

## **ROTEIRO PARA IMPLEMENTAÇÃO DE PROJETO FOTOVOLTAICO EM PRÉDIOS COMERCIAIS**

Felipe Amoêdo Hadba



## **ROTEIRO PARA IMPLEMENTAÇÃO DE PROJETO FOTOVOLTAICO EM PRÉDIOS COMERCIAIS**

**Aluno: Felipe Amoêdo Hadba**

**Orientador: Delberis Araújo Lima**

Trabalho apresentado com requisito parcial à conclusão do curso de Engenharia Elétrica na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

## Agradecimentos

Agradeço a minha mãe, que me proporcionou a oportunidade de cursar engenharia na PUC-RJ.

Aos professores que tive ao longo de toda minha trajetória dentro da universidade, por terem me passado parte de seus conhecimentos.

Em especial, aos professores Mauro Schwanke, pela amizade descontráida e todo o aprendizado sobre energia e eletrônica aplicada aos problemas comuns do dia-a-dia, ao professor Alexandre Street, que, mesmo sem saber, me ajudou a escolher engenharia elétrica para cursar e ao professor Delberis, com quem tive a oportunidade de realizar este projeto, por toda disponibilidade em me ajudar com minhas dificuldades.

A todos que tive o prazer de trabalhar junto em Furnas, em especial Cris, Yuri, Fred, Pedro, Arnaldo, Ângelo e Beth, por terem se disponibilizado a me ajudar com todos os problemas e dificuldades.

Aos amigos que fiz na faculdade, Zeca, Felipe, Artur, Pablo, Arthur, Sofia, Paula, Alice e muitos outros, por todo suporte, troca de conhecimento e principalmente pelos momentos de descontração, que me ajudaram a seguir em frente.

Nos últimos anos o número de instalações utilizando painéis fotovoltaicos no Brasil e no mundo tem crescido significativamente. Apesar da vantagem de estarem sendo instalados próximos às cargas e, normalmente, produzirem maior energia no horário de pico de demanda, a viabilidade técnica e financeira deste tipo de projeto ainda é um desafio a ser superado em função da complexidade que envolve a instalação e o custo dos equipamentos envolvidos.

Uma das formas de superar estes desafios é prover informações aos consumidores de energia para que possam decidir, de forma mais assertiva, como investir neste tipo de projeto. O escopo deste trabalho é voltado para prover informações, detalhadas, aos grandes consumidores comerciais sobre os aspectos técnicos e comerciais envolvidos no desenvolvimento destes projetos, destacando as vantagens e desvantagens de sua implantação.

O objetivo desse trabalho é apresentar em detalhes um roteiro para instalação de painéis fotovoltaicos em estabelecimentos comerciais, tendo em conta os aspectos técnicos e financeiros do projeto, como escolha de equipamentos, gastos com manutenção, capacidade de geração e retorno de investimento, elaborando um fluxo de caixa detalhado.

**Palavras-chave: Energia; Geração Fotovoltaica; Viabilidade Econômica; Aspectos Técnicos; Consumidor Comercial.**

## Roadmap for photovoltaic project implementation in commercial buildings

### Abstract

In the past years, the number of installations using photovoltaic panels has significantly increased in Brazil as well as in the world. Even though it has the advantages of being installed next to the loads, and usually generates more energy in demand peak hours, the technical and financial viability of this project is yet a challenge to be overcome due to the complexity involving installation and equipment costs.

One of the means to overcome these challenges is providing information to energy consumers so that they can decide, in a more assertive manner, how to invest on such a project. The scope of this paper aims in providing detailed information, to the big commercial consumers about the technical and commercial aspects involved in the development of these projects, highlighting the advantages and the disadvantages of its implementation.

The goal of this paper is to present a detail guideline for the installation of photovoltaic panels in commercial establishments, taking into account the technical and financial aspects of the project such as choice of equipment, expenses with maintenance, generation capacity, return of investment, elaborating a detailed cash flow.

**Keywords: Energy; Photovoltaic power generation; Economic viability; Technical aspects; Commercial consumer.**

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. DESCRIÇÃO TARIFÁRIA .....</b>	<b>2</b>
2.1 CLASSES DE TENSÃO .....	2
2.1.1 <i>Baixa tensão</i> .....	2
2.1.2 <i>Alta tensão</i> .....	2
2.2 DEMANDA.....	2
2.3 HORÁRIOS DE PONTA E FORA DE PONTA.....	3
2.4 BANDEIRAS TARIFÁRIAS .....	3
2.5 CÁLCULO TARIFÁRIO.....	3
2.5.1 <i>Energia ativa:</i> .....	3
2.5.2 <i>Energia reativa:</i> .....	3
2.5.3 <i>Demanda em horário fora-ponta</i> .....	3
2.5.4 <i>Demanda em horário ponta (caso tarifa azul)</i> .....	4
2.5.5 <i>Total</i> .....	4
<b>3. GERAÇÃO FOTOVOLTAICA .....</b>	<b>5</b>
3.1. INTRODUÇÃO .....	5
3.2. EQUIPAMENTOS .....	5
3.2.1 <i>Painéis fotovoltaicos</i> .....	5
3.2.1.1 Efeito fotovoltaico.....	5
3.2.1.2 Estrutura.....	6
3.2.1.3 Célula solar.....	7
3.2.2 <i>Inversor de frequência</i> .....	9
3.2.3 <i>Sistema de monitoramento</i> .....	10
3.2.4 <i>Medidor bidirecional</i> .....	10
3.2.5 <i>Bateria</i> .....	11
3.2.6 <i>Equipamentos de proteção</i> .....	11
3.3. APLICAÇÕES COMUNS.....	12
3.3.1 <i>Aquecimento de água</i> .....	12
3.3.2 <i>Geração de energia elétrica</i> .....	13
3.3.2.1 Sistemas isolados .....	13
3.3.2.2 Sistemas para bombeamento de água.....	13
3.3.2.3 Sistemas conectados à rede .....	13
3.4. SISTEMA DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA .....	14
3.5. IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE .....	14
3.5.1 <i>Características do Local</i> .....	15
3.5.1.1 Localização geográfica.....	15
3.5.1.2 Consumo e demanda de energia .....	15
3.5.2 <i>Dimensionamento do sistema fotovoltaico</i> .....	15
3.5.3 <i>Projeto básico</i> .....	17
3.5.4 <i>Projeto executivo</i> .....	18
<b>4. CONSUMIDOR COMERCIAL .....</b>	<b>19</b>
4.1. CONSUMO .....	19
4.2. PROJETO DE GERAÇÃO.....	21
4.2.1 <i>Dimensionamento</i> .....	21

4.2.2	<i>Análise do investimento</i> .....	23
4.2.2.1	Caso 1 .....	23
4.2.2.2	Caso 2 .....	25
4.2.2.3	Caso 3 .....	27
4.2.3	<i>Considerações Finais</i> .....	29
<b>5.</b>	<b>GRANDE CONSUMIDOR NO RIO DE JANEIRO</b> .....	<b>30</b>
5.1.	CONSUMO E DEMANDA .....	30
5.2.	PROJETO DE GERAÇÃO .....	32
5.2.1	<i>Dimensionamento</i> .....	32
5.2.2	<i>Análise do investimento</i> .....	33
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>37</b>
<b>7.</b>	<b>ESTUDOS FUTUROS</b> .....	<b>38</b>
7.1.	DIMENSIONAMENTO DE BATERIAS PARA SISTEMAS OFF-GRID .....	38
7.2.	PREVISÃO DE AUMENTO DE CARGA DE UM CONSUMIDOR .....	38
<b>8.</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>39</b>

## 1. Introdução

As demandas da população mundial variaram muito ao longo dos anos, dependendo do local, cultura e época vivida. Porém, em comum, todos buscam desenvolver métodos de produção e formas de organização social que garantem os direitos mínimos para uma vida digna do ser humano. Neste contexto, é possível afirmar que a necessidade por energia elétrica, desde sua descoberta, é crescente e, cada vez mais, um desafio.

Sabe-se que a fonte de energia elétrica mais comum utilizada no mundo atualmente, o petróleo, é escassa e extremamente ofensiva ao meio ambiente. Como forma de encontrar fontes de energia que fossem sustentáveis e que pudessem substituir a necessidade do petróleo, foram desenvolvidas tecnologias que aproveitassem fontes como a água, o vento e a luz solar.

O Brasil é um país com uma localização extremamente favorável para a utilização dos recursos que são renováveis. Segundo o relatório elaborado pelo Ministério de Minas e Energia – Resenha Energética Brasileira; Edição: junho, 2017, a participação de fontes de energia renováveis na oferta interna de energia elétrica (OIEE) em 2016, foi de 81,7%, totalizando um total de 506.320 GWh.

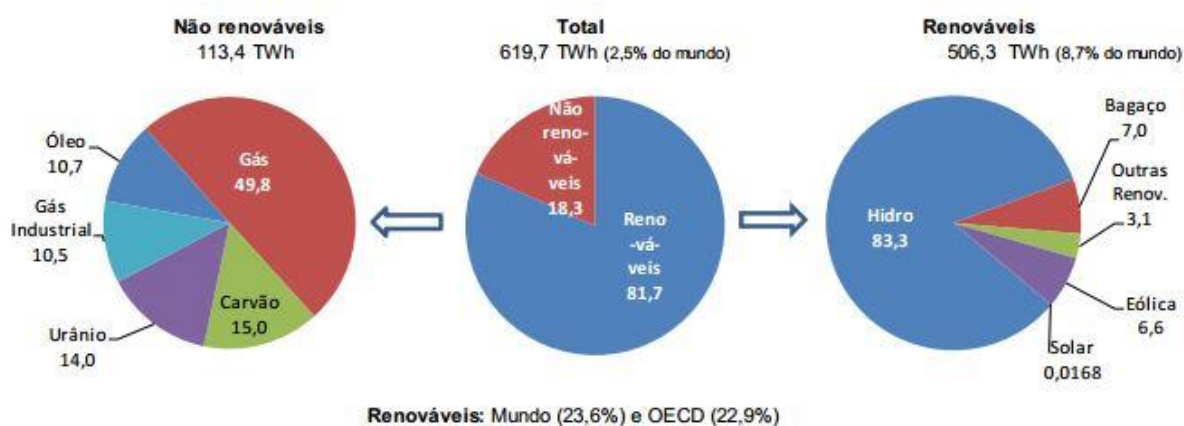


Figura 1 – Matriz energética do Brasil; Fonte: Resenha Energética 2017 - MME

Pelo seu vasto território, há uma série de dificuldades e desafios para a geração e transmissão da energia, o que acaba por encarecer os custos para o consumidor. Por causa deste motivo, criou-se um conceito chamado de geração distribuída, que, por definição, é a energia elétrica gerada próxima ao consumidor. O artigo 14 do Decreto de Lei n 5.163/2004, define geração distribuída como "(...) produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, incluindo aqueles tratados pelo art. 8º da Lei no 9.074, de 1995, conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela proveniente de empreendimento: I - hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW; e II - termelétrico, inclusive de cogeração, com eficiência energética inferior a setenta e cinco por cento, conforme regulação da ANEEL, a ser estabelecida até dezembro de 2004."

Por mais que a utilização de geração distribuída apresente diversas vantagens ao consumidor, como maior confiabilidade na alimentação de energia ou a possibilidade de redução de gastos, sua expressividade perante a matriz energética brasileira ainda é muito baixa. Alguns dos motivos são os altos investimentos iniciais que os consumidores devem realizar para a instalação das tecnologias e o outro é a falta de informação e conhecimento perante ao assunto.

O objetivo deste projeto é apresentar um roteiro para a implementação de painéis solares, uma forma de geração distribuída, em prédios comerciais, explicando o funcionamento dos principais equipamentos necessários, as regulações impostas pela ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica e elaborar um esquema que demonstre as necessidades de investimento financeiro de um consumidor e as possibilidades de economia ao longo dos anos.



## **2. Descrição Tarifária**

### **2.1 Classes de tensão**

Cabe a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, a regulamentação da tarifa de energia elétrica no Brasil. As modalidades tarifárias são divididas de acordo com o nível de tensão em que o consumidor é alimentado.

#### **2.1.1 Baixa tensão**

Clientes de baixa tensão são aqueles que são alimentados com uma tensão entre fases cujo o valor eficaz é igual ou inferior a 1kV. Estes podem ser enquadrados como classe B1 (classe residencial e subclasse residencial de baixa renda), B2 (rural), B3 (industrial, comercial, serviços, serviços poder público) e B4 (iluminação) e todos pagam a tarifa convencional, com descontos para classes de baixa renda determinados pela ANEEL.

A partir de 2018, além da tarifa convencional, os consumidores com uma média mensal maior que 500 kWh/mês terão a possibilidade de aderir à tarifa branca. Em 2019, os consumidores com média mensal superior a 250 kWh/mês também a possibilidade de aderir a tarifa branca e, em 2020, todos os outros consumidores poderão aderir.

Ao contrário da tarifa convencional, que possui um valor único por kWh, a tarifa branca possui três tarifas diferentes ao longo do dia, dependendo do horário: horário de ponta, fora de ponta e intermediário, sendo os horários de ponta e intermediário com uma tarifa superior a convencional, e o horário fora de ponta com uma tarifa inferior.

#### **2.1.2 Alta tensão**

Os clientes em alta tensão são divididos em 4 subcategorias:

- A1: clientes cujo o valor eficaz da tensão entre fases é igual ou superior a 230kV;
- A2: clientes cujo o valor eficaz da tensão entre fases é igual ou superior a 88kV e inferior a 230kV;
- A3: clientes cujo o valor eficaz da tensão entre fases é igual a 69kV;
- A4: clientes cujo o valor eficaz da tensão entre fases é igual ou superior a 2,3kV e inferior a 25kV;

Geralmente, são clientes da classe comercial ou industrial.

Além do consumo, os clientes de alta tensão devem fazer um contrato de demanda, tendo a possibilidade de optar por três modalidades tarifárias distintas: Convencional binômia, em que é cobrado uma tarifa única para consumo e demanda, tarifa verde, em que há uma tarifa diferenciada de consumo em horário de ponta e fora de ponta e uma tarifa única para a demanda, tarifa azul, onde contrata-se uma demanda para horário de ponta e outra para fora de ponta, além das tarifas diferentes de consumo.

### **2.2 Demanda**

Um estabelecimento comercial possui vários equipamentos que consomem uma grande carga de energia elétrica, como motores, transformadores ou máquinas condensadoras. É determinado como demanda, o somatório de todos os equipamentos que estão operando em um determinado momento de medição, em kW. Para que haja um planejamento correto por parte das distribuidoras, é necessário que o estabelecimento faça um contrato, solicitando uma demanda, que leva em consideração a potência dos equipamentos instalados no momento de utilização máxima.

## 2.3 Horários de ponta e fora de ponta

Regulamentada pela Resolução Normativa da ANEEL – REN414/2010, os diferentes períodos tarifários são definidos para diferenciar o faturamento da energia e demanda, permitindo que o consumidor opte por modalidades diferentes.

Horário de Ponta é um período de duração de três horas diárias consecutivas, definidas pela distribuidora local, considerando a curva de projeção de carga do sistema elétrico local, aprovado pela ANEEL.

O horário fora de ponta consiste nas horas complementares aos definidos pela distribuidora como horário de ponta.

## 2.4 Bandeiras tarifárias

Desde 2015, as contas de energia começaram a incluir bandeiras tarifárias, que significam uma alteração do preço da energia dependendo das condições de geração no país. As bandeiras possuem três cores:

- Verde, indicando que as condições para geração de energia são favoráveis e, portanto, nenhuma tarifa adicional.
- Amarelo, indicando que as condições para geração de energia não são tão favoráveis, porém, não muito custosas, adicionando uma pequena tarifa para cada kWh consumido.
- Vermelha, indicando que as condições para geração estão muito desfavoráveis, adicionando uma tarifa maior para cada kWh consumido.

## 2.5 Cálculo tarifário

### 2.5.1 Energia ativa:

O cálculo de gasto total com energia ativa leva em consideração as medições nos horários de ponta e fora de ponta e suas tarifas:

$$EAtiva_{R\$} = EPonta_{kWh} \cdot TarPonta_{\frac{R\$}{kWh}} + EFPonta_{kWh} \cdot TarFPonta_{\frac{R\$}{kWh}} \quad (1)$$

### 2.5.2 Energia reativa:

Equipamentos como motores elétricos ou transformadores possuem circuitos magnéticos, e, desta forma, consomem energia reativa. Esta energia não produz trabalho. A relação entre energia ativa e reativa é chamada de fator de potência e indica a porcentagem de energia total está sendo convertida em energia ativa. A ANEEL estabelece que o limite do fator de potência seja 0,92. Clientes que apresentarem um índice de fator de potência inferior a este, pagam uma energia reativa excedente.

$$EReativa_{R\$} = ERPonta_{kWh} \cdot TarPonta_{\frac{R\$}{kWh}} + ERFponta_{kWh} \cdot TarFPonta_{\frac{R\$}{kWh}} \quad (2)$$

### 2.5.3 Demanda em horário fora-ponta

O cálculo de custo mensal da demanda fora de ponta, caso a medida máxima no mês não tenha ultrapassado 5% do valor contratado, é dado a partir da fórmula (3)

$$Dem_{R\$} = DemC_{kW} \cdot Tar_{\frac{R\$}{kW}} \quad (3)$$

Caso haja uma ultrapassagem maior que 5% do valor da demanda contratada, a precificação é dada pela fórmula (4)

$$Dem_{R\$} = DemC_{kW} \cdot Tar_{R\$} + [DemM_{kW} - DemC_{kW}] \cdot 2Tar_{\frac{R\$}{kW}} \quad (4)$$

## 2.5.4 Demanda em horário ponta (caso tarifa azul)

Caso o cliente esteja na modalidade tarifária azul, sua conta possui dois contratos de demanda, e, consequentemente, duas medidas. Um contrato para o horário de ponta e outro para horário fora de ponta. O cálculo de tarifação da demanda é feito da mesma forma que no item anterior, porém, as tarifas geralmente são diferenciadas.

