema é consumida imediatamente no local (SÁ, 2010).

Segundo Pinho e Galdino (2014), os sistemas híbridos são aqueles que possuem mais de uma forma de produção de energia, ou seja, pode-se usar um aerogerador, gerador a diesel ou qualquer outra forma de produzir energia, porém são sistemas mais complexos pois carecem de equipamentos que controlam e facilitam o usuário a utilizar.

Já os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (SFCR), também conhecido como sistema *on-grid*, estes sistemas não estão centralizados em grandes usinas geradoras de energia, geralmente está instalada próximo ao local de uso ou no próprio local (PEREIRA; GONÇALVES, 2008).

A energia elétrica produzida neste sistema é entregue diretamente para a concessionária que administra a energia no município, assim, a utilização de baterias para o armazenamento é dispensável, pois a própria rede elétrica é vista como um elemento armazenador, o que torna este sistema mais econômico (SPADUTO et al., 2013).

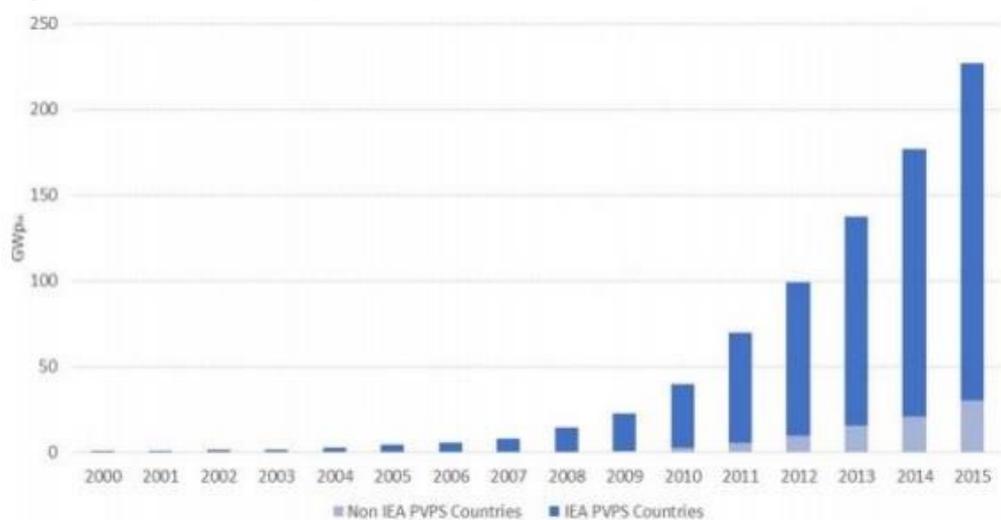
Este tipo de sistema fornece energia elétrica ao consumidor, que utiliza a energia da concessionária para complementar a demanda necessária, esta complementação é desembolsada pelo usuário final, caso o usuário tenha um aumento na produção de energia, esta pode ser vendida para concessionária, esta troca é conhecida como sistema de compensação (VARELLA, 2009).

Contudo, o SFCR necessita de um inversor para converter a energia de corrente contínua (CC) em energia de corrente alternada (CA) (URBANETZ

JUNIOR, 2010) O inversor recebe a energia contínua imediatamente dos módulos fotovoltaicos e tem como função converter esta energia em corrente alternada, para que na saída seja colocada em paralelo com a rede elétrica (CAAMANO et al., 2007).

Segundo *International Energy Agency* (2017), o mercado mundial fotovoltaico teve um crescimento exponencial nos últimos anos, principalmente a partir do ano de 2008 onde teve um expressivo avanço, chegando a atingir 222 GigaWatts (GW) de potência instalada no ano de 2015 (Figura 3).

**Figura 3: Histórico da capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos**



**Fonte: *International Energy Agency* (2017)**

De acordo com a *International Energy Agency* (2017), os cinco países que detêm a maior capacidade instalada de energia fotovoltaica até o ano de 2015 são: China (43,5 GW), Alemanha (39,7 GW), Japão (34,4 GW), Estados Unidos (25,6 GW) e Itália (18,9 GW). Dentre estes países, a China é o país que mais está investindo neste sistema de produção de energia, em 2016 a potência instalada subiu para 77,4 GW e com previsão de 110 GW até o ano de 2020 (PORTAL SOLAR, 2017a).

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em 2017 a capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos no Brasil é de aproximadamente 78 MegaWatts (MW). Esta potência é consideravelmente baixa se for observado o potencial solar disponível, contudo vários fatos recentes podem ajudar no crescimento deste mercado nos próximos anos (BÜHLER et al 2015).

Segundo Urbanetz Junior (2010), o primeiro SFCR do Brasil foi o LABSOLAR/ UFSC, que está instalado no bloco B do departamento de engenharia mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina. Em funcionamento desde 1997 com potência de 2,02 kW, este sistema está integrado a uma edificação urbana que ocupa uma área de 40,8 m<sup>2</sup>.

Na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), também há um sistema fotovoltaico *on-grid*, instalado no laboratório de energia solar na parte superior do prédio, este sistema entrou em operação em 2004, com 4,8 kW de potência (IZIDORO; ORSI; CORDEIRO, 2014).

As empresas MotorZ e Fundação Estrela, ambas pertencentes ao grupo Zeppini em São Bernardo do Campo, possuem sistemas fotovoltaicos instalados desde 2008, com potência de 2,45 kW e 16,69 kW respectivamente. A área utilizada para a implantação deste sistema é de aproximadamente 272 m<sup>2</sup>, sendo que apenas a empresa Fundação tem uma área de 233 m<sup>2</sup> (URBANETZ JUNIOR, 2010)

No ano de 2012 o escritório verde da Universidade Federal do Paraná (UTFPR) em Curitiba, instalou o SFCR com potência de 2,10 kW, utilizando apenas 15 m<sup>2</sup> de área. Este sistema tem a capacidade de abastecer 5 casas com um consumo médio de 200 kWh/mês durante o período de 30 dias

O edifício-sede do Ministério de Minas e Energia (MME), instalou em 2016 um sistema fotovoltaico conectado à rede. A potência deste sistema é de 69 kW o que representa de 5% a 7% o consumo total de energia do prédio equivalendo o consumo médio de 23 residências brasileiras

Os sistemas fotovoltaicos *on-grid* no Brasil começaram a ser mais expressivo a partir de 2012, quando a Resolução Normativa nº 482 abriu novos horizontes para este tipo de sistema, que estabelece condições para a troca de energia entre os sistemas e as redes de distribuição.

### **3.3 Regulamentação para sistemas fotovoltaicos *on-grid***

Cada país tem sua própria legislação sobre utilização de sistemas de energias renováveis. Na Alemanha no ano de 1991 entrou em vigor a Lei do Aproveitamento da Rede Pública, que submete as concessionárias de energia elétrica a aproveitarem a energia elétrica de processos regenerativos de transformação (energia hídrica, eólica e a solar). Esta Lei é precursora da Lei das Energias Renováveis (EEG), de abril de 2000, onde as fontes renováveis são prioridades na distribuição de energia para a população, oferecendo condições para isso (ORTH, 2014)

Países que obtém maiores recursos renováveis e menores ou ausentes combustíveis fósseis, como por exemplo Portugal, Alemanha e Japão, tem maior propensão de utilização de fontes de energias renováveis na sua matriz elétrica. Os governos oferecem incentivos fiscais para atrair a utilização de fontes renováveis, sendo eles: benefícios fiscais, subsídios e facilidade de crédito (FIGUEIRAS, 2013).

