

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELÉTRICA**  
**CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**JUAREZ ALVES ANTUNES**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE  
GERAÇÃO FOTOVOLTAICA EM ESCOLA TÉCNICA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO**

**2019**

JUAREZ ALVES ANTUNES

## **ANÁLISE DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA EM ESCOLA TÉCNICA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Elétrica – DAELE – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Msc. Hervê Stangler Irion

Coorientador: Prof. Dr. Alexandre Batista de Jesus Soares

PATO BRANCO

2019

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

O trabalho de Conclusão de Curso intitulado “**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA EM ESCOLA TÉCNICA**”, do aluno “**Juarez Alves Antunes**” foi considerado **APROVADO** de acordo com a ata da banca examinadora N° **251** de 2019.

Fizeram parte da banca os professores:

**Prof. Me. Hervê Stangler Irion**

**Prof. Dr. Jean Marc Stephane Lafay**

**Prof. Me. José Paulo De Barros Neto**

**A Ata de Defesa assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica**

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus familiares e amigos, por acreditarem e estarem sempre ao meu lado dando-me apoio e segurança.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela minha vida, e por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da realização deste trabalho;

A UTFPR, e aos Professores, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional ao longo do curso;

Aos amigos e familiares, por todo o apoio e pela ajuda, que muito contribuíram para a realização deste trabalho;

A todos que de uma forma ou de outra colaboraram para a realização deste trabalho.

## EPÍGRAFE

*"Eu apostaria o meu dinheiro em energia solar. Que fonte de energia! Espero que não aguardemos o fim do petróleo e do carvão para fazer isso."(EDISON, Thomas, 1931).*

## RESUMO

ANTUNES, Juarez Alves. **Análise de viabilidade de implantação de sistema de geração fotovoltaica em escola técnica**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2019.

Este trabalho apresenta um estudo de viabilidade econômica para a instalação de um sistema fotovoltaico (FV) em uma escola de formação técnica localizada no município de Pato Branco, Paraná- PR. Observa-se a importância de um sistema de geração que utiliza o recurso solar como fonte de energia renovável com grande crescimento no cenário nacional destaca-se ainda o sistema de conversão de energia sendo utilizados painéis formados por células fotovoltaicas. A análise de viabilidade baseia-se neste estudo no sistema conectado à rede da concessionária de energia elétrica conhecido como sistema On-Grid, sendo detalhados os componentes necessários para a instalação deste sistema, os requisitos necessários para sua implementação e os custos envolvidos para que o sistema de geração seja implementado. Com base no histórico de consumo desta unidade de ensino e no nível de incidência de irradiação solar no local foram avaliados os investimentos necessários e com isso um estudo de viabilidade de investimento neste sistema de geração de acordo com ferramentas de análise presentes na literatura. Os resultados esperados foram satisfatórios tendo em vista os investimentos necessários para a implementação do projeto. Conforme análise de viabilidade financeira para a situação mais crítica, foi obtido um tempo estimado de retorno de aproximadamente 7 anos após o início da geração de energia através deste sistema. Este tempo de retorno possibilitará, conforme previsão de vida útil do sistema, a geração de caixa pelo projeto de pelo menos mais 17 anos após sua implementação.

**Palavras-chave:** Energia Solar. Fotovoltaico (FV). Sistema Fotovoltaico. Geração Distribuída (GD). Sistema de compensação de energia. Estudo de viabilidade. Payback.

## ABSTRACT

ANTUNES, Juarez Alves. **Analysis of feasibility of implantation of photovoltaic generation system in technical school.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2019.