## 2.5.5 Total

A fatura total do cliente é composta pelo somatório das medidas apresentadas anteriormente acrescidas de tributos federais, como PIS/COFINS, tributos estaduais, como o ICMS e tributos municipais.

### 3. Geração Fotovoltaica

#### 3.1. Introdução

A utilização de luz e calor como fonte de energia tem se popularizado muito ao redor do mundo. O Brasil apresenta um grande potencial graças ao seu vasto território e uma alta incidência solar. A Alemanha, país que mais gera energia solar no mundo, possui no local mais benéfico para geração, uma capacidade de aproximadamente 40% menor que o local menos favorável para geração no Brasil.

A descoberta feita por Edmond Becquerel, 1839 observou que duas placas metálicas, mergulhadas em um eletrólito e expostas à luz produziam uma diferença de potencial. Em 1884 foi produzida a primeira célula fotovoltaica, por Charles Fritts, a base de selênio. Sua placa possuía uma eficiência menor que 1%. Ao longo do século XX, houveram diversas pesquisas e estudos que desenvolveram técnicas de produção de células solares, conseguindo melhorar a eficiência. Atualmente, são produzidas utilizando o silício. Atualmente, a aplicação de sistemas fotovoltaicos tem crescido exponencialmente e, segundo o Conselho Mundial de Energia, há uma previsão de que 70% da energia mundial consumida será de origem solar.

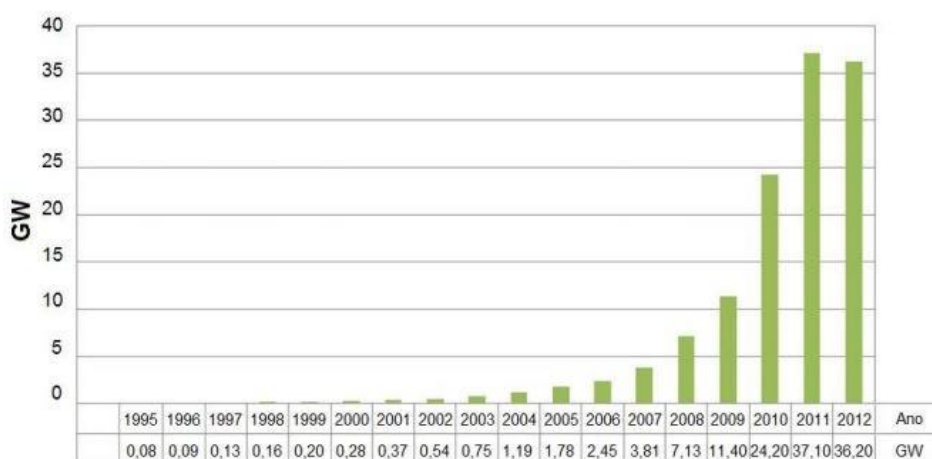


Figura 2 - Produção mundial de células fotovoltaicas;

A utilização desta fonte de energia em locais residências e comerciais no Brasil, apresenta um crescimento expressivo nos últimos anos. Além de ser uma fonte de energia renovável e limpa, a instalação perto da carga permite uma confiabilidade maior no sistema, com baixos custos de manutenção, além de ser mais barata que a energia tradicional.

Em contraponto, o sistema todo requer um alto investimento inicial, dado que os painéis, principalmente, ainda possuem um preço muito elevado. Além disso, o rendimento das placas solares ainda é baixo. Também, por causa da dependência climática, são necessárias técnicas de armazenamento de energia, como baterias, para evitar que estabelecimentos fique sem energia alguma.

#### 3.2. Equipamentos

##### 3.2.1 Painéis fotovoltaicos

###### 3.2.1.1 Efeito fotovoltaico

O efeito fotovoltaico ocorre em materiais de natureza semicondutora. A condutividade de um semicondutor depende da temperatura que o elemento está submetido. O elemento mais utilizado na criação de semicondutores é o silício, que possui quatro elétrons na camada de valência, formando uma rede cristalina, e este é comumente dopado, processo caracterizado pela introdução de impurezas, por elementos de três a cinco átomos na cada de valência. Caso seja dopado com um elemento com três átomos na camada de valência, haverá uma lacuna, sendo caracterizado como um dopante tipo p. Ao

dopar silício com elementos com cinco elétrons na camada de valência, haverá um elétron em excesso, o que caracteriza estes elementos como dopantes tipo n.

Uma junção pn ocorre quando, em uma estrutura de silício puro, forem introduzidos elementos dopantes do tipo p e do tipo n, e nesta junção, os elétrons livres criados no lado n irão preencher as lacunas existentes no lado p, tornando-o negativamente carregado, e consequentemente, deixando o lado n, eletricamente positivo. Esta configuração gera um campo elétrico, que será equilibrado no momento em que os elétrons livres do lado n ficarem barrados.

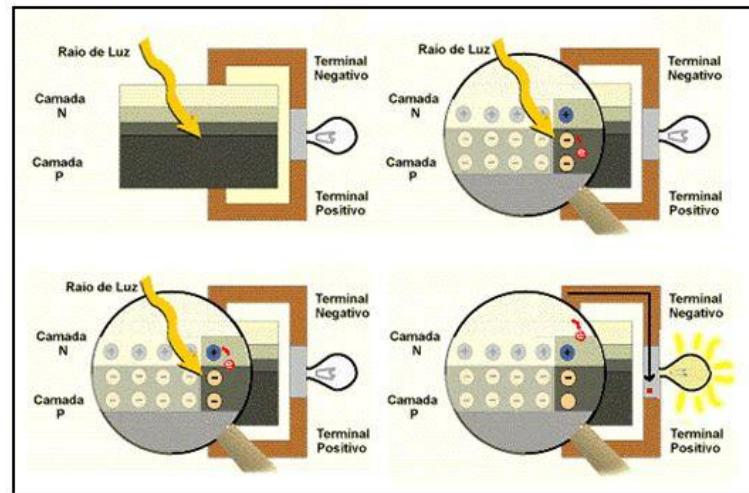


Figura 3 - Efeito fotovoltaico; Fonte: crecesb.com.br

Quando exposta à fótons com uma energia maior que a barreira criada, os elétrons livres se deslocaram gerando pares elétrons-lacunas. Este deslocamento criará uma diferença de potencial, e, caso as duas extremidades sejam conectadas a um fio, haverá uma corrente elétrica. Este processo é denominado efeito fotovoltaico e é a base de funcionamento das células fotovoltaicas.

### 3.2.1.2 Estrutura

A fabricação da estrutura de um módulo fotovoltaico consiste em uma moldura de alumínio, um vidro especial, uma camada de película encapsulante, uma célula solar, outra camada de película, um fundo protetor e a caixa de junção.

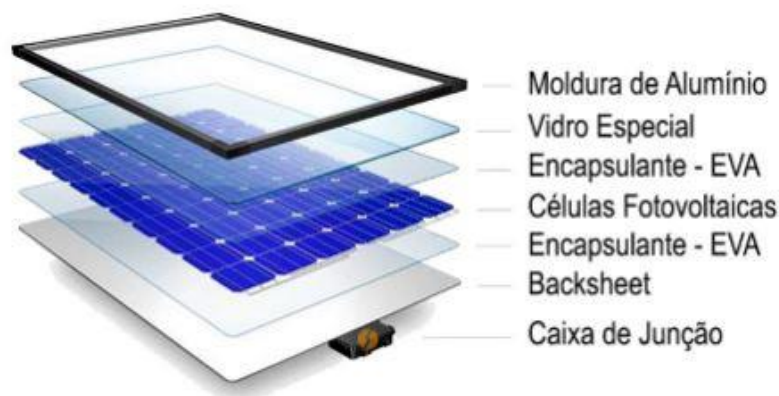


Figura 4 - Estrutura de um painel fotovoltaico; Fonte: portalsolar.

A moldura de alumínio garante robustez ao painel, evitando que a célula solar não sofra danos em condições adversas. Os vidros são desenvolvidos especificamente para a utilização em painéis, de forma a reduzir a reflexão, garantindo uma maior incidência de luz solar. Também possuem a função de proteger o painel em climas de chuva e granizo e representam aproximadamente 10% do custo de fabricação do painel.

A película, conhecida como EVA (*Ethylene Vinyl Acetat*), do inglês, acetato-vinilo de etileno, possui a função de proteger as células dos raios ultravioleta, temperaturas elevadas e umidade, assegurando uma maior vida útil.

Por fim, a caixa de junção é alocada no fundo do painel permitindo a ligação de vários painéis em série. Além disso, a caixa possui diodos que garantem que a corrente faça um caminho único, evitando que haja um fluxo de energia para dentro do painel.

A garantia padrão de um painel, garantida pelos fabricantes, é, em média, de 25 anos. Atualmente, fabricantes garantem uma eficiência de 90% do painel até o décimo segundo ano de uso e 80% até o vigésimo quinto. Porém, estima-se que a longevidade dos equipamentos se dá em torno de 30 a 40 anos, variando com as condições atmosféricas do local bem como o sistema de proteção.

As placas produzidas no Brasil possuem um selo garantido pelo Inmetro, porém, apenas este selo não representa garantia de qualidade. Há uma certificação garantida pela IEC 61215, que realiza diversos testes em laboratório e garante que o painel possui uma qualidade aceitável.

### 3.2.1.3 Célula solar

As células solares são as responsáveis pela conversão da luz solar em energia elétrica. Representam, aproximadamente, 60% do custo total de um painel. Possuem, em média, uma espessura de 1.85mm e são extremamente sensíveis. Atualmente, as células são compostas de silício, diferenciadas pela forma assumida, influenciando no preço, formato e, principalmente, o rendimento da célula. As células mais comuns são feitas de silício policristalino (multi-Si) e silício monocristalino (mono-Si).

O comportamento elétrico de uma célula solar é analisado observando a curva característica da corrente x tensão, que, em geral, é disponibilizada pelo próprio fabricante do painel. Nesta curva, é possível determinar o ponto de potência máxima (MPP). É importante determinar também, duas características importantes do painel, que são a corrente de curto-circuito ( $I_{sc}$ ) – a corrente máxima que a célula pode entregar em condição de tensão e potência nulas – e a tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ) – a tensão máxima que a célula pode entregar em condição de corrente e potência nulas.

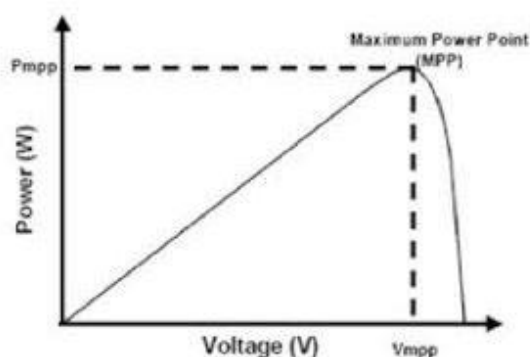


Figura 5 - Curva característica IxV.

Por estarem expostas ao meio, as células solares sofrem variações em suas características elétricas decorrentes das variações de temperatura e radiação. Para uma determinada temperatura, a corrente

elétrica aumenta linearmente com o aumento da radiação. Porém, ao aumentar a temperatura, a tensão da célula diminui significativamente.

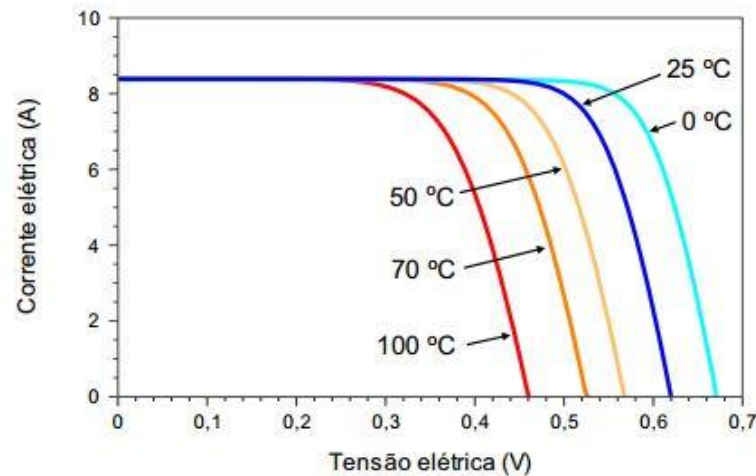


Figura 6 - Influência da temperatura em uma célula fotovoltaica.

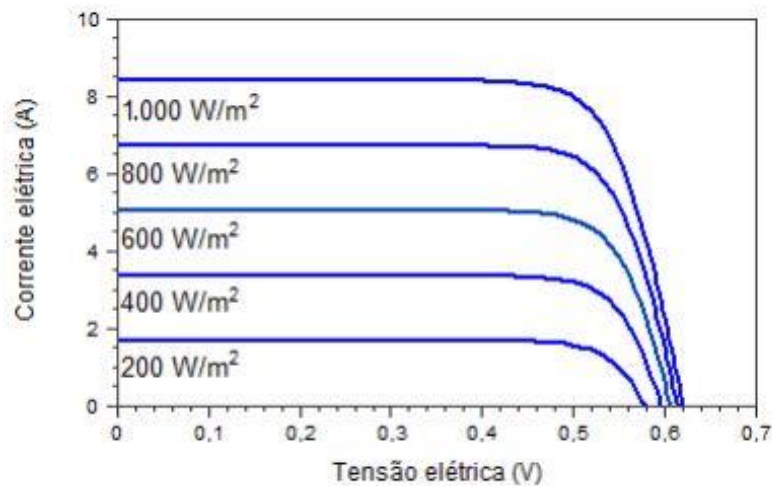


Figura 7 - Influência da radiação em uma célula fotovoltaica.

Em instalações, os módulos são associados de forma mista, ou seja, vários grupos de painéis em série, ligados em paralelo. Cada associação produz um efeito na tensão e corrente dos painéis. Painéis são associados em série quando o terminal negativo de um é ligado ao terminal positivo de outro. Nesta configuração, a tensão é somada e a corrente será limitada pelo painel de menor corrente. Painéis ligados em paralelo possuem seus terminais positivos ligados em comum, assim como os negativos. Nesta configuração, a tensão é comum a todos os painéis e as correntes são somadas.



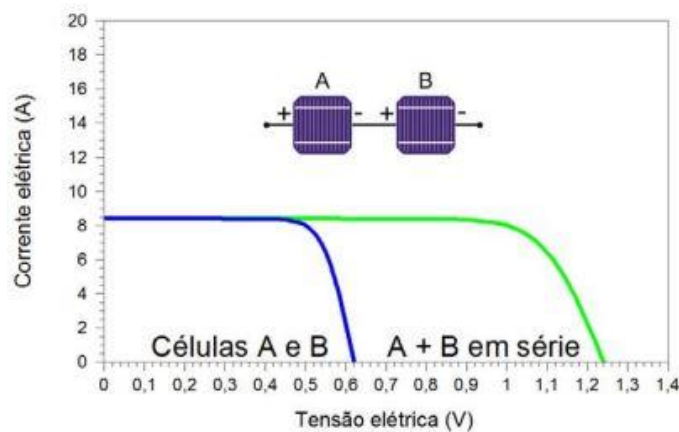


Figura 8 - Comportamento de células associadas em série.

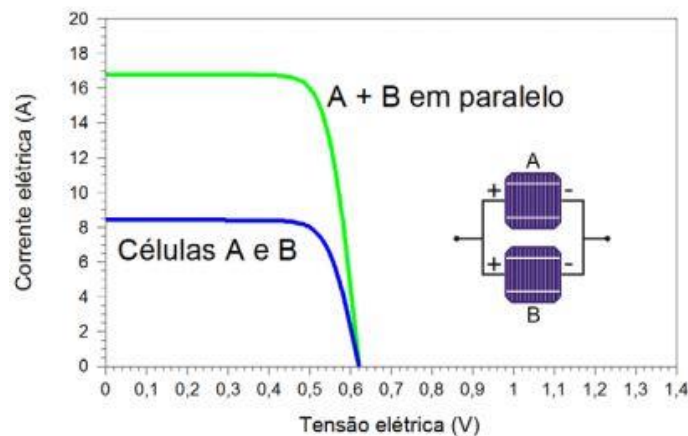


Figura 9 - Comportamento de células associadas em paralelo.

### 3.2.2 Inversor de frequência

A energia utilizada no Brasil possui corrente alternada e uma frequência de 60Hz. Para que a energia gerada pelos painéis seja utilizada dentro da rede, é necessário a utilização de um inversor de frequência. O inversor é o equipamento responsável em transformar corrente contínua em corrente alternada. Ele também auxilia na proteção do sistema, monitorando o fluxo de energia, sendo capaz de detectar falhas.

Estes equipamentos podem ser sem transformador (*transformer-less*), ou possuir um transformador interno. Inversores sem transformador são mais leves, geram menos calor e, geralmente, são mais eficientes, porém, no Brasil, algumas distribuidoras de energias exigem que sejam instalados equipamentos com inversores, dado que são mais robustos.

Também são distinguidos pela forma de conexão. A mais comum é denominada *grid tie*, onde o inversor é conectado a um sistema de geração sem baterias à rede da distribuidora local, possibilitando que a frequência instantânea da rede seja "copiada" para o local. Os inversores *off grid* não são conectados à rede, sendo independentes. Sua utilização é mais comum em áreas isoladas e espaços rurais, onde não há distribuição de energia. Há também o micro inversor, projetado para operar em um painel individual, melhorando a eficiência do sistema como um todo.

O inversor deve possuir um nível mínimo de eficiência de 94% e deve obedecer às recomendações NBR IEC 60529 [6], onde é estabelecido um sistema para classificação dos graus de proteção dos equipamentos elétricos (IP). Para os inversores de frequência, o IP mínimo recomendado é o IP 55.