O grande crescimento de sistemas fotovoltaico na China, foi devido a incentivos à fonte, o valor da energia diminuiu enquanto a capacidade instalada aumentava, seguindo um caminho inverso (EMPRESA DE PESQUISA, 2014). Segundo a Embaixada da República Popular da China no Brasil (2013), o Ministério das Finanças da China, irá oferecer incentivos fiscais para fabricantes de produtos de energia solar, reembolsando-os em 50% no imposto de valor agregada.

No Brasil a regulamentação do SFCR veio através da Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, da ANEEL que estabelece as condições gerais de microgeração e minigeração distribuídas no sistema de distribuição de energia elétrica, e por meio da compensação de energia elétrica.

Esta normativa define a microgeração como uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada inferior ou igual a 100 kW, enquanto que a minigeração se enquadra na potência instalada maior que 100 kW e menor ou igual a 1 MW, ambas para fontes renováveis de energia.

O sistema de compensação de energia elétrica é um sistema que injeta na rede elétrica a energia produzida nas unidades de microgeração ou minigeração, esta energia é concedida por meio de empréstimo gratuito, para

subsequente ser compensada com o consumo de energia elétrica da unidade consumidora, ou de outra unidade desde que tenha o mesmo CPF e/ou CNPJ da unidade que gerou os créditos.

Em 24 de novembro de 2015, a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 687 revisando a Resolução Normativa nº 482/2012. O quadro 2, apresenta as principais alterações que esta sofreu.

**Quadro 2: Alterações na Resolução Normativa nº 482 de 2012**

<b>Geração</b>	<b>Resolução Normativa nº 482/2012</b>	<b>Resolução Normativa nº 687/2015</b>
<b>Microgeração</b>	Potência instalada: ≤ 100kW; Todas as fontes de energia renovável.	Potência instalada: ≤ 75 kW; Todas as fontes de energia renovável.
<b>Minigeração</b>	Potência instalada: ≥ 100 kW e ≤ 1 MW; Para as fontes de energia renovável.	Potência instalada: ≥ 75 kW e ≤ 5 MW; Para fontes de energia renovável (exceto hídrica).
<b>Sistema de compensação de energia elétrica</b>	A energia ativa é injetada da micro e minigeração na rede por unidade consumidora, através de empréstimo gratuito, à distribuidora local e subsequente o consumo compensado da mesma unidade ou outra, sendo de mesma titularidade.	A energia ativa é injetada por unidade consumidora com micro ou minigeração, é cedida através de empréstimo gratuito, à distribuição local e posteriormente o consumo compensado.

Fonte: Autoria própria

O consumo a ser faturado será referente a diferença entre a energia consumida e a injetada na rede. Caso a energia injetada seja superior à energia consumida, esta deverá ser utilizada, preferencialmente, para compensação em outras unidades de mesmo faturamento. Os créditos gerados da energia ativa expirarão em 60 (sessenta) meses após a data de faturamento, na Normativa nº 482/2012, este período era de 36 (trinta e seis) meses (AGÊNCIA NACIONAL de ENERGIA ELÉTRICA, 2015).

A Deputada Federal Laura Carneiro, entrou com um pedido de Projeto de Lei nº 4.332 de 2016, que incentiva o uso da energia solar e de outras fontes renováveis em edificações comerciais, familiar ou mista, chamado de Programa

Brasil Solar. Este programa tem como objetivo estabelecer convênio com as concessionárias de distribuição de energia com vista ao financiamento de instalação de microgeração ou minigeração de energia elétrica, utilizando o sistema de compensação de energia.

Conforme ANEEL (2017), no Brasil há 16.912 unidades geradoras de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos, com potência instalada de 139.367,75 kWh, destes a região sul detém a segunda maior potência do país (35.674,28 kWh), ficando atrás apenas da região sudeste (59.471,95 kWh) e o Estado do Paraná apresenta potência de 9.102,6 kWh o que equivale a aproximadamente 25,5% da produção de energia de toda a região sul e 6,5% de todo o país.

### 3.3.1 Procedimento para viabilização de instalação do sistema *on-grid*

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 (2017) 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:

- A formalização é de responsabilidade do proprietário que realizará a solicitação com o envio dos documentos, dados e informações relevantes. Os dados e as informações são disponibilizados através de um formulário pela concessionária;
- Já a concessionária tem como dever receber a solicitação do proprietário e enviar à ANEEL as informações para o registro de microgeração ou minigeração distribuída;
- Caso haja pendência na documentação, a concessionária deve recusar o pedido de imediato e notificar o proprietário para que o mesmo realize a regularização e faça uma nova solicitação de acesso;
- Após a solicitação de acesso ocorrer, a concessionária emite o parecer de formalização de acesso, que deve ser encaminhado para ANEEL;

- O proprietário então deve solicitar a vistoria num prazo de 90 dias e a concessionária terá que cumprir em até cinco dias úteis;
- A concessionária deve realizar a aprovação do ponto de conexão, onde o proprietário efetiva a conexão num prazo de até 7 dias úteis.

### **3.4 Condomínios de sistemas fotovoltaicos *on-grid***

Depois que a Resolução Normativa nº 687 de 2015 entrou em vigor no ano de 2016, os condomínios residenciais (verticais ou horizontais), passaram a ter mais facilidade para gerar sua própria energia, pois a energia produzida pode ser utilizada nas áreas comuns do condomínio, e/ou ser compartilhada com os condôminos, alguns exemplos de condomínios que utilizam sistema fotovoltaico *on-grid*:

- Segundo Motta (2014), os moradores de um condomínio sustentável (utilização de sistemas fotovoltaicos, telhado verde e lâmpadas de LED) localizado no município de Londrina no estado Paraná, pagam uma taxa de aproximadamente 30% menor do que condomínios que não utilizam estas tecnologias no mesmo município.
- O Sindicato da Habitação e Condomínios (2016), afirma que o condomínio San Simone localizado em Criciúma – SC, obteve uma redução de 32% no valor da energia paga para a concessionária, sendo que apenas a guarita estava sendo abastecida pela energia solar no período de janeiro de 2015 a janeiro de 2016.
- A MRV Engenharia (2016), inaugurou em 2016 seu primeiro condomínio com energia fotovoltaica, localizado em Salvador na Bahia, com estimativa de produzir 83.332 mil kWh. Este condomínio está sendo utilizado como projeto piloto para a empresa.
- Condomínios do sistema Minha Casa Minha Vida do Governo Federal no estado da Bahia, tem o sistema fotovoltaico *on-grid* com potencial instalado de 2,1 MW, sendo suficiente o abastecimento de 3,6 mil residências (PORTAL BRASIL, 2015).

Todos os exemplos citados são de condomínios que utilizam grande quantidade de energia elétrica, e os sistemas fotovoltaicos estão sendo uma

opção para a redução no valor da energia consumida e também uma opção de energia sustentável.

### 3.5 Benefícios ambientais na utilização da energia fotovoltaica

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:

- É uma fonte de energia inesgotável, sendo disponível em todos os locais, e produz energia limpa, silenciosa e renovável;
- Não emite gases causadores do efeito estufa;
- Não emite ruído;
- É possível utilizar áreas que já estão ocupadas, diminuindo problemas com o desmatamento;
- Utilizar áreas de deserto;
- Não é necessário um dia de céu limpo ou com alta incidência solar para o funcionamento (SANTOS et al., 2017);
- Durabilidade de aproximadamente 50 anos (Portal Solar, 2017b);

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).