This paper presents an economic feasibility study for the installation of a photovoltaic (PV) system in a technical training school located in the municipality of Pato Branco, Paraná-PR. The importance of a generation system that uses the solar resource as a source of renewable energy with great growth in the national scenario is noteworthy, as well as the energy conversion system, using panels formed by photovoltaic cells. The feasibility analysis is based on this study on the system connected to the utility grid known as the On-Grid system, detailing the components required for the installation of this system, the requirements for its implementation and the costs involved for the system. generation system is implemented. Based on the consumption history of this teaching unit and the level of incidence of solar irradiation at the site, the necessary investments were evaluated and thus a feasibility study of investment in this generation system according to analysis tools present in the literature. The expected results were satisfactory in view of the investments required for project implementation. According to the financial viability analysis, it is possible for the most critical situation to reach an estimated return time of approximately 7 years after the start of power generation through this system. This turnaround time will allow, as expected for the life of the system, the cash generation by the project for at least another 17 years after its implementation.

**Keywords:** Solar Energy. Photovoltaic (PV). Photovoltaic System. Distributed Generation (DG). Power compensation system. Viability study. Payback.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Potencial para geração fotovoltaica a) no Brasil b) na Alemanha. ....	14
Figura 3 – Comparação de adições de capacidade solar fotovoltaica mundial. ....	20
Figura 4 – Crescimento da energia solar fotovoltaica no mundo entre 2007 e 2017. ....	21
Figura 5 – Perfil de irradiância solar com diferentes condições climáticas. ....	21
Figura 6 – Variação do ângulo de declinação solar ao longo do ano de acordo com o movimento de translação e de rotação do planeta Terra .....	23
Figura 7 – Mapa Solar COPEL. ....	25
Figura 8 – Célula fotovoltaica de silício cristalino .....	26
Figura 9 – Composição dos módulos fotovoltaicos. ....	29
Figura 10 – Processo hierarquizado de agrupamento: célula → módulo → painel fotovoltaico. ....	29
Figura 11 - Curva I-V de um módulo fotovoltaico sobreposta por uma curva típica de potência vs. tensão. ....	30
Figura 12 - Variação do ângulo de incidência de radiação solar longo do ano .....	32
Figura 13 - Relação entre a disponibilidade anual de energia em uma superfície com orientação qualquer e em uma superfície com 23,5° de inclinação voltada para o Norte, para a cidade de São Paulo. ....	33
Figura 14 – Representação de curvas I-V de um painel fotovoltaico com variação exclusiva de (a) temperatura e (b) radiação solar incidente sobre os painéis .....	34
Figura 15 - Representação esquemática de um módulo fotovoltaico alimentando uma carga externa. ....	35
Figura 16 - Representação esquemática de um módulo fotovoltaico sombreado. ....	36
Figura 17 - Representação esquemática de um módulo fotovoltaico sombreado com diodos de by-pass. ....	36
Figura 18 - Configuração de um sistema Off-Grid. ....	40
Figura 19 - Configuração de um sistema On-Grid. ....	41
Figura 20 – Diagrama de Fluxo de Caixa. ....	45
Figura 21 – Irradiação solar média para o local em estudo utilizando software Atlas Solar. ....	57
Figura 22 – Irradiação Solar média no local do estudo utilizando diferentes softwares. ....	58
Figura 23 – Gráfico de consumo de energia no sistema proposto. ....	60

Figura 24 – Área de cobertura disponíveis para instalação dos módulos fotovoltaicos. .....	63
Figura 25 – <i>Payback para Orçamento de Maior Valor.</i> .....	79
Figura 26 – <i>Payback para Orçamento de Menor Valor.</i> .....	83