Não há a possibilidade de aproveitamento da energia gerada por um sistema fotovoltaico sem um inversor de frequência. Por este motivo, faz-se necessário um bom funcionamento de um inversor. Possuem uma garantia de 5 anos, com uma vida útil estimada de 10 a 15 anos, não necessitando de manutenção.

### 3.2.3 Sistema de monitoramento

Para que seja possível medir a quantidade de energia que está sendo gerada por uma instalação, fabricantes, montadoras e empresas terceirizadas também disponibilizam *softwares* que permitem um monitoramento em tempo real. O sistema é conectado ao inversor de frequência ou a um medidor inteligente e as vantagens que cada sistema oferece variam de fabricante para fabricante, porém, em geral, apresentam o consumo total do estabelecimento, a energia gerada pelos painéis e a porcentagem do consumo e da demanda que está se utilizando da geração solar.



Figura 10 - Interface de um sistema de monitoramento; Fonte: Archiexpo.

### 3.2.4 Medidor bidirecional

As instalações elétricas convencionais possuem um medidor unidirecional, ou seja, um medidor que consegue apenas medir o fluxo de energia da distribuidora que está sendo consumido por um local. A função de um medidor bidirecional é permitir que sejam feitas duas medidas, o fluxo de energia ativa da distribuidora para o local e o fluxo de energia ativa do local para a distribuidora. Desta forma, consegue-se calcular no fim do todo mês, a diferença entre a energia injetada na rede e a energia consumida da rede, podendo gerar créditos ao consumidor.

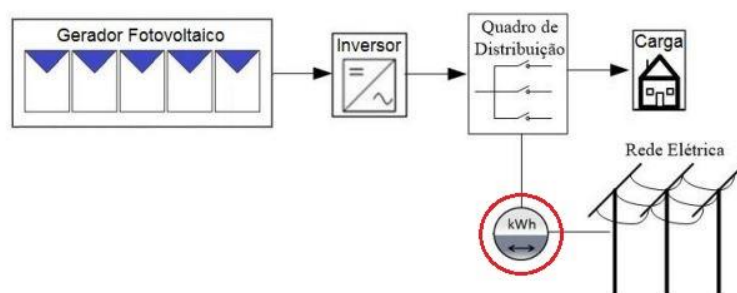


Figura 11 - Utilização de um medidor bidirecional conectado à rede.

Em acordo com a REN 482/2012, ANEEL, faz-se necessária a instalação de medidores bidirecionais em instalações solares, sendo obrigação do consumidor, a solicitação da instalação, e da distribuidora local, o fornecimento e instalação do medidor, a definição do modelo, bem como a manutenção.

Para os consumidores de baixa tensão, existe a possibilidade de instalação de dois medidores unidirecionais, ficando a critério da distribuidora, orientar o consumidor para a melhor alternativa.

### 3.2.5 Bateria

A utilização de baterias acopladas a sistemas de geração solar está cada vez mais comum. Sua utilização é necessária em sistemas *off grid*, para armazenar a energia excedente gerada no período de maior incidência de luz solar, e fornecer energia ao estabelecimento no outro período. O sistema *off grid* possui a vantagem de ser independente e eletricamente autossuficiente. A desvantagem deste sistema é o alto investimento necessário para que haja uma garantia de energia. Esta configuração, em geral, acontece em áreas remotas, onde não há acesso ao sistema de distribuição de energia, acompanhadas de geradores a diesel, reduzindo o custo para armazenar energia e garantindo uma maior confiabilidade. Em sistemas *off grid*, é necessário a utilização de controladores de cargas, que garantem proteção à bateria, de forma que elas não sejam sobrecarregadas ou descarregadas abaixo do nível permitido.

Há a possibilidade de utilização de baterias em sistemas híbridos, ou seja, o sistema continuará conectado à rede, porém, priorizará a utilização da energia armazenada nas baterias. Como maior vantagem, este sistema possibilita o armazenamento que o consumidor desejar, reduzindo o investimento em baterias. Esta configuração, em geral, é utilizada para suprir a demanda de um estabelecimento nos horários de picos das distribuidoras, onde a tarifa de energia é mais cara, possibilitando uma economia maior.

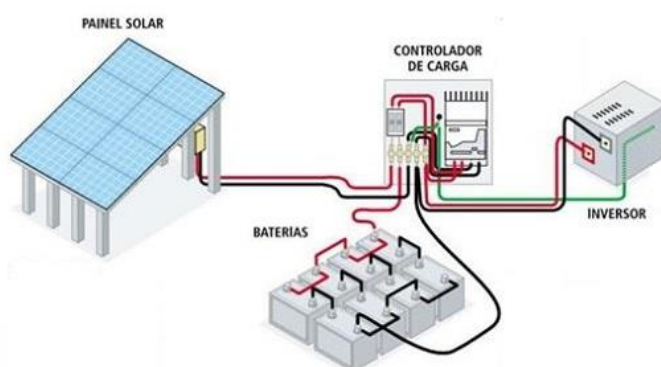


Figura 12 - Utilização de baterias em um sistema isolado.

As baterias podem ser fabricadas de chumbo-ácido, modelo mais antigo no mercado, de menor eficiência e, em geral, muito pesadas, íon de lítio, que, atualmente, é o modelo mais utilizado para armazenamento de energia solar, garante uma eficiência maior. Há também baterias de fluxo, que possuem uma solução à base de água de Zinco-Brometo, porém, atualmente não há fabricação deste modelo no Brasil. As baterias mais utilizadas possuem vida útil de 4 a 12 anos, dependendo das condições de utilização no local.

Para se instalar baterias em um sistema solar, é necessário um inversor especial, que seja capaz de automaticamente detectar o fluxo de energia e direcioná-lo para o consumo, a bateria ou a rede. Porém, já existem no mercado, baterias com um inversor próprio. Para que seja feito um dimensionamento de baterias, primeiro é necessário saber o quanto do consumo de um local será suprido pela bateria nas horas em que não há incidência de luz solar, e, em seguida, ter um perfil detalhado do consumo do local.

### 3.2.6 Equipamentos de proteção

Além dos equipamentos que já garantem uma proteção do sistema elétrico, como os inversores de frequência, os sistemas podem ter equipamentos de segurança que garantem proteção contra surtos atmosféricos. A presença dos dispositivos de proteção contra surtos (DPS), são benéficas pois as placas estão constantemente expostas ao ambiente e uma descarga atmosférica pode danificar ou até inutilizar uma placa.

Os para-raios são considerados a proteção externa primária, e possuem a função de criar um caminho de baixa resistência, de forma a "atrair" o raio e direcioná-lo de forma segura. A instalação de para-raios deve seguir as diretrizes da ABNT 5419/2005. Os para-raios mais utilizados no Brasil são do tipo Franklin, compostos por uma haste metálica onde ficam os captadores e um cabo condutor, isolado, que faz o caminho até a terra.

Os descarregadores de sobretensão possuem a função de limitar a tensão elevada causada por regimes transitórios, de forma a proteger a instalação de painéis. Possuem um funcionamento similar à uma válvula, fechados na presença de uma tensão normal e abrindo ao detectar uma sobretensão, permitindo a descarga da mesma para a terra.

A rede de terra deve ser projetada de forma a dissipar a energia da forma mais rápida e eficiente possível e também deixar todos os equipamentos do sistema equipotenciais. Para uma alta vida útil do sistema, é necessária uma elaboração detalhada desta parte do projeto.

### 3.3. Aplicações comuns

A utilização de placas solares pode ser para diversos fins e, dependendo da utilização, a tecnologia aplicada, bem como o projeto e dimensionamento, são diferentes.

#### 3.3.1 Aquecimento de água

Apesar de se utilizar da mesma fonte, o sol, um sistema para aquecimento de água não utiliza placas fotovoltaicas. Desta forma, não é gerada energia elétrica nesta utilização. Para esta finalidade, são utilizados coletores solares, placas feitas de cobre ou alumínio, pintadas com uma tinta escura, especialmente designada para a captação da radiação solar. O calor gerado pela incidência solar é transferido para os tubos de cobre, nos quais passam água. Esta água é aquecida e direcionada para um reservatório térmico. O reservatório é um recipiente para armazenar a água aquecida e evitar que haja troca de calor, mantendo a temperatura da água aquecida pelo maior tempo possível. A tubulação de água do local é ligada ao reservatório, possibilitando que a água aquecida seja utilizada.

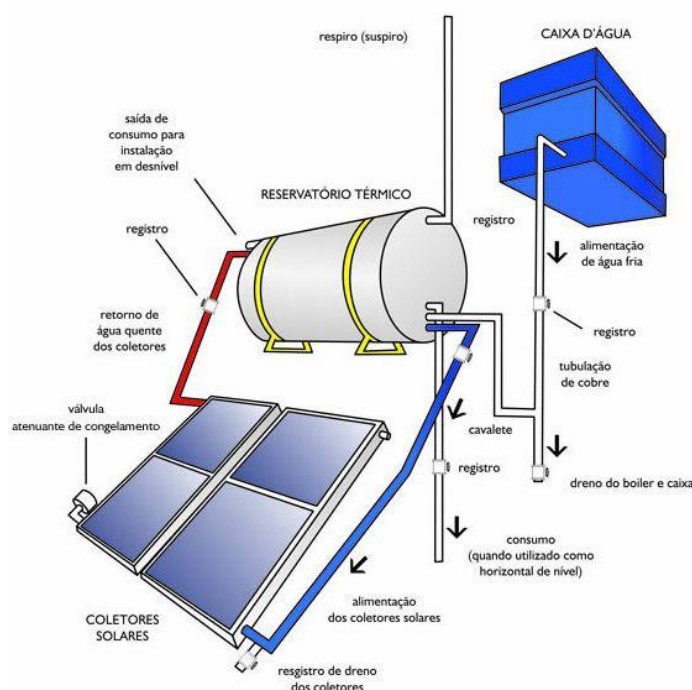


Figura 13 - Sistema de aquecimento de água; Fonte: soletrol.com.br.

### 3.3.2 Geração de energia elétrica

Para que haja geração de energia elétrica, é necessário que sejam utilizadas placas fotovoltaicas. Porém, dependendo da finalidade de sua utilização, o modelo da placa pode variar, incluindo a tensão de saída, potência e dimensões.

#### 3.3.2.1 Sistemas isolados

Como sistemas isolados, por definição, não estão conectados à rede, não é necessário que haja uma conversão de tensão e frequência para a mesma de um sistema de distribuição local. Porém, a ANEEL, em sua resolução normativa RN 493/2012, exige que o fornecimento de energia deve ser dado em corrente alternada senoidal e nível de tensão igual ao nível predominante no município localizado.

Um sistema isolado pode ser constituído de um grupo de painéis fotovoltaicos para gerar a energia, baterias para que haja um armazenamento de energia e utilização em períodos sem incidência solar e, um controlador de carga, de modo a evitar que haja sobrecarga ou descarga além de níveis aceitáveis da bateria.

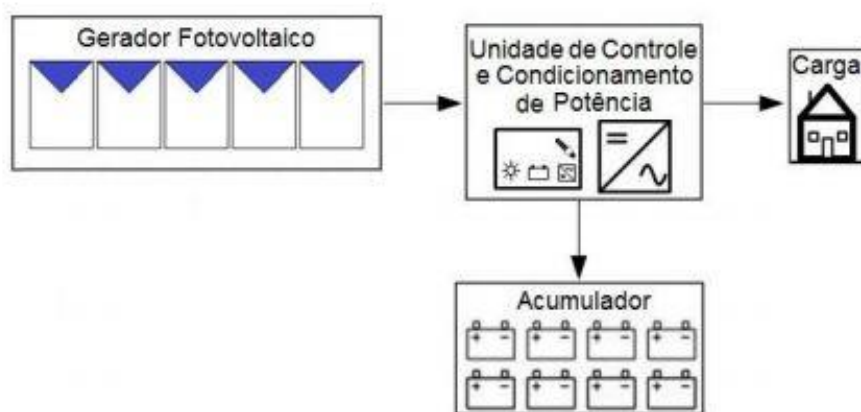


Figura 14 - Esquema de um sistema *off-grid*; Fonte: Manual de engenharia FV – Cepel.

#### 3.3.2.2 Sistemas para bombeamento de água

Uma aplicação comum para a utilização de painéis fotovoltaicos ocorre em bombeamento de água. Este sistema é composto por um grupo de painéis fotovoltaicos para gerar energia, um conjunto de bombas e um sistema de controle e condicionamento de potência, em geral, um inversor de frequência.

A realocação da água, suja ou limpa, é uma atividade comum em diversos locais, e, para isto, são utilizadas bombas d'água. Em certas atividades fins de um local, como atividades agropecuárias, o consumo de energia proveniente das bombas pode representar uma parcela alta do consumo total e, a utilização de painéis fotovoltaicos em esta situação gera economia para o consumidor.

#### 3.3.2.3 Sistemas conectados à rede

Os sistemas de geração fotovoltaica conectados à rede representam a maior parcela de aplicação dos painéis solares e tem sua utilização sendo cada vez mais comum no mundo. Podem ser utilizados em residências, com baixa potência instalada de geração, em ordem de poucos kWp, até locais maiores, como centros comerciais, com potência instalada na ordem de alguns MWp.

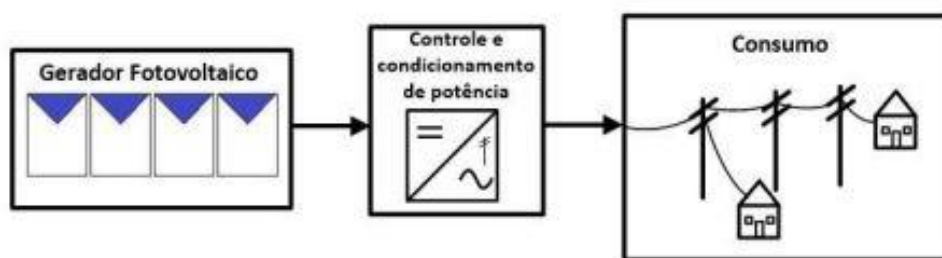


Figura 15- Esquema de um sistema *grid-tie*; Fonte: Manual de engenharia FV – Cepel.

Por estarem conectados à rede, torna-se desnecessária a utilização de baterias para armazenar cargas excedentes de geração, tendo seu uso opcional. A forma de compensação de energia pode ser combinada diretamente com a distribuidora local, sendo necessário a instalação de um medidor bidirecional, que é capaz de medir o fluxo de energia nos dois sentidos, do local para a distribuidora e vice-versa. Porém, pelo mesmo motivo deste sistema estar ligado à rede, é necessário que seja instalado um inversor de frequência, para que a energia gerada pelos painéis seja adequada ao sistema de distribuição local.

### 3.4. Sistema de compensação de energia

Além da vantagem de reduzir a necessidade de se utilizar da energia proveniente das distribuidoras, os locais que possuem um grupo de geração fotovoltaica ligados à rede, podem injetar a energia ativa gerada excedente no sistema da distribuidora, gerando um crédito. Este crédito pode ser consumido posteriormente pelo mesmo local, ou por qualquer outra localidade, desde que esteja com a inscrição feita no mesmo cadastro de pessoa física (CPF), ou cadastro de pessoa jurídica (CNPJ).

A resolução normativa RN 482/2012 da ANEEL criou normas que regulamentaram o sistema de compensação de energia, definindo quais consumidores poderiam aderir ao sistema, o tempo de validade do crédito, bem como a forma de faturamento. Estas regras foram, posteriormente, alteradas pela RN 687/2015, e ficou-se estabelecido que podem aderir ao sistema os consumidores responsáveis por unidades consumidoras: I – Com microgeração ou minigeração distribuída; II – Integrante de empreendimento de múltiplas unidades consumidoras; III – Caracterizada como geração compartilhada; IV – Caracterizada como autoconsumo remoto. Sendo vedada a aplicação deste sistema para consumidores livres ou especiais.

O crédito garantido pela distribuidora, em quantidade de energia, ficará disponível para consumo do proprietário durante 60 meses. No caso do faturamento, deverá ser cobrado do consumidor um valor mínimo, referente ao custo de disponibilidade do sistema para os consumidores do grupo B, ou da demanda contratada para os consumidores do grupo A. O excedente de energia é a diferença positiva entre a energia injetada na rede e a energia consumida.

### 3.5. Implementação de um sistema fotovoltaico conectado à rede

Para projetar um sistema fotovoltaico, é necessário determinar algumas premissas, com o intuito de adequar o projeto às necessidades desejadas. Determinar as necessidades do projeto, bem como a arquitetura do sistema é crucial, pois definirá quais equipamentos serão utilizados e qual será o dimensionamento de cada um.

Neste caso, será considerado a implementação de um sistema fotovoltaico ligado à rede, voltado para prédios comerciais.



## 3.5.1 Características do Local

### 3.5.1.1 Localização geográfica

A primeira fase do projeto visa determinar o local adequado para a implementação. A escolha do local em que os painéis serão instalados é crucial para a eficiência de geração, pois deve-se levar em consideração aspectos como a área total disponível, presença de objetos que causem sombras ao local, presença de superfícies reflexivas e a troca de calor com o ambiente neste local. Em áreas urbanas, onde a maioria dos estabelecimentos comerciais se encontram, geralmente há menos opções de espaço para instalação, limitando o projeto a uma instalação do tipo *rooftop* (de telhado).

Outro aspecto importante sobre a localização geográfica é o índice de radiação solar. É desejável que se quantifique a radiação solar incidente nos painéis para que seja feito um dimensionamento correto dos mesmos. O período de claridade em um dia pode variar de 0 a 24 horas, dependendo da região e período do ano. No Brasil, por ser próximo à linha do Equador, não se observa grandes variações do período de claridade num dia ao longo de um ano.

### 3.5.1.2 Consumo e demanda de energia

Outro aspecto importante para o melhor dimensionamento do projeto é o conhecimento detalhado do consumo e da demanda de energia do local. Como este projeto considera um consumidor comercial do grupo de tensão A, ligado à rede, é recomendado que sejam observadas as contas de energias vindas da distribuidora de um período de 3 anos. Desta forma, ao traçar as curvas de carga e demanda, é possível estabelecer um consumo médio mensal, em kWh, uma demanda média mensal, em kW, bem como detectar sazonalidades.