#### 3.5.1 Reciclagem no setor fotovoltaico

Com a crescente demanda de produção das placas fotovoltaicas, surgiu a preocupação com os pós uso delas. As placas devem ser descartadas

corretamente evitando os impactos negativos ao meio ambiente e a saúde humana, através do processo de lixiviação onde o chumbo e o cádmio são metais de alta toxicidade e elevado potencial de acúmulo no meio ambiente e no corpo humano, perda de recursos convencionais (vidro e alumínio) e a perda de outros tipos de metais (prata, índio, gálio e germânio) (MONIER; HESTIN 2011)

A energia solar enfrenta o grande desafio de se estabelecer como uma energia 100% limpa, pois são necessários processos que minimizem os impactos negativos gerados pelos módulos fotovoltaicos (GHIZONI, 2016)

Ainda segundo Ghizoni (2016) o vidro e o alumínio são os materiais que estão na maioria dos componentes que constituem os módulos, e a melhor solução para reduzir a perda destes materiais, é a inserção destes resíduos na cadeia de reciclagem, pois a reutilização deles resultará na redução de energia e emissões para a extração da matéria prima.

De acordo com Lacerda (2002), uma alternativa para o descarte adequado dos módulos é a Política da logística reversa, onde há uma análise do ciclo de vida de cada material. Após a vida útil do equipamento o consumidor entrega para o fornecedor que irá coletar, separar, embalar e expedir os itens usados, danificados ou ultrapassados para que tenha reprocessamento, revenda ou descarte.

### **3.6 Análise da viabilidade econômica**

Segundo Da Motta (1997), existem três critérios eficazes de análise econômica para gerenciamento de recursos naturais:

- Análise Custo-Benefício (ACB)
- Análise Custo-Utilidade (ACU)
- Análise Custo-Eficiência (ACE)

Para Lang (2007) e Motta (1997), a ACB consiste em comparar o valor presente dos custos e dos benefícios, para que tenha um parâmetro de escolha de um projeto, caso os benefícios sejam maiores que os custos o projeto é aceito, caso contrário é rejeitado. Esta técnica é a mais utilizada e tem como objetivo comparar custos e benefícios associados aos impactos de estratégias políticas em termos de valores monetários.

Para Motta (1997), a ACU tem como objetivo calcular um indicador de benefícios que seja capaz de integrar os critérios econômicos e ecológicos, tendo como exemplo a vulnerabilidade, o grau de ameaça, representatividade e criticabilidade.

Já a ACE considera várias opções para alcançar a prioridade política pré-definida, comparando os custos relativos para obtenção dos objetivos, resultando no menor custo possível. A ACE tem um papel importante na orientação de ações de gestão (MOTTA, 1997).

Por este motivo será utilizado a ACB no presente trabalho, para verificar a viabilidade do projeto através dos cálculos de Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), *payback* descontado e o Retorno Sobre o Investimento (ROI).

Segundo Moura (2000), a VPL considera o valor inicial do investimento, receitas e despesas, considerando o tempo e a taxa de juros. A TIR é o valor que anula a VPL, de forma que a soma dos saldos negativos e positivos do projeto durante a vida útil seja zero, ou seja, os custos e despesas devem ser igual a receita.

O *payback* descontado é o tempo (período) que o investidor terá para igualar ou superar o valor do investimento inicial, atualizando os fluxos de caixa de acordo com a taxa (MOTTA, 2014).

Motta (2014), realizou um estudo de viabilidade econômica em um condômino horizontal na cidade de Londrina – PR, onde possui 250 residências. Utilizou-se ferramentas da engenharia econômica, onde obteve-se o *payback* individual de cada residência em 12,29 anos, porém com dimensionamento para o condomínio no geral o valor de investimento reduziu, assim o *payback* também fora reduzido, chegando num valor de 8,87 anos.

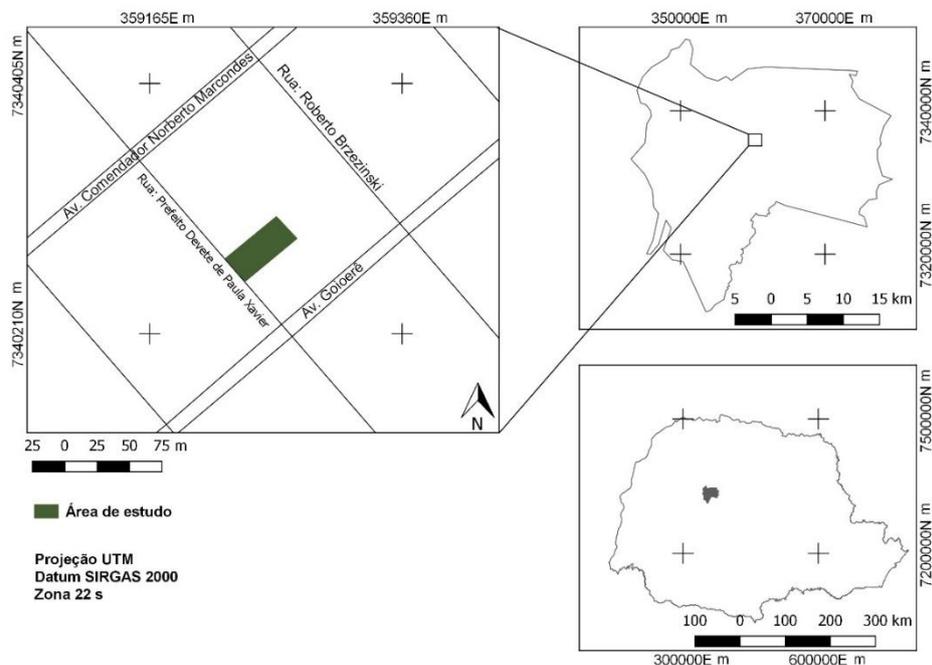
## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Objeto de estudo

A empresa de estudo está localizada no município de Campo Mourão situada na região Centro ocidental do estado do Paraná, estabelecida nas coordenadas geográficas de latitude  $24^{\circ} 02' 36.5''$  Sul e longitude  $52^{\circ} 23' 04.1''$  Oeste (Figura 4). O clima é classificado como Cfa: subtropical úmido, tendo verões quentes e baixa frequência de geada, com média anual de temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  e  $21^{\circ}\text{C}$  e as faixas de índices pluviométricos em 1400 e 1500 milímetros por ano (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2017).

A empresa Refrigeração Mamborê é do segmento de refrigeração atuando no mercado a 29 anos, porém no município de Campo Mourão está a 17 anos, possui 14 funcionários. A empresa tem como principal objeto de trabalho a venda e manutenção de aparelhos de ar-condicionado, entretanto, há também a comercialização de aquecedores (gás e solar) e módulos fotovoltaicos.