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Planilha para exemplo de cálculo do VPL utilizando calculadora financeira. .....	49
Tabela 2 – Planilha de Períodos para Retorno de Investimento .....	52
Tabela 3 – Níveis de Tensão Considerados para Conexão de Centrais Geradoras .	55
Tabela 4 – Escolha do ângulo de inclinação do módulo .....	56
Tabela 5 – Irradiação Solar no Local em Estudo.....	57
Tabela 6 – Consumo de Energia no Local em Estudo .....	60
Tabela 7 – Comparativo de características entre painéis fotovoltaicos .....	62
Tabela 8 - Orçamento para o sistema fotovoltaico fornecidos pela empresa de Palmas - PR .....	67
Tabela 9 - Orçamento para o sistema fotovoltaico fornecidos pela Empresa de Coronel Vivida-PR .....	67
Tabela 10 - Orçamento para o sistema fotovoltaico fornecidos pela Empresa de Pato Branco-PR.....	68
Tabela 11 – Histórico de reajuste tarifário da COPEL entre os anos de 2010 e 2019 .....	69
Tabela 12 – Histórico de Consumo de Energia em R\$/mês.....	70
Tabela 13 – Histórico das Bandeiras Tarifárias.....	73
Tabela 14 – Parâmetros para Análise de Viabilidade Econômica com Orçamento de Maior Valor.....	77
Tabela 15 – <i>Payback para o Sistema Fotovoltaico Proposto com Orçamento de Maior Valor</i> .....	78
Tabela 16 – Parâmetros para Análise de Viabilidade Econômica com Orçamento de Menor Valor.....	80
Tabela 17 – <i>Payback para o Sistema Fotovoltaico Proposto com Orçamento de Maior Valor</i> .....	82

## LISTA DE SIGLAS, ABREVIações E ACRÔNIMOS

FV	Fotovoltaico
GWh	Giga Watt hora
MW	Mega Watt
kWp	Quilo Watt-Pico
VPL	Valor Presente Líquido
IBC	Índice Benefício Lucro
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
$Cf_0$	Investimento Inicial do Projeto
$Cf_j$	Valor do fluxo de caixa no tempo j
PRI	Período de Retorno de Investimento
$E_{sol}$	Radiação solar média diária no local
NSP	Número de horas de Sol Pleno
$P_{FV}$	Potência de pico do gerador fotovoltaico
E	Energia Consumida
TD	Taxa de Desempenho
FDI	Fator de Dimensionamento de Inversores
J	Tempo de análise

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	13
1.1	OBJETIVO GERAL	17
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
<b>2.</b>	<b>REFERÊNCIAL TEÓRICO</b>	18
2.1	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	18
2.2	A RADIAÇÃO SOLAR	21
2.2.1	Programas de Simulação e Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos	24
2.3	EFEITO FOTOVOLTAICO	25
2.4	PAINEIS SOLARES	27
2.4.1	Curvas Características de Corrente, Tensão e Potencia	30
2.5	FATORES QUE AFETAM A PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	31
2.5.1	Inclinação e Orientação dos Painéis	31
2.5.2	Influência da Radiação Solar e da Temperatura	34
2.5.3	Efeito de Sombreamento	34
2.5.4	Manutenção do Sistema	37
2.6	INVERSORES DE FREQUÊNCIA	37
2.7	SISTEMAS DE GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA	39
2.7.1	Classificação dos Sistemas Fotovoltaicos	39
2.8	NORMAS APLICÁVEIS PARA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	41
2.8.1	Sistema de Compensação de Energia Gerada	41
2.8.2	Bandeiras Tarifárias	43
2.8.3	Procedimentos de Acesso à Micro e Minigeração Distribuída	43
2.9	CONCEITOS DE ENGENHARIA ECONÔMICA	44
2.9.1	Fluxo de Caixa	45
2.9.2	Técnicas de Análise de Investimentos	46
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA</b>	54

3.1	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	54
3.1.1	Classificação do Consumidor .....	55
3.1.2	Irradiação Solar Incidente .....	55
3.1.3	Dimensionamento do Arranjo Fotovoltaico .....	59
3.1.4	Dimensionamento dos Painéis para o Arranjo Fotovoltaico .....	61
3.1.5	Dimensionamento do Inversor de Frequência .....	64
3.1.6	Orçamento do Sistema de Geração Fotovoltaico Proposto .....	66
3.2	ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO .....	68
3.2.1	Inflação do Custo da Eletricidade .....	69
3.2.2	Energia Gerada pelo Sistema Proposto .....	70
3.2.3	Custos de Substituição de Inversores .....	71
3.2.4	Custos de Manutenção do Sistema de Geração .....	72
3.2.5	Custo da Demanda Contratada .....	72
3.2.6	Custo Devido a Bandeira Tarifária na Conta de Energia .....	72
3.2.7	Custo Devido Consumo de Energia no Horário de Ponta .....	74
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>75</b>
4.1	ANÁLISE DE VIABILIDADE DO SISTEMA PROPOSTO .....	75
4.1.1	Estudo de Viabilidade para Orçamento de Maior Valor .....	75
4.1.2	Estudo de Viabilidade para Orçamento de Menor Valor .....	79
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>84</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>86</b>
	<b>ANEXOS</b> .....	<b>92</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O aumento populacional e o uso de novas tecnologias, tem contribuído para o aumento no consumo de energia elétrica. A busca por meios alternativos de geração de energia elétrica no intuito de reduzir os impactos causados por sua falta é de grande importância para que se alcance um desenvolvimento sustentável.