## 3.5.2 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

Por ser o maior responsável pela geração de energia, o dimensionamento correto dos painéis fotovoltaicos é a parte determinante do projeto em termos de potência entregue. Para isto, primeiro determina-se o quanto do consumo proveniente da rede distribuidora será substituído pela geração local. Este valor pode ser limitado pela área total disponível para a instalação bem como os índices de incidência solar no local.

Em seguida, deve ser determinado o tipo de material que constitui a célula dos módulos fotovoltaicos, ou seja, silício monocristalino, policristalino, amorfo, disseleneto de cobre e índio e telureto de cádmio. Cada material influencia no rendimento dos painéis, sendo descrita no manual proveniente do fabricante. É recomendável que sejam instalados painéis de características semelhantes, não misturando painéis de tensão e corrente nominal diferentes.

Material da célula solar	Eficiência da célula		
	Laboratório	Produção	Produção em série
Silício Monocristalino	24%	19%	16%
Silício Policristalino	19%	15%	13%
Silício Amorfo	15%	10%	8%
Disseleneto de Cobre e Índio	18%	14%	10%
Telureto de Cádmio	16%	10%	9%

Tabela 1- Eficiência média de células fotovoltaicas; Fonte: Greenpro.

Tendo os dados físicos, como a área disponível e elementos que podem ocasionar perdas, como sombreamento, além dos dados geográficos e meteorológicos do local, é possível estimar a energia máxima que pode ser gerada no local, descrita pela fórmula (5).

$$E_{estimada}^{mensal} = A \cdot \eta_r \cdot K_t \cdot I \cdot n \quad (5)$$

Onde:

A – Área do painel (m<sup>2</sup>);

$\eta_r$  – Rendimento do painel, em função da temperatura (%);

$K_t$  – Fator de correção da temperatura;

I – Radiação solar incidente (kWh/m<sup>2</sup>.dia)

n - dias do mês.

Sendo  $K_t$  e  $\eta_r$  descritos pelas fórmulas (6) e (7).

$$K_t = [1 - Coef_{temp} (T_{local} - 25^{\circ}C)] \quad (6)$$

$$\eta_r = \eta_{nom} \cdot K_t \quad (7)$$

Onde:

$Coef_{temp}$  = Coeficiente  $\frac{dV_{ca}}{dT}$  (%/°C);

$T_{local}$  = Temperatura média do local;

$\eta_{nom}$  = Rendimento de placa do painel.

Determinado o tipo de painel que será utilizado e a geração estimada, é necessário determinar a forma como eles serão associados. Atualmente, a forma mais comum de associação é de forma mista, ou seja, ligando fileiras de painéis em série, em paralelo, e conectando todos a um único inversor de frequência. Porém, existe a opção de dividir o total de painéis em subconjuntos e cada conjunto ter um inversor próprio. Esta configuração permite uma adaptação mais adequada da potência às condições de irradiação solar. Além disso, é preciso determinar a orientação e ângulo de inclinação dos painéis. No hemisfério sul, é aconselhado que os painéis sejam orientados para o norte e com angulação semelhante a latitude do local. No caso do Rio de Janeiro, 22° de inclinação.

Outro equipamento necessário para uma instalação de painéis fotovoltaicos ligados à rede é o inversor de frequência. Seu dimensionamento depende da potência total instalada. É recomendável que a potência do inversor seja maior que 70% da potência total dos painéis, não havendo a necessidade de superar 120% desta potência, apenas em casos que há um planejamento de expansão do sistema gerador em um curto prazo.

Como o valor da tensão do sistema é a soma dos módulos em série, é necessário que seja feito um dimensionamento correto da quantidade mínima e máxima de módulos associados em série, para que o sistema esteja dentro da faixa de tensão de operação do inversor. A tensão máxima ocorre em condições de baixa temperatura, geralmente no inverno, no período da madrugada. Desta forma, o número máximo de painéis solares fica limitado pela fórmula (8). Ao mesmo tempo, o número mínimo de módulos associados em série é limitado pela tensão mínima dos painéis, que ocorre em altas temperaturas, e pode ser descrito pela fórmula (9). Geralmente, utiliza-se a tensão máxima dos módulos à 70°C.

$$N_{\text{série}}^{\text{máx}} < \frac{V_{i_{\text{máx}}}}{V_{m_{oc}}^{T_{\text{mín}}}} \quad (8)$$

$$N_{\text{série}}^{\text{mín}} > \frac{V_{i_{\text{mín}}}}{V_{m_{\text{máx}}}^{T=70^{\circ}\text{C}}} \quad (9)$$

Em contrapartida, o número máximo de fileiras associadas em paralelo será limitado pela corrente que o sistema terá que gerar. Esta corrente pode ser determinada pela fórmula (10). O número máximo de fileiras em paralelo resulta do quociente entre a corrente nominal do inversor e a corrente máxima dos módulos associados em série, descrito na fórmula (11).

$$I_{FV} = \frac{P_i}{V_i} \quad (10)$$

$$N_{\text{paralelo}}^{\text{máx}} < \frac{I_{FV}}{I_{m_{\text{máx}}}} \quad (11)$$

Outro aspecto importante no projeto, é o dimensionamento correto da seção transversal dos cabos utilizados. Um mal dimensionamento destes pode provocar quedas de tensão indesejadas ou superaquecimento e queima dos próprios. Em um sistema fotovoltaico, utilizam-se três grupos de cabos. O primeiro é designado por cabos de fileira, que são os cabos que ligam os módulos fotovoltaicos individuais a caixa de junção do gerador. O segundo é chamado de cabo principal DC, que estabelece a conexão entre a caixa de junção do gerador e o inversor de frequência. O último é chamado de cabo de ramal AC, que faz a ligação entre o inversor de frequência e a rede, através de equipamentos de proteção. Para o dimensionamento correto, é necessário determinar de antemão a queda de tensão máxima desejada para o sistema. A fórmula (12) indica a seção mínima necessária para os cabos, sendo o escolhido, o primeiro valor superior disponível no mercado (1.5; 2.5; 4; 6; 10; 16; 25; 35) mm<sup>2</sup>.

$$S = \frac{\rho \cdot d \cdot I}{\Delta V} \quad (12)$$

Onde:

S – Seção transversal do cabo, em mm<sup>2</sup>;

$\rho$  – Resistividade do material do condutor, em ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ). Geralmente cobre;

I – Corrente que passa pelo condutor, em Ampères (A);

$\Delta V$  – Queda de tensão máxima desejada, em Volts (V).

### 3.5.3 Projeto básico

A apresentação de um projeto não fica limitada apenas pelo dimensionamento do projeto. A lei 8.666, de 2013, diferencia um projeto básico de um projeto executivo. Um projeto básico reúne todos os elementos necessários e utilizados que definem a obra, descrevendo-os com precisão adequada, atendendo premissas que assegurem um tratamento ambiental do empreendimento, bem como a viabilidade econômica. O projeto básico deve conter desenhos, como diagramas ou plantas, uma descrição detalhada do local, justificativas e cálculos realizados para o dimensionamento do projeto, orçamento e cronograma.



## 3.5.4 Projeto executivo

O projeto executivo consiste numa etapa posterior ao projeto básico, porém, antes de se iniciar a obra. Consiste no conjunto de elementos necessários e suficientes para a execução completa da obra, de acordo com as normas e legislações vigentes. Este projeto é muito mais detalhado, pois serve como base para a execução do projeto, desta forma, deve apresentar plantas e diagramas detalhados de todas as estruturas e circuitos do local, cálculos detalhados do sistema de geração, de proteção, aterramento, estruturais e suporte da parte civil. Também deve se listar todos os equipamentos utilizados, descrevendo os fabricantes, modelos e normas de certificação, catálogos e manuais, quando existentes. Além disso, é recomendável que seja apresentado um cronograma detalhado da execução do projeto.

## 4. Consumidor Comercial

A resolução normativa da ANEEL RN414/2010 dispõe que a distribuidora deve classificar a unidade consumidora de acordo com a atividade fim nela exercida, bem como a finalidade de utilização da energia elétrica. Determina-se que classe comercial se caracteriza pelo fornecimento de energia para estabelecimentos que pratiquem atividades comerciais, serviços de transporte, serviços de comunicação e telecomunicação, associação e entidades filantrópicas, templos religiosos, administração condominial, iluminação em rodovias, semáforos, radares e câmeras de monitoramento.

Para o propósito deste estudo, será considerado prédios em que se praticam atividades comerciais, alimentados por alta tensão, sendo tarifados por demanda e consumo, tendo a opção de tarifação entre as modalidades verde, caracterizada pela diferenciação da tarifa de consumo em horário de ponta e fora de ponta, com uma tarifa única para a demanda, e azul, caracterizada pela diferenciação da tarifa de consumo em horário de ponta de fora de ponta e demanda, sendo necessário um contrato de demanda para horário fora de ponta e uma demanda pra horário de ponta.

### 4.1. Consumo

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) realiza ao final de um ano, um relatório denominado Anuário Estatístico de Energia Elétrica, com o ano anterior de linha de base. Neste relatório, são apresentados os dados relacionados ao consumo de energia elétrica em todo o sistema interligado nacional. Destaca-se que, neste relatório não são incluídos dados de geração e consumo de agentes autoprodutores de energia. As tabelas (2) e (3) apresentam o consumo total, em GWh, do setor comercial e o número de consumidores classificados como comercial nos anos de 2011 até 2015, por região e estado.

Por conta da complexidade dos cálculos, neste caso, não serão feitas projeções de aumento de carga mensal, considerando apenas a média do consumo de energia anual sobre o número total de unidades consumidoras. Na região sudeste, obtém-se um consumo médio mensal de 2.227,92 kWh/mês.

	2011	2012	2013	2014	2015	Δ% (2015/2014)	Part. % (2015)	
<b>Brasil</b>	<b>73.482</b>	<b>79.226</b>	<b>83.704</b>	<b>89.840</b>	<b>90.893</b>	<b>1,2</b>	<b>100</b>	<b>Brazil</b>
<b>Norte</b>	<b>3.717</b>	<b>4.143</b>	<b>4.431</b>	<b>4.723</b>	<b>5.067</b>	<b>7,3</b>	<b>5,6</b>	<b>North</b>
Rondônia	527	603	606	642	653	1,8	12,9	Rondônia
Acre	161	191	193	224	359	59,9	7,1	Acre
Amazonas	1.010	1.180	1.236	1.310	1.378	5,2	27,2	Amazonas
Roraima	129	148	156	175	201	14,4	4,0	Roraima
Pará	1.384	1.467	1.627	1.719	1.785	3,8	35,2	Pará
Amapá	193	216	238	255	273	6,9	5,4	Amapá
Tocantins	312	338	375	397	419	5,5	8,3	Tocantins
<b>Nordeste</b>	<b>10.762</b>	<b>11.621</b>	<b>12.659</b>	<b>13.508</b>	<b>14.098</b>	<b>4,4</b>	<b>15,5</b>	<b>Northeast</b>
Maranhão	873	960	1.062	1.183	1.237	4,5	8,8	Maranhão
Piauí	491	572	618	668	717	7,2	5,1	Piauí
Ceará	1.712	1.883	2.043	2.183	2.254	3,3	16,0	Ceará
Rio G. do Norte	879	922	998	1.067	1.089	2,1	7,7	Rio G. do Norte
Paraíba	694	754	826	886	921	3,9	6,5	Paraíba
Pernambuco	2.166	2.330	2.548	2.717	2.877	5,9	20,4	Pernambuco
Alagoas	572	645	700	752	754	0,3	5,4	Alagoas
Bahia	479	520	557	585	594	1,7	4,2	Bahia
Sergipe	2.897	3.034	3.307	3.468	3.656	5,4	25,9	Sergipe
<b>Sudeste</b>	<b>40.466</b>	<b>43.312</b>	<b>45.629</b>	<b>48.980</b>	<b>49.223</b>	<b>0,5</b>	<b>54,2</b>	<b>Southeast</b>
São Paulo	24.253	25.871	27.263	29.595	29.350	-0,8	59,6	São Paulo
Minas Gerais	5.765	6.168	6.495	6.852	6.841	-0,2	13,9	Minas Gerais
Espírito Santo	1.473	1.619	1.707	1.805	1.847	2,4	3,8	Espírito Santo
Rio de Janeiro	8.975	9.654	10.164	10.729	11.185	4,2	22,7	Rio de Janeiro
<b>Sul</b>	<b>12.640</b>	<b>13.741</b>	<b>14.180</b>	<b>15.402</b>	<b>15.159</b>	<b>-1,6</b>	<b>16,7</b>	<b>South</b>
Paraná	4.912	5.262	5.494	5.953	5.997	0,7	39,6	Paraná
Santa Catarina	3.125	3.507	3.646	3.993	3.931	-1,6	25,9	Santa Catarina
Rio G. do Sul	4.603	4.972	5.040	5.457	5.231	-4,1	34,5	Rio G. do Sul
<b>Centro-Oeste</b>	<b>5.896</b>	<b>6.410</b>	<b>6.805</b>	<b>7.227</b>	<b>7.346</b>	<b>1,6</b>	<b>8,1</b>	<b>Midwest</b>
Mato G. do Sul	903	1.015	1.077	1.194	1.219	2,1	16,6	Mato G. do Sul
Mato Grosso	1.256	1.368	1.503	1.614	1.671	3,5	22,7	Mato Grosso
Goiás	1.903	2.103	2.208	2.323	2.362	1,7	32,2	Goiás
DF	1.834	1.925	2.016	2.096	2.093	-0,1	28,5	DF

Tabela 2 - Consumo, em GWh, do setor comercial; Fonte: Anuário estatístico 2016 – EPE.

	2011	2012	2013	2014	2015	Δ% (2015/2014)	Part. % (2015)	
<b>Brasil</b>	<b>5.120.188</b>	<b>5.270.878</b>	<b>5.444.646</b>	<b>5.565.717</b>	<b>5.544.641</b>	<b>-0,4</b>	<b>100</b>	<b>Brazil</b>
<b>Norte</b>	<b>318.563</b>	<b>331.244</b>	<b>345.937</b>	<b>333.589</b>	<b>344.036</b>	<b>3,1</b>	<b>6,2</b>	<b>North</b>
Rondônia	36.868	38.258	38.382	39.141	39.168	0,1	11,4	Rondônia
Acre	17.266	18.019	18.911	19.625	20.016	2,0	5,8	Acre
Amazonas	65.964	67.098	70.185	46.390	47.226	1,8	13,7	Amazonas
Roraima	10.247	11.028	11.134	11.532	11.763	2,0	3,4	Roraima
Pará	139.837	146.165	153.641	161.422	168.501	4,4	49,0	Pará
Amapá	15.159	15.814	16.771	17.100	18.258	6,8	5,3	Amapá
Tocantins	33.222	34.862	36.913	38.379	39.104	1,9	11,4	Tocantins
<b>Nordeste</b>	<b>1.152.105</b>	<b>1.180.963</b>	<b>1.218.208</b>	<b>1.187.051</b>	<b>1.234.337</b>	<b>4,0</b>	<b>22,3</b>	<b>Northeast</b>
Maranhão	126.542	129.185	134.985	146.021	151.361	3,7	12,3	Maranhão
Piauí	74.566	77.547	80.129	83.476	86.158	3,2	7,0	Piauí
Ceará	164.484	168.631	173.382	176.549	176.671	0,1	14,3	Ceará
Rio G. do Norte	76.488	78.336	81.641	85.895	88.866	3,5	7,2	Rio G. do Norte
Paraíba	101.159	102.860	105.844	26.924	26.648	-1,0	2,2	Paraíba
Pernambuco	197.723	200.804	203.306	215.501	227.862	5,7	18,5	Pernambuco
Alagoas	52.220	56.412	57.735	59.215	60.405	2,0	4,9	Alagoas
Sergipe	45.019	46.254	48.282	43.059	43.524	1,1	3,5	Sergipe
Bahia	313.904	320.934	332.904	350.411	372.842	6,4	30,2	Bahia
<b>Sudeste</b>	<b>2.285.281</b>	<b>2.362.529</b>	<b>2.449.847</b>	<b>2.175.299</b>	<b>2.072.626</b>	<b>-4,7</b>	<b>37,4</b>	<b>Southeast</b>
São Paulo	1.019.570	1.039.930	1.096.823	1.091.401	1.136.815	4,2	54,8	São Paulo
Minas Gerais	714.209	735.488	754.863	767.069	761.758	-0,7	36,8	Minas Gerais
Espírito Santo	118.598	121.051	124.832	127.869	129.168	1,0	6,2	Espírito Santo
Rio de Janeiro	432.904	466.060	473.329	188.960	44.885	-76,2	2,2	Rio de Janeiro
<b>Sul</b>	<b>887.572</b>	<b>907.865</b>	<b>933.310</b>	<b>1.363.051</b>	<b>1.383.317</b>	<b>1,5</b>	<b>24,9</b>	<b>South</b>
Paraná	328.397	336.147	347.663	385.258	393.502	2,1	28,4	Paraná
Santa Catarina	217.886	226.874	235.929	568.665	579.731	1,9	41,9	Santa Catarina
Rio G. do Sul	341.289	344.844	349.718	409.128	410.084	0,2	29,6	Rio G. do Sul
<b>Centro-Oeste</b>	<b>476.667</b>	<b>488.277</b>	<b>497.344</b>	<b>506.727</b>	<b>510.325</b>	<b>0,7</b>	<b>9,2</b>	<b>Midwest</b>
Mato G. do Sul	72.448	76.482	78.754	80.430	81.903	1,8	16,0	Mato G. do Sul
Mato Grosso	82.730	86.239	90.332	94.255	94.591	0,4	18,5	Mato Grosso
Goiás	220.587	223.048	223.304	225.377	225.180	-0,1	44,1	Goiás
DF	100.902	102.508	104.954	106.665	108.651	1,9	21,3	DF

Tabela 3 – Número de consumidores do setor comercial; Fonte: Anuário estatístico 2016 – EPE.