**Figura 4: Localização da área de estudo no município de Campo Mourão**



Fonte: Autoria própria

O critério de escolha de uma empresa de refrigeração como objeto de estudo, foi por possuir consumo de energia elétrica relativamente alto, pois a empresa utiliza durante todo o horário comercial aparelhos de ar condicionado, geladeira, freezer, chopeira, computadores além de todo sistema de iluminação e segurança (câmeras, portas elétricas e sensores), e também, esporadicamente se faz testes em ar condicionados de alta potência (acima de 30.000 btus), sendo estes consumidores de maior energia. Assim, através dos cálculos de engenharia econômica será possível verificar se há viabilidade econômica na utilização do sistema fotovoltaico *on-grid*.

#### **4.2 Coleta de dados**

Para o levantamento do consumo de energia elétrica e caracterização do empreendimento foi realizada uma entrevista com um dos sócios da empresa no segundo semestre de 2017, foram obtidos dados de:

- Consumo mensal e o consumo anual de energia elétrica antes e depois da instalação do sistema fotovoltaico;
- Quantidade de módulos fotovoltaicos instalados;
- Metragem da cobertura superior onde os módulos estão instalados;
- Custo dos módulos fotovoltaicos;
- Tipos e custos dos inversores e medidores bidirecional;
- Custo do sistema fotovoltaico *on-grid* instalado.

Para a análise de incidência solar no local, foi utilizado o site do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB), onde as coordenadas geográficas do empreendimento foram inseridas, e encontrou-se as médias máximas e mínimas no período de 1 (um) ano.

### 4.3 Análise da viabilidade econômica

A análise da viabilidade econômica do projeto foi realizada através das ferramentas da engenharia econômica descrita por Casarotto Filho e Kopittke (2008), as utilizadas foram: VPL, TIR, *Payback* descontado e o ROI, para a realização dos cálculos foi necessária a utilização de uma planilha eletrônica de cálculo.

O investimento do projeto foi calculado através do VPL (Equação 1), onde a avaliação se deu por meio do tempo de utilização do sistema (SFRC) de acordo com o consumo de energia elétrica mensal do mesmo período. Este cálculo se dá por:

$$VPL_{(n)} = \frac{FC_{(n)}}{(1+i)^n} \quad (1)$$

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) (%);

Para a análise da TIR (Equação 2), considerou-se o investimento inicial do projeto e o fluxo de caixa gerado no período de utilização do SFRC. O resultado obtido no cálculo é comparado com a Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Este cálculo se dá por:

$$VPL = Invest. Inicial + \frac{FC_{(n)}}{(1+TIR)^n} = 0 \quad (2)$$

Onde:

$VPL_{(n)}$  → Valor presente líquido (R\$);

$FC_{(n)}$  → Fluxo de caixa no período (R\$);

$n$  → Período (anos ou meses);

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.

A análise do tempo necessário de retorno do valor investido foi calculada através do cálculo de *payback* descontado (Equação 3), tendo como TMA o valor da média da SELIC nos últimos 5 anos. Assim:

$$Paybackdescontado = \frac{FC_n}{(1 + TMA)^n} \quad (3)$$

Onde:

$FC_{(n)}$  → Fluxo de caixa no período (R\$);

$n$  → Período (meses);

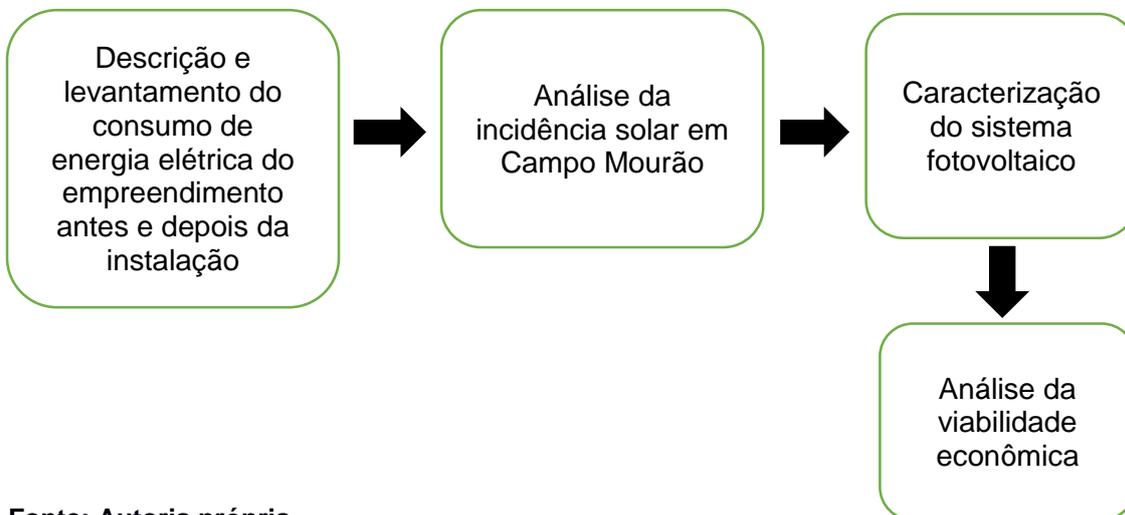
$TMA$  → SELIC (%);

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

$$ROI = \frac{LucroOperacional - InvestimentoInicial}{InvestimentoInicial} \times 100 \quad (4)$$

Para a realização do trabalho foram seguidas todas as etapas do fluxograma a seguir (Figura 5).

**Figura 5: Fluxograma das etapas de realização do trabalho**



**Fonte: Autoria própria**

- 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 SFRC e durante um ano com o SFRC instalado, disponibilizado pelo empreendedor;
- A análise da incidência solar no empreendimento foi realizada através do site da CRESESB, onde foram adicionadas as coordenadas geográficas do local, obtendo os valores de médias máximas e mínimas no período de um ano;
- O sistema fotovoltaico foi analisado através das características e quantidade de módulos fotovoltaicos, inversores e medidores bidirecional instalados no local de acordo com o sistema *on-grid*. Esta análise foi em relação área disponível e utilizado do telhado do empreendimento;
- Os cálculos de *payback* descontado, valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e Retorno sobre o investimento (ROI), foram realizados através da planilha eletrônica de cálculo para analisar a viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico *on-grid*, levando em consideração o consumo histórico de energia elétrica do empreendimento.

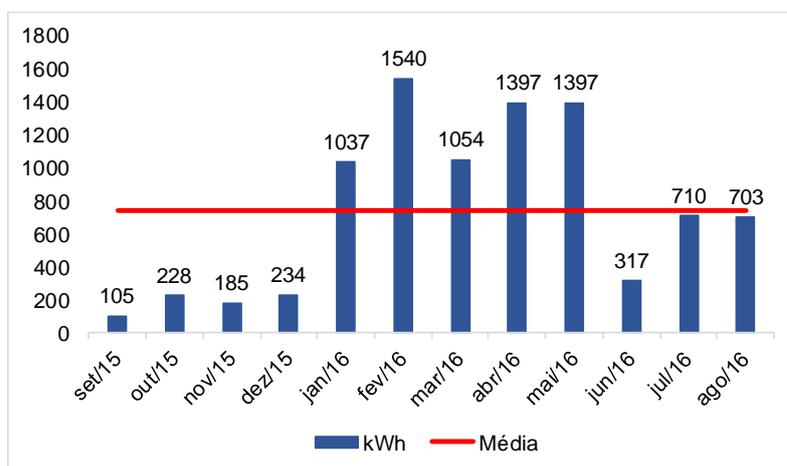
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Demanda de consumo de energia elétrica

#### 5.1.1 Consumo de energia elétrica antes da instalação do SFCR

Através das faturas de pagamento de energia elétrica da companhia paranaense de energia elétrica (COPEL), disponibilizado pelo proprietário do empreendimento, constatou-se o consumo mensal de energia elétrica um ano antes da instalação do SFCR (Figura 6).

**Figura 6: Valores do consumo mensal de potência em kWh no empreendimento no período de um ano antes da instalação do SFCR**



Fonte: Autoria própria

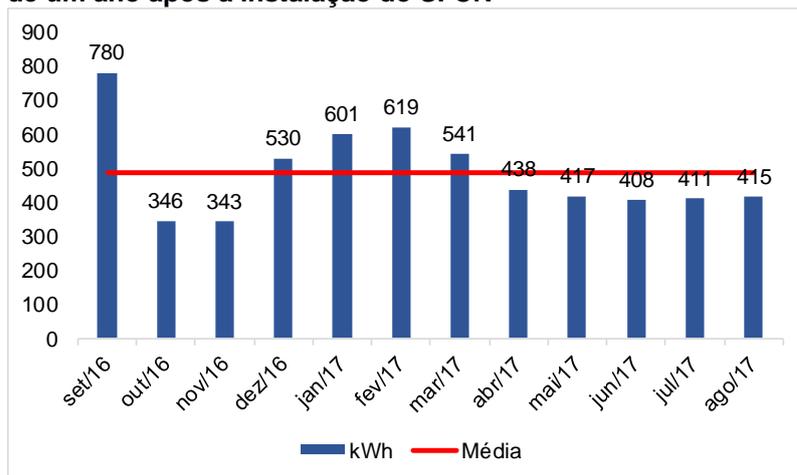
Conforme a figura 6, a linha vermelha ressaltada demonstra a média de consumo mensal que atinge os 742,25 kWh. Nota-se que nos meses de janeiro a maio o consumo ultrapassa os 1000 kWh, pode-se afirmar que este elevado consumo se deve a alta utilização de ar condicionado durante o expediente, pois são meses em que as temperaturas médias são mais elevadas.

Nos meses de setembro a dezembro de 2015, os valores do consumo mantiveram uma uniformidade abaixo dos 300 kWh, sendo esses valores relativamente baixos para uma empresa, porém por serem meses onde as temperaturas não são altas pode-se justificar esses valores. Nos meses de julho e agosto de 2016, os valores de consumo estão bem próximos da média mensal.

### 5.1.2 Consumo de energia elétrica após a instalação do SFCR

Por meio das faturas de pagamento de energia elétrica, obteve-se os valores de consumo mensal de energia no período de um ano após a instalação do SFCR (Figura 7).

**Figura 7: Valores do consumo mensal de potência em kWh no empreendimento no período de um ano após a instalação do SFCR**



Fonte: Autoria própria

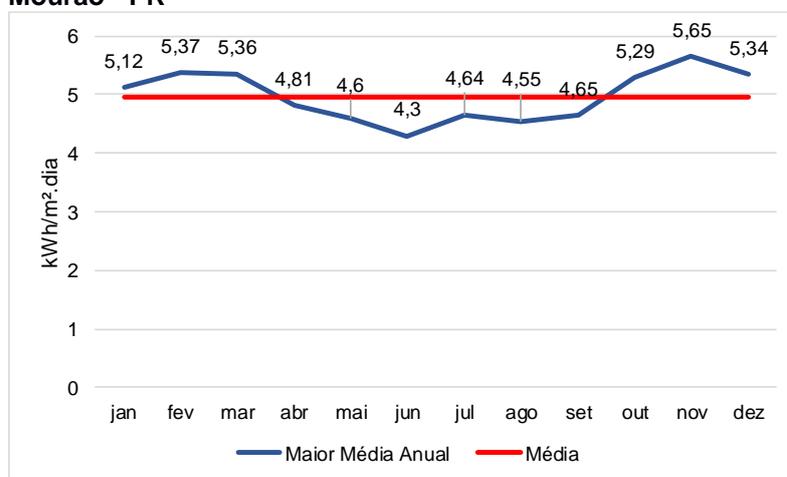
Conforme evidenciado na figura 7, a linha vermelha designa a média de consumo mensal, calculada em 487,41 kWh. Após a instalação do SFCR o consumo mensal de energia elétrica fornecida pela companhia do município sofreu uma redução relativamente alta, pois, nos meses de maior consumo não excedeu os 650kWh. Apenas o mês de setembro superou a marca de 750kWh, pois o SFCR já estava instalado, porém ainda não estava em total funcionamento. Durante os meses de outubro de 2016 a agosto de 2017, os valores de consumo se mantiveram estáveis, justificando a utilização da energia produzida pelo SFCR.

## 5.2 Incidência 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 Estudios de la Energia Solar (CENSOLAR).

Manuseando o site, auferiu os valores de maior média anual (Figura 8) e maior mínimo mensal (Figura 9).

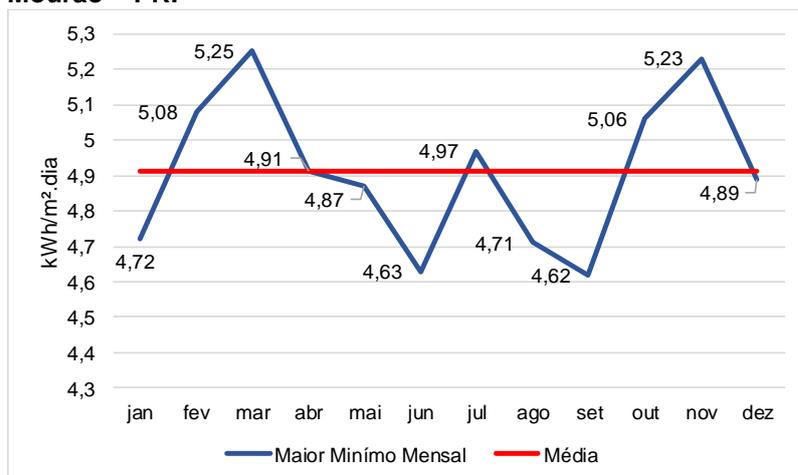
**Figura 8: Valores das Maiores médias anual de irradiação solar no município de Campo Mourão - PR**



Fonte: Adaptado de CRESESB (2017)

De acordo com a figura 8, os valores das maiores médias anual de irradiação solar no município foram obtidos através de uma inclinação de 21° Norte. O menor valor observado foi de 4,3 kWh.m<sup>-2</sup>.dia e o maior 5,65 kWh.m<sup>-2</sup>.dia. Observou-se que esses dados têm pouca variação durante o ano, mantendo uma média de 4,97 kWh.m<sup>-2</sup>.dia.

**Figura 9: Valores dos Maiores mínimos mensal de irradiação solar no município de Campo Mourão – PR.**



Fonte: Adaptado de CRESESB (2017)

A figura 9, exibe os valores de maiores mínimos mensais de irradiação obtidos em uma inclinação de 32° N. Esses valores também não apresentam variação relevante, no qual o menor valor é de 4,62 kWh.m<sup>-2</sup>.dia e o maior valor 5,25 kWh.m<sup>-2</sup>.dia, constatando-se uma média de 4,91 kWh.m<sup>-2</sup>.dia.

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

### 5.3 Análise do sistema fotovoltaico

Como apresentado anteriormente, os SFCR são compostos por painéis fotovoltaicos, inversores de carga (corrente contínua em corrente alternada) e os medidores bidirecionais.