## 4.2. Projeto de geração

### 4.2.1 Dimensionamento

Para este caso, será considerada apenas a aquisição de painéis solares e inversores de frequência, excluindo outros equipamentos como baterias ou sistemas de monitoramento. Dentro das diversas opções, as tabelas (4) e (5) demonstram os modelos de painéis solares e inversores de frequência, respectivamente, analisados para o dimensionamento deste caso. Além disso, foram considerados dados históricos de temperatura e incidência de radiação solar na cidade do Rio de Janeiro dos últimos anos.

Modelo	Marca	Tipo	Potência	Tolerância	$\eta$ (%)	Área (m <sup>2</sup> )	V <sub>max</sub>	I <sub>mpp</sub>	V <sub>oc</sub>	I <sub>sc</sub>	Coef	Preço Unt
Komaes KM50	Komaes	Poli-Si	50	±5%	11,81	0,383	17,74	2,84	21,56	3,04	0,05	R\$ 219,00
Komaes KM85	Komaes	Poli-Si	85	±5%	12,76	0,639	18,1	4,7	21,63	5,1	0,05	R\$ 349,00
Yingli YL060P	Yingli	Poli-Si	60	±5%	14,4	0,416	18,5	3,25	22,9	3,44	0,06	R\$ 249,00
Yingli YL095P	Yingli	Poli-Si	95	±5%	14,3	0,667	18,18	5,23	22,5	5,59	0,06	R\$ 369,00
Yingli Solar YL150P	Yingli	Poli-Si	150	±5%	15	1,000	18,5	8,12	22,9	8,61	0,06	R\$ 399,00
Yingli YL275D	Yingli	Poli-Si	275	±5%	17,9	1,624	31,9	9,08	39,9	9,45	0,05	R\$ 749,00
GCL-P6/60 270Wp	GCL	Poli-Si	270	±5%	16,6	1,627	31,2	8,65	38,3	9,29	0,04	R\$ 599,00
GCL-P6/72 325Wp	GCL	Poli-Si	325	±5%	16,7	1,949	37,6	8,64	46,0	9,24	0,04	R\$ 719,00
CSI CS6P-255P	Canadian	Poli-Si	255	±5%	15,85	1,609	30,2	8,43	37,4	9,0	0,065	R\$ 700,00
CS6U-330P	Canadian	Poli-Si	330	±5%	16,97	1,944	37,2	8,88	45,6	9,5	0,056	R\$ 759,00
GBR-260P	Globo Brasil	Poli-Si	265	±5%	16,4	1,624	30,65	8,65	37,9	9,2	0,065	R\$ 859,00
JKM-315	Jinko	Poli-Si	315	±5%	16,23	1,940	37,2	8,48	46,2	9,0	0,06	R\$ 698,00

Tabela 4 - Modelos de painéis fotovoltaicos.

Modelo	Marca	Potência	V <sub>min</sub>	V <sub>máx</sub>	I <sub>máx</sub>	$\eta$ (%)	Preço
Galvo 1.5-1	Fronius	1,5	120	420	13,3	95,9	R\$ 4.914,00
Galvo 2.0-1	Fronius	2,0	120	420	17,8	96,0	R\$ 5.034,00
Galvo 2.5-1	Fronius	2,5	165	550	16,6	96,1	R\$ 5.154,00
Galvo 3.0-1	Fronius	3,0	165	550	19,8	96,1	R\$ 5.274,00
Primo 3.0-1	Fronius	3,0	80	1000	12,0	97,9	R\$ 8.390,00
Primo 4.0-1	Fronius	4,0	80	1000	12,0	98,0	R\$ 9.290,00
Primo 5.0-1	Fronius	5,0	80	1000	12,0	98,0	R\$ 10.290,00
SB 1600TL-10	Sunny Boy	1,6	125	400	12	96	R\$ 6.890,00
SB 2100TL	Sunny Boy	2,2	125	400	12	96	R\$ 5.390,00
SB 2500TLST-21	Sunny Boy	2,5	125	750	12	97	R\$ 6.990,00
SB 3000TL-21	Sunny Boy	3	125	750	12	96	R\$ 10.490,00
SMA 3300	Sunny Boy	3,3	200	500	20	95,2	R\$ 7.990,00
SB 3600TL-21	Sunny Boy	3,6	125	750	12	97	R\$ 11.890,00
SB 4000TL-21	Sunny Boy	4	125	750	12	97	R\$ 11.390,00
SB 5000TL-21	Sunny Boy	4,6	125	750	12	97	R\$ 13.490,00

Tabela 5 - Modelos de inversores de frequência.

Para suprir um consumo mensal médio de 2.227,92 kWh, será dimensionado a utilização de cinquenta e oito painéis fotovoltaicos idênticos, do modelo CS6U-330P, da empresa Canadian, de área total de 1,944m<sup>2</sup>. Para suprir esta potência, será necessário a utilização de três inversores de frequência modelo Galvo 3.0-1, da fabricante Fronius. Cada inversor deverá ser conectado à, no máximo, vinte e quatro painéis, sendo duas fileiras em paralelo de nove a onze painéis ligados em série. Apenas os painéis ocuparão uma área total de 113m<sup>2</sup>, sendo necessário um espaço maior para a instalação dos inversores e do restante da estrutura.



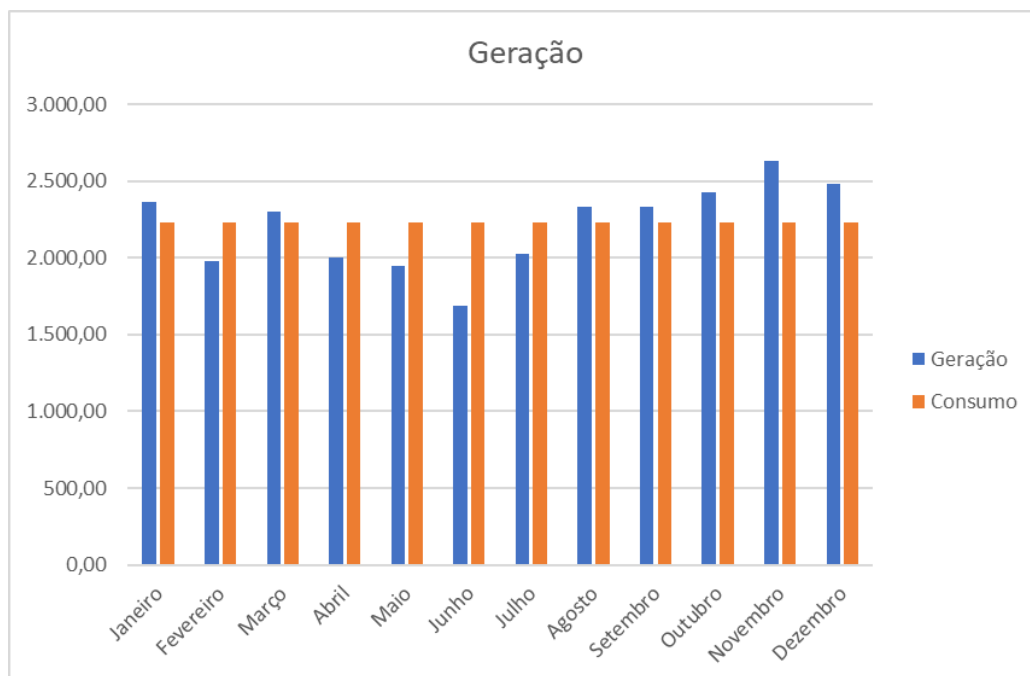


Figura 16 – Geração estimada e consumo médio de um consumidor comercial.

## 4.2.2 Análise do investimento

Para analisar a viabilidade deste investimento, serão considerados três cenários de financiamento. O primeiro aspecto a ser analisado é o investimento inicial que deve ser feito pelo contratante. O investimento inicial, neste caso, consiste da aquisição de cinquenta e oito painéis solares, multiplicados pelos seus valores unitários, desconsiderando qualquer possibilidade de redução de preço em caso de aquisição em larga escala. Adiciona-se também a soma do valor de três vezes o número de inversores de frequência utilizados, já levando em consideração a vida útil do equipamento e a necessidade de reposição a cada dez anos, além dos custos de projeto, instalações e mão de obra.

Investimento Inicial	Valor unt.	Quantidade	Valor Total
Painéis Solares	R\$ 759,00	58	R\$ 44.022,00
Inversor de Frequência	R\$ 5.274,00	6	R\$ 31.644,00
Instalação	R\$ 5.000,00	1	R\$ 5.000,00
Mão de obra	R\$ 5.000,00	1	R\$ 5.000,00
Projeto	R\$ 1.500,00	1	R\$ 1.500,00
Investimento Inicial Total			R\$ 87.166,00

Tabela 6 - Investimento inicial para um consumidor comercial.

Com um investimento inicial de R\$87.166,00, serão analisadas três formas de parcelamento deste investimento. A primeira analisará o fluxo de caixa e tempo de retorno do projeto caso o investimento seja inteiramente quitado em uma parcela. A segunda, analisará a influência do parcelamento do investimento ao longo de 12 meses (1 ano) e a terceira, para um parcelamento de 36 meses (3 anos). Para os três casos, serão utilizadas as tarifas da distribuidora Light S.A e uma taxa de juros de 12% ao ano num período de 300 meses (25 anos) de vida útil.

### 4.2.2.1 Caso 1

A possibilidade de quitar todo o investimento em uma única parcela geralmente é descartada em grandes projetos, pois é pouco provável que a empresa contratante possua o capital inteiro disponível para o

investimento. Porém, analisando o retorno financeiro e o saldo final, percebe-se que está é a opção que apresenta o menor tempo de retorno de investimento e, conseqüentemente, o maior saldo ao final da vida útil. As tabelas (7), (8) e (9) apresentam o fluxo de caixa desta configuração nos primeiros meses, no período em que se atinge o payback, isto é, quando o salto se torna positivo e os últimos meses do investimento.

O caso 1 apresenta um investimento único no mês inicial de R\$87.166,00, 74 meses (6 anos e 2 meses) de *payback* e um saldo final de R\$1.286.435,28.

Período	Investimento	Tarifa <sub>Ponta</sub>	Tarifa <sub>FPonta</sub>	C <sub>energia</sub>	C <sub>geração</sub>	Diferença	Saldo
0	R\$ 87.166,00	R\$ 0,43	R\$ 0,36	R\$ 819,89	R\$ 813,18	R\$ 6,70	-R\$ 86.359,52
1	R\$ -	R\$ 0,43	R\$ 0,36	R\$ 827,67	R\$ 820,90	R\$ 6,77	-R\$ 85.545,39
2	R\$ -	R\$ 0,44	R\$ 0,37	R\$ 835,52	R\$ 828,69	R\$ 6,83	-R\$ 84.723,53
3	R\$ -	R\$ 0,44	R\$ 0,37	R\$ 843,45	R\$ 836,55	R\$ 6,90	-R\$ 83.893,88
4	R\$ -	R\$ 0,44	R\$ 0,37	R\$ 851,45	R\$ 844,49	R\$ 6,96	-R\$ 83.056,35
5	R\$ -	R\$ 0,45	R\$ 0,38	R\$ 859,53	R\$ 852,50	R\$ 7,03	-R\$ 82.210,87
6	R\$ -	R\$ 0,45	R\$ 0,38	R\$ 867,69	R\$ 860,59	R\$ 7,09	-R\$ 81.357,37
7	R\$ -	R\$ 0,46	R\$ 0,38	R\$ 875,92	R\$ 868,76	R\$ 7,16	-R\$ 80.495,78
8	R\$ -	R\$ 0,46	R\$ 0,39	R\$ 884,23	R\$ 877,00	R\$ 7,23	-R\$ 79.626,01
9	R\$ -	R\$ 0,47	R\$ 0,39	R\$ 892,62	R\$ 885,32	R\$ 7,30	-R\$ 78.747,98
10	R\$ -	R\$ 0,47	R\$ 0,39	R\$ 901,09	R\$ 893,72	R\$ 7,37	-R\$ 77.861,62
11	R\$ -	R\$ 0,48	R\$ 0,40	R\$ 909,64	R\$ 902,20	R\$ 7,44	-R\$ 76.966,86
12	R\$ -	R\$ 0,48	R\$ 0,40	R\$ 918,27	R\$ 910,76	R\$ 7,51	-R\$ 76.063,60

Tabela 7 - Fluxo de caixa nos primeiros meses do investimento.

68	R\$ -	R\$ 0,81	R\$ 0,68	R\$ 1.558,32	R\$ 1.545,58	R\$ 12,74	-R\$ 9.084,36
69	R\$ -	R\$ 0,82	R\$ 0,69	R\$ 1.573,10	R\$ 1.560,24	R\$ 12,86	-R\$ 7.536,98
70	R\$ -	R\$ 0,83	R\$ 0,70	R\$ 1.588,03	R\$ 1.575,05	R\$ 12,98	-R\$ 5.974,92
71	R\$ -	R\$ 0,84	R\$ 0,70	R\$ 1.603,10	R\$ 1.589,99	R\$ 13,11	-R\$ 4.398,03
72	R\$ -	R\$ 0,85	R\$ 0,71	R\$ 1.618,31	R\$ 1.605,08	R\$ 13,23	-R\$ 2.806,19
73	R\$ -	R\$ 0,85	R\$ 0,72	R\$ 1.633,67	R\$ 1.620,31	R\$ 13,36	-R\$ 1.199,23
74	R\$ -	R\$ 0,86	R\$ 0,72	R\$ 1.649,17	R\$ 1.635,68	R\$ 13,48	R\$ 422,97
75	R\$ -	R\$ 0,87	R\$ 0,73	R\$ 1.664,82	R\$ 1.651,20	R\$ 13,61	R\$ 2.060,56
76	R\$ -	R\$ 0,88	R\$ 0,74	R\$ 1.680,61	R\$ 1.666,87	R\$ 13,74	R\$ 3.713,69
77	R\$ -	R\$ 0,89	R\$ 0,74	R\$ 1.696,56	R\$ 1.682,69	R\$ 13,87	R\$ 5.382,51
78	R\$ -	R\$ 0,89	R\$ 0,75	R\$ 1.712,66	R\$ 1.698,66	R\$ 14,00	R\$ 7.067,16
79	R\$ -	R\$ 0,90	R\$ 0,76	R\$ 1.728,91	R\$ 1.714,77	R\$ 14,14	R\$ 8.767,80

Tabela 8 - Fluxo de caixa no momento em que se obtém o retorno do investimento.

290	R\$	-	R\$ 6,63	R\$ 5,56	R\$ 12.682,04	R\$ 12.578,35	R\$ 103,69	R\$ 1.154.989,41
291	R\$	-	R\$ 6,69	R\$ 5,61	R\$ 12.802,38	R\$ 12.697,71	R\$ 104,67	R\$ 1.167.582,44
292	R\$	-	R\$ 6,75	R\$ 5,66	R\$ 12.923,86	R\$ 12.818,19	R\$ 105,67	R\$ 1.180.294,97
293	R\$	-	R\$ 6,82	R\$ 5,72	R\$ 13.046,49	R\$ 12.939,82	R\$ 106,67	R\$ 1.193.128,13
294	R\$	-	R\$ 6,88	R\$ 5,77	R\$ 13.170,29	R\$ 13.062,61	R\$ 107,68	R\$ 1.206.083,05
295	R\$	-	R\$ 6,95	R\$ 5,83	R\$ 13.295,26	R\$ 13.186,55	R\$ 108,70	R\$ 1.219.160,90
296	R\$	-	R\$ 7,01	R\$ 5,88	R\$ 13.421,41	R\$ 13.311,68	R\$ 109,73	R\$ 1.232.362,85
297	R\$	-	R\$ 7,08	R\$ 5,94	R\$ 13.548,77	R\$ 13.437,99	R\$ 110,78	R\$ 1.245.690,06
298	R\$	-	R\$ 7,15	R\$ 6,00	R\$ 13.677,33	R\$ 13.565,50	R\$ 111,83	R\$ 1.259.143,74
299	R\$	-	R\$ 7,21	R\$ 6,05	R\$ 13.807,11	R\$ 13.694,22	R\$ 112,89	R\$ 1.272.725,07
300	R\$	-	R\$ 7,28	R\$ 6,11	R\$ 13.938,12	R\$ 13.824,16	R\$ 113,96	R\$ 1.286.435,28

Tabela 9 - Fluxo de caixa ao final da vida útil.

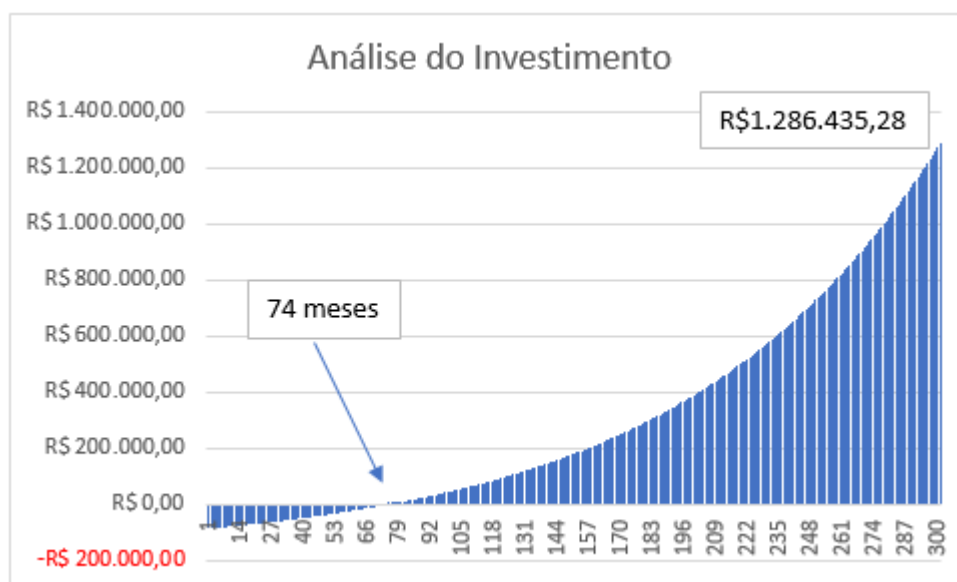


Figura 17 - Fluxo de caixa ao longo da vida útil

## 4.2.2.2 Caso 2

Este caso analisará o fluxo de caixa para o projeto parcelando o investimento em 12 meses (1 ano), mantendo as mesmas condições de tarifa e juros ao ano. Como esperado, por causa da taxa de juros, o *payback* do projeto sofre uma pequena extensão comparada à primeira situação, subindo de 6 anos e 2 meses para 80 meses (6 anos e 8 meses). A outra mudança que se pode notar é uma leve diminuição no saldo ao final da vida útil, caindo de R\$1.286.435,28 para R\$1.276.893,00, o que representa uma redução de R\$9.542,28.

As tabelas (10), (11) e (12) apresentam o fluxo de caixa nos primeiros meses, no momento em que se obtém o *payback* e ao final da vida útil.



Período	Investimento	Tarifa <sub>Ponta</sub>	Tarifa <sub>FPonta</sub>	C <sub>energia</sub>	C <sub>geração</sub>	Diferença	Saldo
0	R\$ 8.059,02	R\$ 0,43	R\$ 0,36	R\$ 819,89	R\$ 813,18	R\$ 6,70	-R\$ 7.252,54
1	R\$ 8.059,02	R\$ 0,43	R\$ 0,36	R\$ 827,67	R\$ 820,90	R\$ 6,77	-R\$ 14.497,43
2	R\$ 8.059,02	R\$ 0,44	R\$ 0,37	R\$ 835,52	R\$ 828,69	R\$ 6,83	-R\$ 21.734,60
3	R\$ 8.059,02	R\$ 0,44	R\$ 0,37	R\$ 843,45	R\$ 836,55	R\$ 6,90	-R\$ 28.963,97
4	R\$ 8.059,02	R\$ 0,44	R\$ 0,37	R\$ 851,45	R\$ 844,49	R\$ 6,96	-R\$ 36.185,46
5	R\$ 8.059,02	R\$ 0,45	R\$ 0,38	R\$ 859,53	R\$ 852,50	R\$ 7,03	-R\$ 43.399,01
6	R\$ 8.059,02	R\$ 0,45	R\$ 0,38	R\$ 867,69	R\$ 860,59	R\$ 7,09	-R\$ 50.604,54
7	R\$ 8.059,02	R\$ 0,46	R\$ 0,38	R\$ 875,92	R\$ 868,76	R\$ 7,16	-R\$ 57.801,96
8	R\$ 8.059,02	R\$ 0,46	R\$ 0,39	R\$ 884,23	R\$ 877,00	R\$ 7,23	-R\$ 64.991,21
9	R\$ 8.059,02	R\$ 0,47	R\$ 0,39	R\$ 892,62	R\$ 885,32	R\$ 7,30	-R\$ 72.172,21
10	R\$ 8.059,02	R\$ 0,47	R\$ 0,39	R\$ 901,09	R\$ 893,72	R\$ 7,37	-R\$ 79.344,88
11	R\$ 8.059,02	R\$ 0,48	R\$ 0,40	R\$ 909,64	R\$ 902,20	R\$ 7,44	-R\$ 86.509,13

Tabela 10 - Fluxo de caixa nos primeiros meses do investimento.

74	R\$ -	R\$ 0,86	R\$ 0,72	R\$ 1.649,17	R\$ 1.635,68	R\$ 13,48	-R\$ 9.119,31
75	R\$ -	R\$ 0,87	R\$ 0,73	R\$ 1.664,82	R\$ 1.651,20	R\$ 13,61	-R\$ 7.481,72
76	R\$ -	R\$ 0,88	R\$ 0,74	R\$ 1.680,61	R\$ 1.666,87	R\$ 13,74	-R\$ 5.828,58
77	R\$ -	R\$ 0,89	R\$ 0,74	R\$ 1.696,56	R\$ 1.682,69	R\$ 13,87	-R\$ 4.159,77
78	R\$ -	R\$ 0,89	R\$ 0,75	R\$ 1.712,66	R\$ 1.698,66	R\$ 14,00	-R\$ 2.475,11
79	R\$ -	R\$ 0,90	R\$ 0,76	R\$ 1.728,91	R\$ 1.714,77	R\$ 14,14	-R\$ 774,47
80	R\$ -	R\$ 0,91	R\$ 0,77	R\$ 1.745,32	R\$ 1.731,05	R\$ 14,27	R\$ 942,30
81	R\$ -	R\$ 0,92	R\$ 0,77	R\$ 1.761,88	R\$ 1.747,47	R\$ 14,41	R\$ 2.675,37
82	R\$ -	R\$ 0,93	R\$ 0,78	R\$ 1.778,59	R\$ 1.764,05	R\$ 14,54	R\$ 4.424,88
83	R\$ -	R\$ 0,94	R\$ 0,79	R\$ 1.795,47	R\$ 1.780,79	R\$ 14,68	R\$ 6.190,99
84	R\$ -	R\$ 0,95	R\$ 0,79	R\$ 1.812,51	R\$ 1.797,69	R\$ 14,82	R\$ 7.973,86
85	R\$ -	R\$ 0,96	R\$ 0,80	R\$ 1.829,71	R\$ 1.814,75	R\$ 14,96	R\$ 9.773,64

Tabela 11 - Fluxo de caixa no momento em que se obtém o retorno do investimento.

290	R\$ -	R\$ 6,63	R\$ 5,56	R\$ 12.682,04	R\$ 12.578,35	R\$ 103,69	R\$ 1.145.447,13
291	R\$ -	R\$ 6,69	R\$ 5,61	R\$ 12.802,38	R\$ 12.697,71	R\$ 104,67	R\$ 1.158.040,17
292	R\$ -	R\$ 6,75	R\$ 5,66	R\$ 12.923,86	R\$ 12.818,19	R\$ 105,67	R\$ 1.170.752,70
293	R\$ -	R\$ 6,82	R\$ 5,72	R\$ 13.046,49	R\$ 12.939,82	R\$ 106,67	R\$ 1.183.585,85
294	R\$ -	R\$ 6,88	R\$ 5,77	R\$ 13.170,29	R\$ 13.062,61	R\$ 107,68	R\$ 1.196.540,78
295	R\$ -	R\$ 6,95	R\$ 5,83	R\$ 13.295,26	R\$ 13.186,55	R\$ 108,70	R\$ 1.209.618,63
296	R\$ -	R\$ 7,01	R\$ 5,88	R\$ 13.421,41	R\$ 13.311,68	R\$ 109,73	R\$ 1.222.820,57
297	R\$ -	R\$ 7,08	R\$ 5,94	R\$ 13.548,77	R\$ 13.437,99	R\$ 110,78	R\$ 1.236.147,79
298	R\$ -	R\$ 7,15	R\$ 6,00	R\$ 13.677,33	R\$ 13.565,50	R\$ 111,83	R\$ 1.249.601,46
299	R\$ -	R\$ 7,21	R\$ 6,05	R\$ 13.807,11	R\$ 13.694,22	R\$ 112,89	R\$ 1.263.182,80
300	R\$ -	R\$ 7,28	R\$ 6,11	R\$ 13.938,12	R\$ 13.824,16	R\$ 113,96	R\$ 1.276.893,00

Tabela 12 - Fluxo de caixa ao final da vida útil.

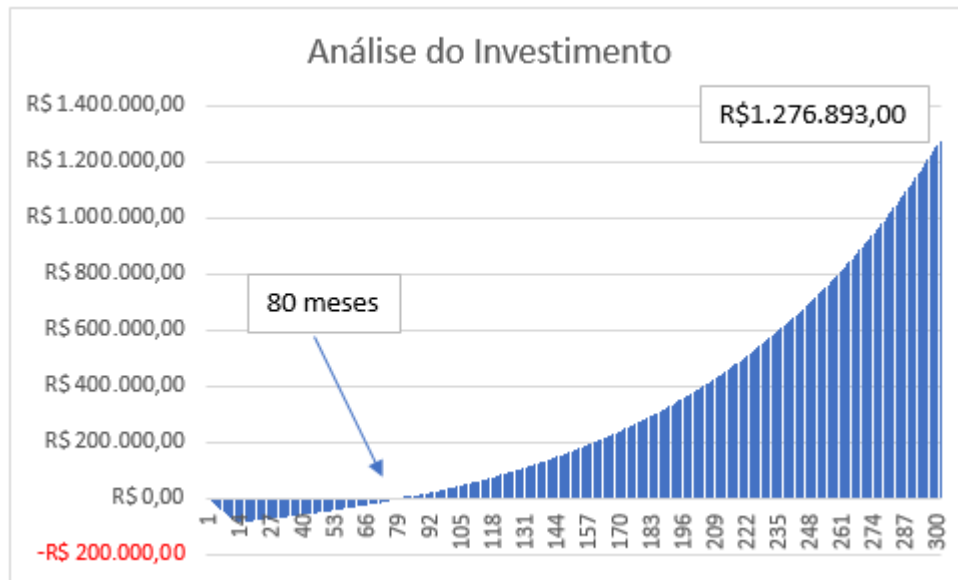


Figura 18 - Fluxo de caixa ao longo da vida útil

### 4.2.2.3 Caso 3

O terceiro e caso mais comum acontece com financiamentos de investimentos em longos prazos. Neste caso, será analisado o fluxo de caixa caso o investimento seja parcelado em 36 meses (3 anos) nas mesmas condições de tarifa e taxa de juros ao ano dos casos anteriores.

Os dados presentes nas tabelas (13), (14) e (15) demonstram o fluxo de caixa no período inicial, momento em que se atinge o *payback* e ao final da vida útil. Nota-se que há um aumento ainda maior do tempo de retorno de investimento, resultando em um *payback* de 7 anos e 9 meses, 1 ano e 1 mês a mais que o caso anterior. Além disso, o saldo final sofre uma redução de R\$24.602,58 do caso 2 e R\$34.144,86 do caso 1, resultando num montante final de R\$1.252.290,42.

Período	Investimento	Tarifa <sub>Ponta</sub>	Tarifa <sub>FPonta</sub>	C <sub>energia</sub>	C <sub>geração</sub>	Diferença	Saldo
0	R\$ 3.369,75	R\$ 0,43	R\$ 0,36	R\$ 819,89	R\$ 813,18	R\$ 6,70	-R\$ 2.563,27
1	R\$ 3.369,75	R\$ 0,43	R\$ 0,36	R\$ 827,67	R\$ 820,90	R\$ 6,77	-R\$ 5.118,88
2	R\$ 3.369,75	R\$ 0,44	R\$ 0,37	R\$ 835,52	R\$ 828,69	R\$ 6,83	-R\$ 7.666,77
3	R\$ 3.369,75	R\$ 0,44	R\$ 0,37	R\$ 843,45	R\$ 836,55	R\$ 6,90	-R\$ 10.206,86
4	R\$ 3.369,75	R\$ 0,44	R\$ 0,37	R\$ 851,45	R\$ 844,49	R\$ 6,96	-R\$ 12.739,08
5	R\$ 3.369,75	R\$ 0,45	R\$ 0,38	R\$ 859,53	R\$ 852,50	R\$ 7,03	-R\$ 15.263,35
6	R\$ 3.369,75	R\$ 0,45	R\$ 0,38	R\$ 867,69	R\$ 860,59	R\$ 7,09	-R\$ 17.779,60
7	R\$ 3.369,75	R\$ 0,46	R\$ 0,38	R\$ 875,92	R\$ 868,76	R\$ 7,16	-R\$ 20.287,75
8	R\$ 3.369,75	R\$ 0,46	R\$ 0,39	R\$ 884,23	R\$ 877,00	R\$ 7,23	-R\$ 22.787,72
9	R\$ 3.369,75	R\$ 0,47	R\$ 0,39	R\$ 892,62	R\$ 885,32	R\$ 7,30	-R\$ 25.279,44
10	R\$ 3.369,75	R\$ 0,47	R\$ 0,39	R\$ 901,09	R\$ 893,72	R\$ 7,37	-R\$ 27.762,83
11	R\$ 3.369,75	R\$ 0,48	R\$ 0,40	R\$ 909,64	R\$ 902,20	R\$ 7,44	-R\$ 30.237,81
12	R\$ 3.369,75	R\$ 0,48	R\$ 0,40	R\$ 918,27	R\$ 910,76	R\$ 7,51	-R\$ 32.704,30
13	R\$ 3.369,75	R\$ 0,48	R\$ 0,41	R\$ 926,99	R\$ 919,41	R\$ 7,58	-R\$ 35.162,22
14	R\$ 3.369,75	R\$ 0,49	R\$ 0,41	R\$ 935,78	R\$ 928,13	R\$ 7,65	-R\$ 37.611,48
15	R\$ 3.369,75	R\$ 0,49	R\$ 0,41	R\$ 944,66	R\$ 936,94	R\$ 7,72	-R\$ 40.052,02
16	R\$ 3.369,75	R\$ 0,50	R\$ 0,42	R\$ 953,63	R\$ 945,83	R\$ 7,80	-R\$ 42.483,73
17	R\$ 3.369,75	R\$ 0,50	R\$ 0,42	R\$ 962,67	R\$ 954,80	R\$ 7,87	-R\$ 44.906,55
18	R\$ 3.369,75	R\$ 0,51	R\$ 0,43	R\$ 971,81	R\$ 963,86	R\$ 7,95	-R\$ 47.320,37
19	R\$ 3.369,75	R\$ 0,51	R\$ 0,43	R\$ 981,03	R\$ 973,01	R\$ 8,02	-R\$ 49.725,13
20	R\$ 3.369,75	R\$ 0,52	R\$ 0,43	R\$ 990,34	R\$ 982,24	R\$ 8,10	-R\$ 52.120,73
21	R\$ 3.369,75	R\$ 0,52	R\$ 0,44	R\$ 999,74	R\$ 991,56	R\$ 8,17	-R\$ 54.507,09
22	R\$ 3.369,75	R\$ 0,53	R\$ 0,44	R\$ 1.009,22	R\$ 1.000,97	R\$ 8,25	-R\$ 56.884,12
23	R\$ 3.369,75	R\$ 0,53	R\$ 0,45	R\$ 1.018,80	R\$ 1.010,47	R\$ 8,33	-R\$ 59.251,73
24	R\$ 3.369,75	R\$ 0,54	R\$ 0,45	R\$ 1.028,47	R\$ 1.020,06	R\$ 8,41	-R\$ 61.609,82
25	R\$ 3.369,75	R\$ 0,54	R\$ 0,46	R\$ 1.038,22	R\$ 1.029,74	R\$ 8,49	-R\$ 63.958,32
26	R\$ 3.369,75	R\$ 0,55	R\$ 0,46	R\$ 1.048,08	R\$ 1.039,51	R\$ 8,57	-R\$ 66.297,13
27	R\$ 3.369,75	R\$ 0,55	R\$ 0,46	R\$ 1.058,02	R\$ 1.049,37	R\$ 8,65	-R\$ 68.626,16
28	R\$ 3.369,75	R\$ 0,56	R\$ 0,47	R\$ 1.068,06	R\$ 1.059,33	R\$ 8,73	-R\$ 70.945,31
29	R\$ 3.369,75	R\$ 0,56	R\$ 0,47	R\$ 1.078,19	R\$ 1.069,38	R\$ 8,82	-R\$ 73.254,49
30	R\$ 3.369,75	R\$ 0,57	R\$ 0,48	R\$ 1.088,43	R\$ 1.079,53	R\$ 8,90	-R\$ 75.553,61
31	R\$ 3.369,75	R\$ 0,57	R\$ 0,48	R\$ 1.098,75	R\$ 1.089,77	R\$ 8,98	-R\$ 77.842,57
32	R\$ 3.369,75	R\$ 0,58	R\$ 0,49	R\$ 1.109,18	R\$ 1.100,11	R\$ 9,07	-R\$ 80.121,27
33	R\$ 3.369,75	R\$ 0,59	R\$ 0,49	R\$ 1.119,70	R\$ 1.110,55	R\$ 9,15	-R\$ 82.389,62
34	R\$ 3.369,75	R\$ 0,59	R\$ 0,50	R\$ 1.130,33	R\$ 1.121,09	R\$ 9,24	-R\$ 84.647,53
35	R\$ 3.369,75	R\$ 0,60	R\$ 0,50	R\$ 1.141,05	R\$ 1.131,72	R\$ 9,33	-R\$ 86.894,88

Tabela 13 - Fluxo de caixa nos primeiros meses do investimento.

88	R\$ -	R\$ 0,98	R\$ 0,83	R\$ 1.882,29	R\$ 1.866,90	R\$ 15,39	-R\$ 9.326,46
89	R\$ -	R\$ 0,99	R\$ 0,83	R\$ 1.900,15	R\$ 1.884,61	R\$ 15,54	-R\$ 7.457,39
90	R\$ -	R\$ 1,00	R\$ 0,84	R\$ 1.918,18	R\$ 1.902,49	R\$ 15,68	-R\$ 5.570,58
91	R\$ -	R\$ 1,01	R\$ 0,85	R\$ 1.936,38	R\$ 1.920,55	R\$ 15,83	-R\$ 3.665,86
92	R\$ -	R\$ 1,02	R\$ 0,86	R\$ 1.954,75	R\$ 1.938,77	R\$ 15,98	-R\$ 1.743,07
93	R\$ -	R\$ 1,03	R\$ 0,86	R\$ 1.973,30	R\$ 1.957,17	R\$ 16,13	R\$ 197,96
94	R\$ -	R\$ 1,04	R\$ 0,87	R\$ 1.992,03	R\$ 1.975,74	R\$ 16,29	R\$ 2.157,41
95	R\$ -	R\$ 1,05	R\$ 0,88	R\$ 2.010,93	R\$ 1.994,49	R\$ 16,44	R\$ 4.135,46
96	R\$ -	R\$ 1,06	R\$ 0,89	R\$ 2.030,01	R\$ 2.013,41	R\$ 16,60	R\$ 6.132,27
97	R\$ -	R\$ 1,07	R\$ 0,90	R\$ 2.049,27	R\$ 2.032,52	R\$ 16,75	R\$ 8.148,03

Tabela 14 - Fluxo de caixa no momento em que se obtém o retorno do investimento.