De acordo com o empreendedor a empresa possui 880 m<sup>2</sup>, sendo que não há área livre, todo o terreno esta construído. O telhado é de forma arredondada com o lado convexo para cima. A instalação dos painéis fotovoltaicos ocupa aproximadamente 88 m<sup>2</sup> da área total do telhado (10%), sendo que são 40 painéis (2 x 1 m) de 325 W de células policristalinas da marca *Canadian Solar*.

É utilizado uma unidade do inversor Fronius SYMO Brasil com potência de 12 KW, trifásico e 220 Volts. O medidor bidirecional é fornecido pela companhia de energia elétrica do município sem custo adicional.

#### 5.4 Cálculo da viabilidade econômica

O sistema instalado na empresa produziu aproximadamente 13.108 kWh no primeiro ano de funcionamento, enquanto o consumo no mesmo período foi de 5.849 kWh, dispondo de um total de créditos em torno de 7.330 kWh, no qual segundo a Resolução normativa 687 de 2015, permite a utilização desses créditos num prazo de 60 meses.

De acordo com o investimento inicial adquirido através do custo final do projeto (Tabela 1), o consumo anual de energia elétrica e o demonstrativo do resultado do exercício (DRE) do empreendimento, foram calculados em uma planilha de cálculo 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 final do valor do projeto

	Unidades	Valor Unitário (R\$)	Total (R\$)
<b>Painéis fotovoltaicos</b>	40	R\$ 970,00	R\$ 38.800,00
<b>Inversor</b>	1	R\$ 20.000,00	R\$ 20.000,00
<b>Engenharia elétrica e execução do projeto</b>	-	R\$ 20.000,00	R\$ 20.000,00
<b>Equipamentos de montagem e cabos</b>	-	R\$ 7.472,22	R\$ 7.472,22
<b>Valor total (R\$)</b>	-	-	<b>R\$ 86.272,22</b>

Fonte: Mamborê refrigeração

De acordo o fabricante, o sistema fotovoltaico tem garantia de produção linear dos painéis de 25 anos e tempo de vida útil do inversor de 18 anos, com 5 (cinco) anos de garantia contra defeitos de fábrica. Esses dados foram necessários para a montagem do fluxo de caixa, no qual foi considerado 20 anos e uma média de reajuste de 7,08% ao ano no kWh (Tabela 2).

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

<b>Ano</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>Média (%)</b>
<b>Variação (%)</b>	2,99	-0,65	-19,28	9,55	24,86	36,79	15,32	-12,87	<b>7,08</b>

Fonte: Adaptado de COPEL.

O fluxo de caixa (Apêndice A), considerou além do investimento inicial, reajustes anuais de acordo com a média da inflação nos últimos anos (2012 - 2017) nos valores de geração e nos valores de geração com depreciação (Tabela 3), determinando o valor de R\$ 300,00 para manutenção anual dos painéis sendo o mesmo reajustado de acordo com a inflação.

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

<b>Ano</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>Média (%)</b>
<b>Inflação (%)</b>	6,5	5,83	5,91	6,41	10,67	6,29	3,1	<b>6,38</b>

Fonte: Adaptado de ADVFN Brasil (2017).

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.

Para a efetuação dos cálculos de viabilidade econômica, foi necessário a realização da média da taxa Selic dos últimos anos (2012 – 2017), 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 2012 a 2017**

<b>Ano</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>Média (%)</b>
<b>SELIC (%)</b>	7,4	8,3	10,8	13,21	14,25	12,25	<b>11,035</b>

Fonte: Adaptado de ADVFN Brasil (2017)

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. Esse valor obtido foi utilizado para calcular a 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 não superar os 17.500 kWh, o projeto instalado será eficaz, caso o consumo supere esse valor, o empreendedor terá que realizar um novo investimento no sistema para suprir a necessidade do local.

A TMA utilizada como base para os cálculos do projeto foi de 11,035%, valor este que representa a média da SELIC dos anos de 2010 a 2017. O retorno obtido com a geração de energia elétrica através do sistema fotovoltaico levou à uma TIR de 19,52%, valor superior a TMA, se encaixando no cenário correspondente a  $TIR > TMA$ , representando a viabilidade do projeto.

A VPL no final do período de 20 anos apresentou valor de R\$ 68.880,42, esse valor sendo maior que zero e a TIR superior a TMA demonstra segundo Gitman (2002) 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 projeto.

Neste caso, o projeto de instalação do SFCR tem um tempo de retorno de oito anos e nove meses, aproximadamente nove anos. 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 SFCR produziu, não declarando outros valores que a

empresa possui. Assegurando as informações do fabricante usufruindo a média de vida útil do sistema em 20 anos, o *payback* descontado desse projeto representa 40,5% do período.

Para concretizar a viabilidade ou não 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 147,05%. Logo, analisando todos os fatores de viabilidade do projeto do SFCR no cenário atual a viabilidade econômica do mesmo se apresenta positiva.

Entretanto para maior compreensão das análises, foram realizados os mesmos cálculos para três cenários distintos, o primeiro cenário apresentando um aumento no consumo de energia elétrica em 10%, o segundo cenário um aumento em 20% e o último cenário o aumento foi de 50%. Esses cenários foram considerados apenas o aumento de consumo da energia elétrica, com possíveis aumento na tarifa do kWh (Tabela 5).

**Tabela 5: Futuros possíveis cenários de consumo de energia (kWh) elétrica no empreendimento**

<b>Cenário</b>	<b>Produção máxima (kWh)</b>	<b>Produção mínima (kWh)</b>	<b>Consumo (kWh)</b>
<b>Cenário atual</b>	17.876	15.658,61	5.849
<b>Cenário 2 Aumento de 10%</b>	17.876	15.658,61	6.433,9
<b>Cenário 3 Aumento de 20%</b>	17.876	15.658,61	7.018,8
<b>Cenário 4 Aumento de 50%</b>	17.876	15.658,61	8.773,5

Fonte: Aatoria própria

Observando os valores da tabela anterior, nota-se que se a empresa possuir aumento no consumo de energia elétrica em 50%, o sistema fotovoltaico instalado suprirá a necessidade de energia do empreendimento.

Considerando a média de 20 anos de vida útil do sistema e comparando com o valor de *payback* de 8 anos e 9 meses, constata-se que o sistema fotovoltaico instalado originará lucro ao empreendedor por 11 anos e 3 meses.

## 6 CONCLUSÃO

Após a descrição das condições de instalação do local e da análise do sistema fotovoltaico *on-grid* serem consideradas favoráveis para a produção de energia elétrica, foi realizado a verificação do valor do investimento necessário para a instalação do sistema, esse valor foi utilizado para dar início ao fluxo de caixa da empresa. A preparação do fluxo de caixa 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 possui a TIR maior que a taxa mínima de atratividade (TMA), assim como também possui retorno positivo. O investimento foi analisado apenas com os valores de economia de energia, pois se fosse utilizado valores totais do empreendimento, o estudo ficaria falho, logo, o tempo de retorno se estende para aproximadamente 9 anos, não chegando a 50% do tempo de vida útil do sistema fotovoltaico, que apresenta uma média de 20 anos, além dos benefícios ambientais.