290	R\$	-	R\$ 6,63	R\$ 5,56	R\$ 12.682,04	R\$ 12.578,35	R\$ 103,69	R\$ 1.120.844,55
291	R\$	-	R\$ 6,69	R\$ 5,61	R\$ 12.802,38	R\$ 12.697,71	R\$ 104,67	R\$ 1.133.437,58
292	R\$	-	R\$ 6,75	R\$ 5,66	R\$ 12.923,86	R\$ 12.818,19	R\$ 105,67	R\$ 1.146.150,11
293	R\$	-	R\$ 6,82	R\$ 5,72	R\$ 13.046,49	R\$ 12.939,82	R\$ 106,67	R\$ 1.158.983,27
294	R\$	-	R\$ 6,88	R\$ 5,77	R\$ 13.170,29	R\$ 13.062,61	R\$ 107,68	R\$ 1.171.938,19
295	R\$	-	R\$ 6,95	R\$ 5,83	R\$ 13.295,26	R\$ 13.186,55	R\$ 108,70	R\$ 1.185.016,04
296	R\$	-	R\$ 7,01	R\$ 5,88	R\$ 13.421,41	R\$ 13.311,68	R\$ 109,73	R\$ 1.198.217,99
297	R\$	-	R\$ 7,08	R\$ 5,94	R\$ 13.548,77	R\$ 13.437,99	R\$ 110,78	R\$ 1.211.545,20
298	R\$	-	R\$ 7,15	R\$ 6,00	R\$ 13.677,33	R\$ 13.565,50	R\$ 111,83	R\$ 1.224.998,88
299	R\$	-	R\$ 7,21	R\$ 6,05	R\$ 13.807,11	R\$ 13.694,22	R\$ 112,89	R\$ 1.238.580,21
300	R\$	-	R\$ 7,28	R\$ 6,11	R\$ 13.938,12	R\$ 13.824,16	R\$ 113,96	R\$ 1.252.290,42

Tabela 15 - Fluxo de caixa ao final da vida útil.

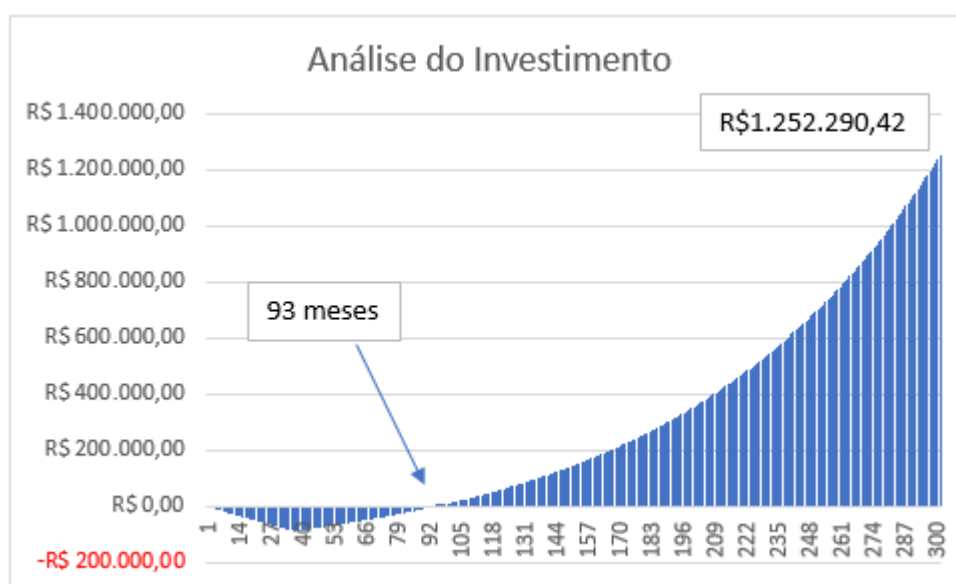


Figura 19 - Fluxo de caixa ao longo da vida útil.

## 4.2.3 Considerações Finais

A implementação de um projeto de geração fotovoltaica em locais com um consumo consideravelmente maior que o de uma residência ainda demonstram a necessidade de altos investimentos para a implementação, sendo necessário que o proprietário do estabelecimento possua de antemão, recursos financeiros suficientes para realizar o investimento.

Em termos econômicos, caso haja caixa suficiente para quitar o investimento em uma única parcela, esta deverá a opção escolhida, pois resulta num menor tempo para o retorno de investimento e, consequentemente, um saldo maior. Porém, como analisado no caso 2, o parcelamento de um financiamento em 12 meses reduz consideravelmente a necessidade imediata de caixa do consumidor, facilitando a viabilidade do projeto, sem comprometer muito o *payback*.

Porém, como é possível notar pelos resultados, um grupo de geradores fotovoltaicos possui uma vida útil alta, o que permite que após 7 anos, é esperado que o local comece a apresentar um saldo positivo. Ao desenvolver tecnologias voltadas para essa área e criando políticas de incentivo fiscal, a implementação de painéis fotovoltaicos para grandes consumidores pode vir a se tornar um negócio extremamente atraente para os consumidores finais, que resultaria numa melhoria geral do sistema, reduzindo perdas por transmissão e aumentando a confiabilidade.

## 5. Grande consumidor no Rio de Janeiro

### 5.1. Consumo e demanda

Como estudo adicional, será analisada a viabilidade econômica e dimensionamento de um grande consumidor localizado no Rio de Janeiro. As figuras (20) e (21) e a tabela (16) representam as curvas de consumo e demanda, bem o histórico de medições de energia do ano de 2012 – 2015.

A partir dos valores, é possível determinar um consumo de energia médio. Destaca-se que é possível realizar uma análise estatística de regressão, ou mesmo baseada em redes neurais, para realizar uma projeção mais confiável do consumo de energia para os próximos anos. O uso de um modelo matemático mais robusto permite uma maior confiabilidade para o dimensionamento correto do sistema, de modo a evitar eventuais faltas no fornecimento de energia.

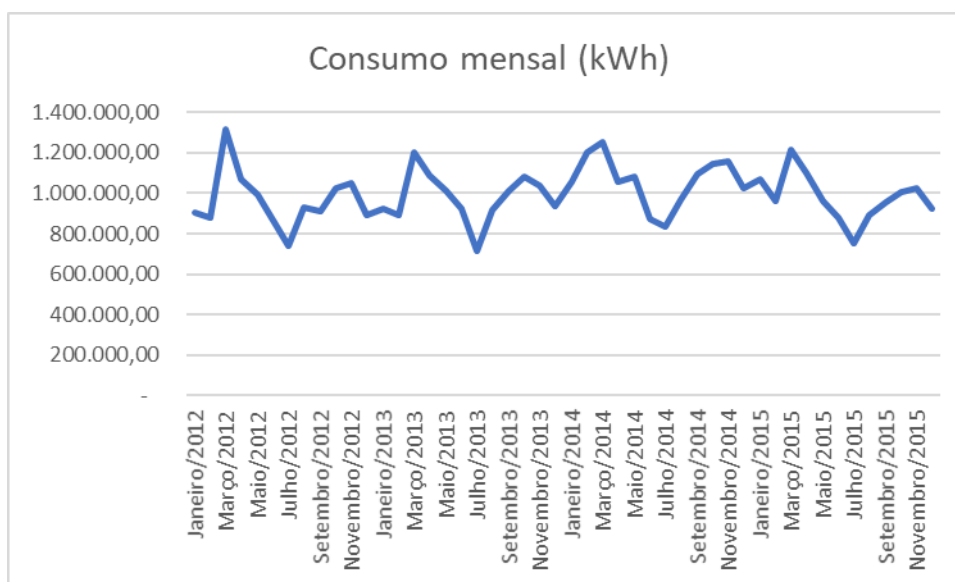


Figura 20 - Consumo mensal medido.

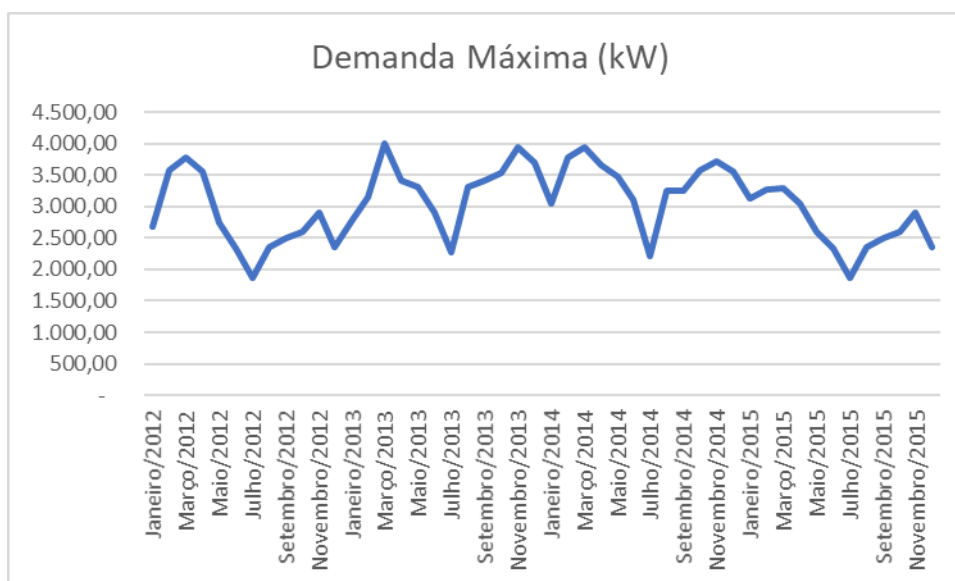


Figura 21 - Demanda máxima mensal.

Mês/Ano	Energia (Kwh)		
	Ponta	Fora da Ponta	Total
Janeiro/2012	121.426,50	781.318,90	902.745,40
Fevereiro/2012	123.474,30	758.197,20	881.671,50
Março/2012	198.547,03	1.119.769,60	1.318.316,63
Abril/2012	157.446,80	913.512,85	1.070.959,65
Maio/2012	142.176,16	848.723,79	990.899,95
Junho/2012	122.427,45	742.308,35	864.735,80
Julho/2012	102.505,86	635.137,81	737.643,68
Agosto/2012	132.980,51	795.016,94	927.997,45
Setembro/2012	128.208,64	785.822,29	914.030,93
Outubro/2012	144.375,54	878.744,18	1.023.119,71
Novembro/2012	143.030,40	907.949,11	1.050.979,51
Dezembro/2012	115.355,28	778.109,32	893.464,60
Janeiro/2013	70.246,48	852.097,25	922.343,72
Fevereiro/2013	91.761,50	801.662,14	893.423,64
Março/2013	137.232,00	1.062.855,88	1.200.087,88
Abril/2013	115.464,70	974.180,62	1.089.645,33
Maio/2013	109.831,50	900.432,50	1.010.264,00
Junho/2013	110.246,86	812.116,39	922.363,25
Julho/2013	90.397,21	627.451,19	717.848,40
Agosto/2013	86.794,53	831.455,06	918.249,59
Setembro/2013	109.561,08	902.897,15	1.012.458,23
Outubro/2013	111.718,08	972.025,87	1.083.743,95
Novembro/2013	102.290,58	937.403,81	1.039.694,39
Dezembro/2013	100.018,75	833.688,29	933.707,04
Janeiro/2014	110.261,93	944.404,65	1.054.666,58
Fevereiro/2014	156.145,80	1.043.402,43	1.199.548,23
Março/2014	174.798,85	1.079.608,43	1.254.407,28
Abril/2014	149.037,95	907.594,65	1.056.632,60
Maio/2014	153.165,65	925.900,38	1.079.066,03
Junho/2014	121.193,30	750.478,10	871.671,40
Julho/2014	114.004,70	720.981,58	834.986,28
Agosto/2014	135.495,33	834.284,60	969.779,93
Setembro/2014	155.944,55	939.452,33	1.095.396,88
Outubro/2014	156.369,55	987.244,00	1.143.613,55
Novembro/2014	151.037,78	1.006.429,33	1.157.467,10
Dezembro/2014	130.013,53	895.458,21	1.025.471,74
Janeiro/2015	125.887,43	942.127,68	1.068.015,10
Fevereiro/2015	118.297,18	844.868,55	963.165,73
Março/2015	172.924,41	1.044.787,11	1.217.711,53
Abril/2015	154.128,93	946.388,62	1.100.517,55
Maio/2015	135.509,54	825.136,10	960.645,64
Junho/2015	125.497,71	755.847,14	881.344,85
Julho/2015	104.334,45	647.610,46	751.944,91
Agosto/2015	127.570,98	765.117,95	892.688,93
Setembro/2015	134.304,30	818.586,35	952.890,65
Outubro/2015	140.657,10	863.853,59	1.004.510,69
Novembro/2015	140.184,83	887.472,26	1.027.657,09
Dezembro/2015	119.783,98	805.886,31	925.670,29

Tabela 16 - Dados históricos de medição do consumo.



## 5.2. Projeto de geração

### 5.2.1 Dimensionamento

Por ser um ambiente em que se praticam diversas atividades durante um período de quase 24 horas por dia, este grande consumidor possui um consumo de energia extremamente elevado, o que torna a substituição completa da utilização da energia proveniente da rede pela gerada por painéis fotovoltaicos inviável física e economicamente. Porém, por possuir uma vasta área, de alta incidência solar, pode se tornar vantajoso a implementação de alguns painéis solares para reduzir o consumo da energia proveniente da distribuidora.

Neste estudo, será levantada a possibilidade de geração de 2,0% do consumo em horário de ponta. A tabela (17) mostra a média dos últimos quatro anos para cada mês do consumo de energia no horário de ponta, bem como a parcela de 2,0% deste consumo.

Mês	Consumo Ponta	2,0%
Janeiro	106.955,58	2.139,11
Fevereiro	122.419,69	2.448,39
Março	170.875,57	3.417,51
Abril	144.019,59	2.880,39
Maio	135.170,71	2.703,41
Junho	119.841,33	2.396,83
Julho	102.810,56	2.056,21
Agosto	120.710,33	2.414,21
Setembro	132.004,64	2.640,09
Outubro	138.280,07	2.765,60
Novembro	134.135,89	2.682,72
Dezembro	116.292,88	2.325,86

Tabela 17 - Consumo médio em horário de ponta.

Para este caso, será considerada apenas a aquisição de painéis solares e inversores de frequência, excluindo outros equipamentos como baterias ou sistemas de monitoramento. Dentro das diversas opções, as tabelas (4) e (5) demonstram os modelos de painéis solares e inversores de frequência, respectivamente, analisados para o dimensionamento deste caso. Além disso, foram considerados dados históricos de temperatura e incidência de radiação solar na cidade do Rio de Janeiro dos últimos anos.

Para este dimensionamento, foi utilizado o painel de modelo JKM-315, fabricado pela Jinko, de área total de 1,94 m<sup>2</sup>. Para uma geração média anual de 2.560,25 kWh/mês, serão utilizados um total de 70 painéis fotovoltaicos idênticos, e quatro inversores de frequência do modelo Galvo 3.0-1, produzido pela Fronius. Cada inversor deverá ser conectado à, no máximo, 22 painéis, sendo duas fileiras em paralelo de oito a onze painéis ligados em série. Os painéis ocuparão uma área total de 136m<sup>2</sup>, sendo necessário um espaço maior para que sejam instalados os cabos e inversores.

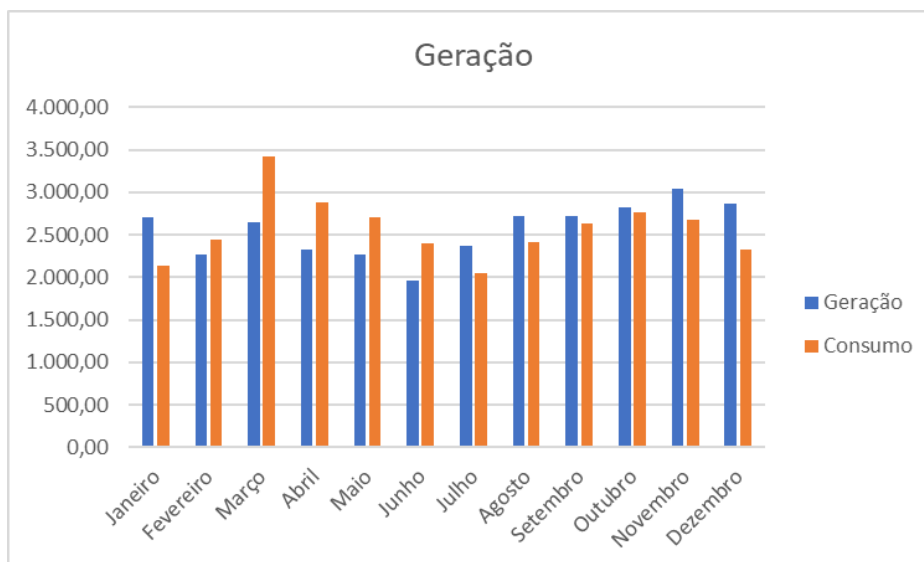


Figura 22 - Geração estimada e 2% do consumo médio em horário de ponta.

Cabe ressaltar que neste estudo de dimensionamento, o suprimento de demanda energética foi desconsiderado devido à alta complexidade de cálculos, limitando-se assim, apenas à substituição de 2,0% do consumo no horário de ponta.

## 5.2.2 Análise do investimento

O investimento inicial do projeto considera a aquisição de 70 painéis solares multiplicados pelo seu valor unitário, desconsiderando qualquer possibilidade de redução de preço por aquisições múltiplas. Por considerar um tempo de vida útil de 25 anos, será necessário efetuar a reposição do grupo de inversores de frequência duas vezes, pois estes possuem 10 anos de vida útil. O investimento inicial também conta com gastos de projeto, instalações e mão de obra.

Investimento Inicial	Valor unt.	Quantidade	Valor Total
Painéis Solares	R\$ 698,00	70	R\$ 48.860,00
Inversor de Frequência	R\$ 5.274,00	8	R\$ 42.192,00
Instalação	R\$ 5.000,00	1	R\$ 5.000,00
Mão de obra	R\$ 5.000,00	1	R\$ 5.000,00
Projeto	R\$ 1.500,00	1	R\$ 1.500,00
Investimento Inicial Total			R\$ 102.552,00

Tabela 18 - Investimento inicial.

A análise do investimento foi realizada por uma planilha de Excel, e possibilita a definição da taxa de juros anual, o tipo de parcelamento do investimento inicial bem como a tarifa da distribuidora. Neste caso, o investimento inicial será parcelado em 36 meses (3 anos), a tarifa utilizada foi a da distribuidora Light S.A, tudo à uma taxa de juros de 12% ao ano.

Para verificar a viabilidade econômica deste sistema, é necessário analisar o fluxo de caixa durante a vida útil do sistema, analisando a economia na conta de energia que o sistema produz mensalmente, qual seria o gasto total de energia sem a presença dos geradores e o saldo final em cada mês. As tabelas (19), (20), e (21) apresentam o fluxo de caixa nos meses iniciais, período em que se atinge o retorno do investimento e os meses finais da vida útil do sistema.



O investimento atinge seu *payback*, isto é, período em que o saldo total do investimento se torna positivo, em 94 meses, ou seja, 7 anos e 10 meses. Uma dificuldade sobre a viabilidade deste projeto é o alto valor de investimento inicial, pois, ao analisar os primeiros meses, nota-se um saldo negativo superior a R\$100.000,00. Porém, o saldo total ao final da vida útil considerada no sistema é superior a 1.4 milhões de reais.

Para este caso estudado, conclui-se que para suprir uma parcela baixa do consumo de energia de um grande consumidor, o investimento torna-se bastante atrativo quando há um capital armazenado a priori. A receita gerada ao longo dos anos permite um reinvestimento na própria estrutura, possibilitando uma expansão do sistema gerador fotovoltaico.



Figura 23 - Fluxo de caixa ao longo da vida útil.

Período	Investimento	Tarifa <sub>Ponta</sub>	Tarifa <sub>FPonta</sub>	C <sub>energia</sub>	C <sub>geração</sub>	Diferença	Saldo
0	R\$ 3.964,55	R\$ 0,43	R\$ 0,36	R\$ 946,70	R\$ 942,19	R\$ 4,52	-R\$ 3.026,89
1	R\$ 3.964,55	R\$ 0,43	R\$ 0,36	R\$ 955,69	R\$ 951,13	R\$ 4,56	-R\$ 6.044,87
2	R\$ 3.964,55	R\$ 0,44	R\$ 0,37	R\$ 964,76	R\$ 960,15	R\$ 4,60	-R\$ 9.053,88
3	R\$ 3.964,55	R\$ 0,44	R\$ 0,37	R\$ 973,91	R\$ 969,26	R\$ 4,65	-R\$ 12.053,82
4	R\$ 3.964,55	R\$ 0,44	R\$ 0,37	R\$ 983,15	R\$ 978,46	R\$ 4,69	-R\$ 15.044,60
5	R\$ 3.964,55	R\$ 0,45	R\$ 0,38	R\$ 992,48	R\$ 987,74	R\$ 4,74	-R\$ 18.026,15
6	R\$ 3.964,55	R\$ 0,45	R\$ 0,38	R\$ 1.001,90	R\$ 997,12	R\$ 4,78	-R\$ 20.998,37
7	R\$ 3.964,55	R\$ 0,46	R\$ 0,38	R\$ 1.011,40	R\$ 1.006,58	R\$ 4,83	-R\$ 23.961,17
8	R\$ 3.964,55	R\$ 0,46	R\$ 0,39	R\$ 1.021,00	R\$ 1.016,13	R\$ 4,87	-R\$ 26.914,47
9	R\$ 3.964,55	R\$ 0,47	R\$ 0,39	R\$ 1.030,69	R\$ 1.025,77	R\$ 4,92	-R\$ 29.858,17
10	R\$ 3.964,55	R\$ 0,47	R\$ 0,39	R\$ 1.040,47	R\$ 1.035,50	R\$ 4,97	-R\$ 32.792,18
11	R\$ 3.964,55	R\$ 0,48	R\$ 0,40	R\$ 1.050,34	R\$ 1.045,33	R\$ 5,01	-R\$ 35.716,42
12	R\$ 3.964,55	R\$ 0,48	R\$ 0,40	R\$ 1.060,31	R\$ 1.055,25	R\$ 5,06	-R\$ 38.630,79
13	R\$ 3.964,55	R\$ 0,48	R\$ 0,41	R\$ 1.070,37	R\$ 1.065,26	R\$ 5,11	-R\$ 41.535,19
14	R\$ 3.964,55	R\$ 0,49	R\$ 0,41	R\$ 1.080,53	R\$ 1.075,37	R\$ 5,16	-R\$ 44.429,53
15	R\$ 3.964,55	R\$ 0,49	R\$ 0,41	R\$ 1.090,78	R\$ 1.085,57	R\$ 5,21	-R\$ 47.313,71
16	R\$ 3.964,55	R\$ 0,50	R\$ 0,42	R\$ 1.101,13	R\$ 1.095,87	R\$ 5,26	-R\$ 50.187,64
17	R\$ 3.964,55	R\$ 0,50	R\$ 0,42	R\$ 1.111,58	R\$ 1.106,27	R\$ 5,31	-R\$ 53.051,23
18	R\$ 3.964,55	R\$ 0,51	R\$ 0,43	R\$ 1.122,13	R\$ 1.116,77	R\$ 5,36	-R\$ 55.904,37
19	R\$ 3.964,55	R\$ 0,51	R\$ 0,43	R\$ 1.132,77	R\$ 1.127,37	R\$ 5,41	-R\$ 58.746,96
20	R\$ 3.964,55	R\$ 0,52	R\$ 0,43	R\$ 1.143,52	R\$ 1.138,06	R\$ 5,46	-R\$ 61.578,91
21	R\$ 3.964,55	R\$ 0,52	R\$ 0,44	R\$ 1.154,37	R\$ 1.148,86	R\$ 5,51	-R\$ 64.400,11
22	R\$ 3.964,55	R\$ 0,53	R\$ 0,44	R\$ 1.165,33	R\$ 1.159,76	R\$ 5,56	-R\$ 67.210,46
23	R\$ 3.964,55	R\$ 0,53	R\$ 0,45	R\$ 1.176,38	R\$ 1.170,77	R\$ 5,61	-R\$ 70.009,86
24	R\$ 3.964,55	R\$ 0,54	R\$ 0,45	R\$ 1.187,55	R\$ 1.181,88	R\$ 5,67	-R\$ 72.798,20
25	R\$ 3.964,55	R\$ 0,54	R\$ 0,46	R\$ 1.198,81	R\$ 1.193,09	R\$ 5,72	-R\$ 75.575,38
26	R\$ 3.964,55	R\$ 0,55	R\$ 0,46	R\$ 1.210,19	R\$ 1.204,41	R\$ 5,78	-R\$ 78.341,29
27	R\$ 3.964,55	R\$ 0,55	R\$ 0,46	R\$ 1.221,67	R\$ 1.215,84	R\$ 5,83	-R\$ 81.095,84
28	R\$ 3.964,55	R\$ 0,56	R\$ 0,47	R\$ 1.233,27	R\$ 1.227,38	R\$ 5,89	-R\$ 83.838,89
29	R\$ 3.964,55	R\$ 0,56	R\$ 0,47	R\$ 1.244,97	R\$ 1.239,03	R\$ 5,94	-R\$ 86.570,36
30	R\$ 3.964,55	R\$ 0,57	R\$ 0,48	R\$ 1.256,78	R\$ 1.250,78	R\$ 6,00	-R\$ 89.290,13
31	R\$ 3.964,55	R\$ 0,57	R\$ 0,48	R\$ 1.268,71	R\$ 1.262,65	R\$ 6,06	-R\$ 91.998,09
32	R\$ 3.964,55	R\$ 0,58	R\$ 0,49	R\$ 1.280,74	R\$ 1.274,63	R\$ 6,11	-R\$ 94.694,12
33	R\$ 3.964,55	R\$ 0,59	R\$ 0,49	R\$ 1.292,90	R\$ 1.286,73	R\$ 6,17	-R\$ 97.378,12
34	R\$ 3.964,55	R\$ 0,59	R\$ 0,50	R\$ 1.305,17	R\$ 1.298,94	R\$ 6,23	-R\$ 100.049,97
35	R\$ 3.964,55	R\$ 0,60	R\$ 0,50	R\$ 1.317,55	R\$ 1.311,26	R\$ 6,29	-R\$ 102.709,55

Tabela 19 - Fluxo de caixa nos primeiros meses do investimento.

88	R\$	-	R\$ 0,98	R\$ 0,83	R\$ 2.173,43	R\$ 2.163,06	R\$ 10,37	-R\$ 12.523,26
89	R\$	-	R\$ 0,99	R\$ 0,83	R\$ 2.194,06	R\$ 2.183,59	R\$ 10,47	-R\$ 10.350,15
90	R\$	-	R\$ 1,00	R\$ 0,84	R\$ 2.214,88	R\$ 2.204,31	R\$ 10,57	-R\$ 8.156,41
91	R\$	-	R\$ 1,01	R\$ 0,85	R\$ 2.235,89	R\$ 2.225,22	R\$ 10,67	-R\$ 5.941,86
92	R\$	-	R\$ 1,02	R\$ 0,86	R\$ 2.257,11	R\$ 2.246,34	R\$ 10,77	-R\$ 3.706,30
93	R\$	-	R\$ 1,03	R\$ 0,86	R\$ 2.278,53	R\$ 2.267,65	R\$ 10,87	-R\$ 1.449,52
94	R\$	-	R\$ 1,04	R\$ 0,87	R\$ 2.300,15	R\$ 2.289,17	R\$ 10,98	R\$ 828,67
95	R\$	-	R\$ 1,05	R\$ 0,88	R\$ 2.321,97	R\$ 2.310,89	R\$ 11,08	R\$ 3.128,48
96	R\$	-	R\$ 1,06	R\$ 0,89	R\$ 2.344,01	R\$ 2.332,82	R\$ 11,19	R\$ 5.450,11
97	R\$	-	R\$ 1,07	R\$ 0,90	R\$ 2.366,25	R\$ 2.354,95	R\$ 11,29	R\$ 7.793,77
98	R\$	-	R\$ 1,08	R\$ 0,91	R\$ 2.388,70	R\$ 2.377,30	R\$ 11,40	R\$ 10.159,67
99	R\$	-	R\$ 1,09	R\$ 0,92	R\$ 2.411,37	R\$ 2.399,86	R\$ 11,51	R\$ 12.548,02

Tabela 20- Fluxo de caixa no momento em que se obtém o retorno do investimento.

290	R\$	-	R\$ 6,63	R\$ 5,56	R\$ 14.643,67	R\$ 14.573,78	R\$ 69,89	R\$ 1.301.490,03
291	R\$	-	R\$ 6,69	R\$ 5,61	R\$ 14.782,62	R\$ 14.712,07	R\$ 70,55	R\$ 1.316.131,55
292	R\$	-	R\$ 6,75	R\$ 5,66	R\$ 14.922,89	R\$ 14.851,67	R\$ 71,22	R\$ 1.330.911,99
293	R\$	-	R\$ 6,82	R\$ 5,72	R\$ 15.064,49	R\$ 14.992,59	R\$ 71,90	R\$ 1.345.832,68
294	R\$	-	R\$ 6,88	R\$ 5,77	R\$ 15.207,44	R\$ 15.134,85	R\$ 72,58	R\$ 1.360.894,96
295	R\$	-	R\$ 6,95	R\$ 5,83	R\$ 15.351,74	R\$ 15.278,47	R\$ 73,27	R\$ 1.376.100,15
296	R\$	-	R\$ 7,01	R\$ 5,88	R\$ 15.497,41	R\$ 15.423,44	R\$ 73,97	R\$ 1.391.449,63
297	R\$	-	R\$ 7,08	R\$ 5,94	R\$ 15.644,46	R\$ 15.569,79	R\$ 74,67	R\$ 1.406.944,75
298	R\$	-	R\$ 7,15	R\$ 6,00	R\$ 15.792,90	R\$ 15.717,53	R\$ 75,38	R\$ 1.422.586,90
299	R\$	-	R\$ 7,21	R\$ 6,05	R\$ 15.942,76	R\$ 15.866,67	R\$ 76,09	R\$ 1.438.377,48
300	R\$	-	R\$ 7,28	R\$ 6,11	R\$ 16.094,04	R\$ 16.017,22	R\$ 76,81	R\$ 1.454.317,89

Tabela 21 - Fluxo de caixa ao final da vida útil.

## 6. Conclusão

Embora as tecnologias fotovoltaicas tenham evoluído muito nas últimas décadas, ainda não é possível obter painéis com altos rendimentos, o que impede a implementação em diversos setores de alto consumo energético. Além do consumo, locais de alto consumo geralmente necessitam realizar um contrato de demanda. Por depender do sol para gerar energia, é muito arriscado estes locais realizarem um contrato de demanda mínima sem que haja algum tipo de redundância, como um gerador.

O Brasil é um país com ótimos índices de incidência solar e seu território gira em torno da linha do Equador, o que o torna um dos maiores produtores de energia solar em potencial. A implementação de geração distribuída, principalmente em setores residenciais, onde o consumo de energia é menor, poderia melhorar a qualidade do serviço de energia no Brasil. Por ter um território muito vasto e suas grandes usinas geradoras longe dos maiores consumidores, o país enfrenta diversos problemas com perdas de energia e tarifas excessivas. Com a vantagem de se ter agentes minigeradores em locais de maior consumo, seria possível uma redução nesta tarifação bem como um aumento de confiabilidade do sistema.

Porém, para que o Brasil se torne uma potência em geração fotovoltaica, é necessário criações de mais políticas de incentivo, principalmente com auxílio financeiro, através de financiamentos com baixas taxas de juros. Além disso, pouco da tecnologia presente em um sistema fotovoltaico é produzido no Brasil, logo, a redução de impostos de importação também auxiliaria a implementação de mais projetos.

Como foi possível perceber neste estudo, a implementação de um projeto fotovoltaico ainda apresenta custos muito elevados quando se trata de locais de alto consumo. Porém, em locais de menor consumo, já é possível obter uma análise econômica vantajosa para o consumidor final. Isto é um indicativo positivo de que será possível aumentar a participação deste tipo de geração na matriz energética brasileira em alguns anos, possibilitando um maior desenvolvimento social, principalmente em áreas remotas, de difícil acesso à rede, diminuindo a necessidade de combustíveis fósseis e reduzindo os impactos ambientais.

## 7. Estudos Futuros

Ao longo deste trabalho, foram descritos diversos componentes de um sistema fotovoltaico bem como suas complexidades. Por apresentar aplicações variadas, será sugerido um estudo futuro sobre o dimensionamento de baterias para sistemas off-grid e outro para a previsão adequada do aumento de carga de um consumidor.

### 7.1. Dimensionamento de baterias para sistemas off-grid

Sistemas off-grid são sistemas alimentados por painéis solares em que não há uma conexão com a rede. Estes sistemas tornam-se muito atraentes em locais do território brasileiro distantes de qualquer acesso ao sistema interligado nacional. Tribos indígenas localizadas no Norte ou Nordeste do país se beneficiariam muito se tivessem um acesso à energia elétrica. Porém, para que este sistema funcione corretamente, é necessária a utilização de baterias de modo a armazenar a energia excedente que foi gerada ao longo do dia, para que ela seja consumida à noite. O dimensionamento correto de um banco de baterias envolve um levantamento de todas as tecnologias existentes, bem como uma projeção detalhada do consumo e demanda energética do local a ser implementado ao longo dos anos.

### 7.2. Previsão de aumento de carga de um consumidor

Para que haja um dimensionamento adequado de um sistema de geração fotovoltaica, é de extrema importância que seja feito um estudo profundo, considerando aspectos estruturais do local, atividade fim praticada no local, situação econômica mundial e brasileira, além de projeções de clima e temperatura. Todos estes fatores, e muitos outros, influenciam no consumo de energia e um levantamento confiável destes dados reduz a incerteza de projeção, possibilitando um dimensionamento de um sistema de geração fotovoltaica mais confiável para o consumidor final.

## 8. Referências

- [1] ANEEL. RN 482/2012: RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012. 1 ed. Brasília: Aneel, 2012
- [2] ANEEL. RN 687/2015: RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015. 1 ed. Brasília: Aneel, 2015
- [3] SANTOS, Amanda Moraes dos. TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA. 2013. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- [4] GAMA, Jaqueline de Oliveira. PAINEL FOTOVOLTAICO DE BAIXO CUSTO. 2014. 78 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.
- [5] MIRANDA, Arthur Biagio Canedo Montesano. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE. 2014. 98 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.
- [5] PORTAL-ENERGIA. Energia Fotovoltaica: Manual sobre tecnologias, projecto e instalação. Brasília: Portal-energia, 2004.
- [6] PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro: Cepel - Crecesb, 2014.
- [7] CARNEIRO, Joaquim. DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS: (SISTEMAS LIGADOS À REDE E SISTEMAS AUTÓNOMOS). 2009. 37 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Têxtil, Universidade do Minho, Campus de Azurém, 2009.
- [8] <https://www.portalsolar.com.br/>
- [9] <http://www.light.com.br/para-empresas/SitePages/default.aspx>