O projeto foi analisado em mais três tipos de cenário (10%, 20% e 50%), onde há um aumento no consumo de energia elétrica e não na tarifa do kWh. Assim, todos os cenários supririam a futuras demandas da empresa, sem necessidade de mais investimentos para aumentar a produção de energia. Logo, esse sistema instalado nessa empresa, é de total viabilidade econômica para o empreendedor.

## REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa N.482. ANEEL. Brasília. 2012.

Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa N.687. ANEEL. Brasília. 2015.

Agência Nacional de Energia Elétrica. Compensação e geração distribuída. Disponível em: < [http://www.aneel.gov.br/outorgas/geracao/-/asset\\_publisher/mJhnKli7qcJG/content/registro-de-central-geradora-de-capacidade-reduzida/655808?inheritRedirect=false](http://www.aneel.gov.br/outorgas/geracao/-/asset_publisher/mJhnKli7qcJG/content/registro-de-central-geradora-de-capacidade-reduzida/655808?inheritRedirect=false)>. Acesso em: 14 nov. 2017

Agência Nacional de Energia Elétrica. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica – PRODIST, Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição. 2017.

ADVFN Brasil. Disponível em: <<https://br.advfn.com/indicadores/taxa-selic>> Acesso em: 03 nov. 2017.

BRASIL. Projeto de Lei nº 4.332 de 2016. Câmara dos deputados. Brasília 2016.

BÜHLER, A. J. et al. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO: SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS. **Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente**, Argentina, v. 19, p.04-21, out. 2015

CAAMANO, Estefania et al. State-of-the-art on dispersed PV power generation: Publications review on the impacts of PV distributed generation and electricity networks. **International Energy Agency, Report**, p.50, 2007.

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

CASAROTTO FILHO, Nelson; KOPITCKE, Bruno Hartmut. **Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial**. 10 ed. São Paulo: Atlas, 2008

CASTAGNA, Annemahlen Gehrke et al. Crise Energética e Planejamento Energético no Paraná. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, Curitiba, v. 37, n. 130, p.63-81, 2016.

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.

Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio Brito. Energia Solar Princípios e Aplicações. **Centro de Referência para Energia Solar e Eólica**, 2006

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.

Embaixada da República Popular da China no Brasil, 2013. Disponível em: <<http://br.china-embassy.org/por/szxw/t1083451.htm>>. Acesso em 05 set. 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, Empresa. Inserção da geração fotovoltaica distribuída no Brasil-condicionantes e impactos. **Nota Técnica. Rio de Janeiro**, 2014.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. International Energy Outlook 2017. 2017. Disponível em: <[http://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2017\).pdf](http://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2017).pdf)>. Acesso em: 14 out. 2017.

FIGUEIRAS, Baltazar de Jesus Pina Patuleia. **MECANISMOS DE INCENTIVOS AO FOTOVOLTAICO: ESTUDO COMPARATIVO PORTUGAL/BRASIL**. 2013. 97 f. Dissertação (Mestrado) Curso de Engenharia da Energia e do Ambiente, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa.

FF SOLAR ENERGIAS RENOVÁVEIS. Disponível em: <<http://www.ffi-solar.com/index.php?lang=PT&page=sistemas-autonomos>>. Acesso em: 09 mai. 2017.

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

GHIZONI, Joana Pauli et al. Sistemas fotovoltaicos: **estudo sobre reciclagem e logística reversa para o Brasil**. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Cidades: Campo Mourão**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=410430>> Acesso em: 15 set. 2017.

IZIDORO, Bruna Caroline; ORSI, Gustavo Cardoso; CORDEIRO, Leandro Ricardo. **ESTUDO DO PANORAMA NACIONAL PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE APÓS A RESOLUÇÃO 482/2012 DA ANEEL**. 2014. 161 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Elétrica, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

LACERDA, Leonardo. Logística reversa: uma visão sobre os conceitos básicos e as práticas operacionais. **Rio de Janeiro: COPPEAD/UFRJ**, p. 6, 2002.

LANG, Aline Eloyse. As Ferrovias no Brasil e Avaliação Econômica de Projetos: uma Aplicação em Projetos Ferroviários (Mestrado). **Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Brasília**, 2007.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – **MME**. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset\\_publisher/32hLrOzMKwWb/content/mme-inaugura-1-usina-solar-distribuida-em-predio-do-governo-federal](http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/mme-inaugura-1-usina-solar-distribuida-em-predio-do-governo-federal)>. Acesso em 09 mai. 2017.

MONIER, Véronique; HESTIN, Mathieu. Study on photovoltaic panels supplementing the impact assessment for a recast of the WEEE directive. **Final Report, ENV. G**, v. 4, p. 6, 2011.

MOTTA, Lucas Abdala. **Análise de viabilidade econômica da adoção de soluções energéticas de menor impacto: estudo de caso em um condomínio horizontal na cidade de Londrina**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

DA MOTTA, Ronaldo Seroa. **Manual para valoração econômica de recursos ambientais**. IPEA/MMA/PNUD/CNPq, 1997.

MOURA, L. A. A. **Economia Ambiental: Gestão de Custos e Investimentos**. São Paulo: Ed. Juarez de Oliveira, 2000.

MRV Engenharia, 2016. Disponível em: <<http://www.mrv.com.br/sustentabilidade/pt/materias-e-dicas/energia/mrv-engenharia-tem-seu-primeiro-condominio-com-energia-fotovoltaica>>. Acesso em 06 set. 2017.

ORTH, Martin. Disponível em: <<https://www.deutschland.de/pt-br/topic/politica/alemanha-e-europa/o-caminho-da-virada-energetica>>. Acesso em 05 set. 2017.

PARIDA, Bhubaneswari; INIYAN, S\_; GOIC, Ranko. A review of solar photovoltaic technologies. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 15, n. 3, p. 1625-1636, 2011.

PEREIRA, Enicio Bueno et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. INPE, 2006.

PEREIRA, Osvaldo LS; GONÇALVES, Felipe F. Dimensionamento de Inversores para Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica: Estudo de caso do Sistema de Tubarão-SC. **Revista Brasileira de Energia**, v. 14, n. 1, p. 25-45, 2008

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco A. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. **Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb**, 2014.

PORTAL BRASIL, 2015. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2015/09/energia-solar-financia-melhorias-em-condominios-do-minha-casa-minha-vida>>. Acesso em 06 set. 2017

PORTAL SOLAR. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/china-alcanca-novo-recorde-mundial-em-energia-solar.html>>. Acesso em 24 ago. 2017a.

PORTAL SOLAR. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/blog-solar/painel-solar/quanto-tempo-duram-os-paineis-solares-.html>>. Acesso em 09 mai. 2017b.

Q do Q ENERGIAS. Disponível em: <<https://www.qdoqenergias.com/services>>. Acesso em: 09 mai. 2017.

RECICLOTECA Centro de informações sobre reciclagem e meio ambiente. Disponível em: <<http://www.recicloteca.org.br/noticias/fontes-de-energia-alternativa-energia-solar/>>. Acesso em: 13 out. 2017

RÜTHER, Ricardo. Edifícios solares fotovoltaicos. **Florianópolis: Editora UFSC/LABSOLAR**, 2004.

SÁ, Daniel Augusto Pereira de. **Sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água**. 2010. Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica Universidade Federal do Rio de Janeiro para obtenção do grau de engenheiro.

SALAMONI, Isabel Tourinho. **UM PROGRAMA RESIDENCIAL DE TELHADOS SOLARES PARA O BRASIL: DIRETRIZES DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA A INSERÇÃO DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA CONECTADA À REDE ELÉTRICA**. 2009.186 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SALAMONI, Isabel Tourinho.; RÜTHER, Ricardo. Potencial Brasileiro da Geração Solar Fotovoltaica Conectada à Rede Elétrica: Análise de Paridade de Rede. **IX Encontro Nacional EV Latino Americano De Conforto No Ambiente Construído**, v. 9, 2007.

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.

SIGNORINI, Vanessa Büttow; VIANNA, Saionara Dias; SALAMONI, Isabel. ANÁLISE DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM UM SISTEMA INTEGRADO À EDIFICAÇÃO E INTERLIGADO À REDE: estudo de caso no prédio administrativo do campus porto da UFPEL. **Revista de Arquitetura da Imed**, v. 3, n. 2, p.108-117, 2014.

Sindicato da Habitação e Condomínios, 2016. Disponível em: <<http://www.secovipr.com.br/Energia+fotovoltica+gera+economia+de+45+a+c+ondominio+104+6596.shtml>>. Acesso em 06 set. 2017.

Solargis. Disponível em: <<http://solargis.com/products/maps-and-gis-data/free/download>>. Acesso em 05 set. 2017

SPADUTO, Robson Ruiz et al. Projeto de um sistema fotovoltaico de 2, 16 kWp conectado à rede elétrica. In: **XI CEEL-XI Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica, Uberlândia**. 2013.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno; GUERREIRO, Amilcar; GORINO, Ricardo. Matriz energética Brasileira – Uma Prospectiva. **Revista Novos Estudos**, v. 79, p. 47-79, 2007.

URBANETZ JUNIOR, Jair. **SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A REDES DE DISTRIBUIÇÃO URBANAS: SUA INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA E ANÁLISE DOS PARÂMETROS QUE POSSAM AFETAR A CONECTIVIDADE**. 2010. 189 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – **UTFPR**. Disponível em: <<http://www.utfpr.edu.br/curitiba/estrutura-universitaria/assessorias/ascom/noticias/acervo/sistema-fotovoltico-do-escritorio-verde-da-utfpr-e-alternativa-promissora-de-geracao-de-energia-no-ambiente-urbano>>. Acesso em: 09 mai. 2017

VARELLA, F. K. O. M. **ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE NACIONALIZAÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO BRASIL. UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS–UNICAMP**. 2009. 148 p. Tese (Doutorado). Campinas: FEM, UNICAMP, 2009. Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas.

VIANA, T. S. **POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS COM CONCENTRADOR NO BRASIL**. (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2010.

VILLALVA, M. G. **CONVERSOR ELETRÔNICO DE POTÊNCIA TRIFÁSICO PARA SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA**. 2010. 292 f. Tese (Doutorado) Curso de Engenharia Elétrica, Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações. **São Paulo: Érica**, 2013.

## APÊNDICES

**Apêndice A: Fluxo de Caixa, Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno, Payback e Retorno sobre o investimento.**

Dados		Análises realizadas	
Consumo kWh	5.849	TMA	11,035%
Valor da tarifa do kWh	0,6778	Inflação Média	7,080%
Produção kWh	17.876	Varição kwh	6,380%
Manutenção e reparos	R\$ 300,00	VPL	<b>R\$ 68.880,42</b>
<b>Investimento</b>	<b>R\$ 86.272,22</b>	TIR	<b>19,52%</b>

Ano	Valor da tarifa do kWh	Produção kWh	Consumo kWh	Valor da geração	Manutenção	Valor da geração com depreciação	Valor presente descontado	Payback descontado
0					-R\$ 86.272,22	-86.272,22	-R\$ 86.272,22	-R\$ 86.272,22
1	0,7258	17754,44	5.849	R\$ 12.885,97	-R\$ 300,00	R\$ 12.585,97	R\$ 11.335,13	-R\$ 74.937,09
2	0,7772	17633,71	5.849	R\$ 13.704,46	-R\$ 321,24	R\$ 13.383,22	R\$ 10.855,28	-R\$ 64.081,81
3	0,8322	17513,80	5.849	R\$ 14.574,95	-R\$ 343,98	R\$ 14.230,97	R\$ 10.395,72	-R\$ 53.686,08
4	0,8911	17394,71	5.849	R\$ 15.500,73	-R\$ 368,34	R\$ 15.132,39	R\$ 9.955,61	-R\$ 43.730,47
5	0,9542	17276,43	5.849	R\$ 16.485,32	-R\$ 394,42	R\$ 16.090,90	R\$ 9.534,13	-R\$ 34.196,34
6	1,0218	17158,95	5.849	R\$ 17.532,44	-R\$ 422,34	R\$ 17.110,10	R\$ 9.130,47	-R\$ 25.065,87
7	1,0941	17042,27	5.849	R\$ 18.646,07	-R\$ 452,24	R\$ 18.193,83	R\$ 8.743,89	-R\$ 16.321,98
8	1,1716	16926,38	5.849	R\$ 19.830,45	-R\$ 484,26	R\$ 19.346,19	R\$ 8.373,68	-R\$ 7.948,30
9	1,2545	16811,28	5.849	R\$ 21.090,05	-R\$ 518,55	R\$ 20.571,50	R\$ 8.019,12	R\$ 70,82
10	1,3433	16696,96	5.849	R\$ 22.429,66	-R\$ 555,26	R\$ 21.874,40	R\$ 7.679,57	R\$ 7.750,39
11	1,4384	16590,10	5.849	R\$ 23.863,96	-R\$ 594,57	R\$ 23.269,39	R\$ 7.357,43	R\$ 15.107,82
12	1,5403	16483,92	5.849	R\$ 25.389,99	-R\$ 636,67	R\$ 24.753,32	R\$ 7.048,79	R\$ 22.156,62
13	1,6493	16378,43	5.849	R\$ 27.013,60	-R\$ 681,74	R\$ 26.331,86	R\$ 6.753,09	R\$ 28.909,71
14	1,7661	16273,61	5.849	R\$ 28.741,04	-R\$ 730,01	R\$ 28.011,02	R\$ 6.469,79	R\$ 35.379,51
15	1,8912	16169,45	5.849	R\$ 30.578,94	-R\$ 781,70	R\$ 29.797,24	R\$ 6.198,37	R\$ 41.577,88
16	2,0250	16065,97	5.849	R\$ 32.534,36	-R\$ 837,04	R\$ 31.697,32	R\$ 5.938,33	R\$ 47.516,21
17	2,1684	15963,15	5.849	R\$ 34.614,83	-R\$ 896,30	R\$ 33.718,53	R\$ 5.689,19	R\$ 53.205,39
18	2,3219	15860,98	5.849	R\$ 36.828,35	-R\$ 959,76	R\$ 35.868,58	R\$ 5.450,50	R\$ 58.655,89
19	2,4863	15759,47	5.849	R\$ 39.183,40	-R\$ 1.027,71	R\$ 38.155,69	R\$ 5.221,81	R\$ 63.877,70
20	2,6624	15658,61	5.849	R\$ 41.689,06	-R\$ 1.100,47	R\$ 40.588,58	R\$ 5.002,72	R\$ 68.880,42

<b>Payback prazo máximo em anos</b>
8,99
<b>Retorno sobre o investimento (%)</b>
147,05%