Uma das questões fundamentais para o desenvolvimento sustentável está na inovação e desenvolvimento de tecnologias de conversão e aproveitamento de recursos energéticos naturais. A necessidade de energia para o desenvolvimento de um país é inquestionável, porém a aplicação de tecnologias que buscam o incremento da eficiência energética e a sustentabilidade da produção asseguram e possibilitam um desenvolvimento com impactos ambientais reduzidos (PEREIRA, E B *et al*, 2017).

Um dos fundamentos da sustentabilidade econômica de um país conforme TOLMASQUIM (2012), é a sua capacidade de prover logística e energia para o desenvolvimento de sua produção.

Para PINHO & GALDINO (2014), a energia solar hoje é uma das alternativas energéticas mais promissoras para prover fornecimento de energia necessário para o desenvolvimento humano.

No Brasil conforme Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 68,1% da geração de energia elétrica, considerando também a energia importada, é proveniente de usinas hidrelétricas. Devido às condições hidrológicas desfavoráveis, em 2017 houve redução de 3,4% da energia hidráulica disponibilizada em relação ao ano anterior. Apesar da menor oferta hídrica, a participação de renováveis na matriz elétrica atingiu 80,2% em 2017 (EPE, 2018).

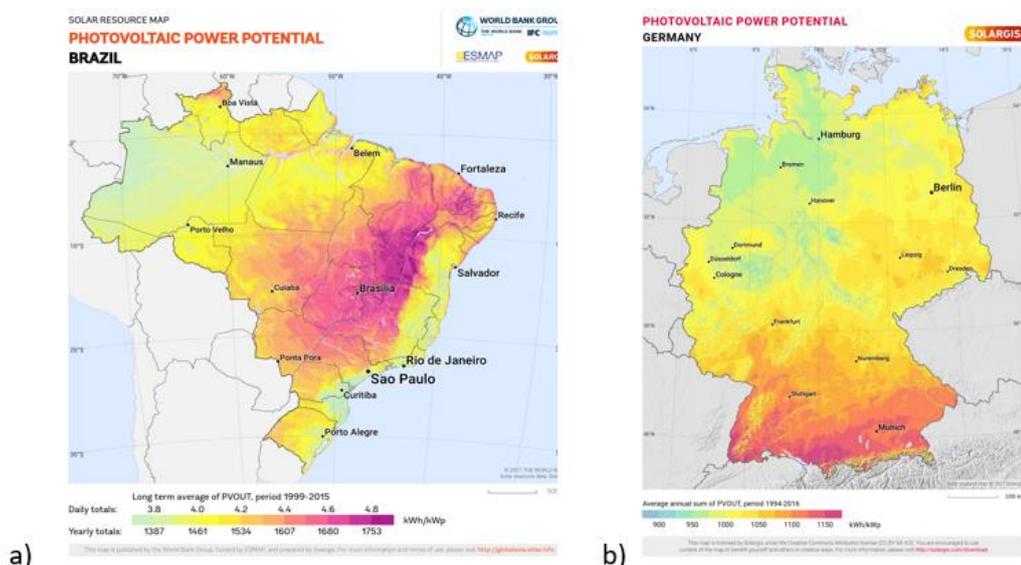
Uma dificuldade existente na geração hidráulica é devido à variação de chuvas em determinadas regiões ou períodos do ano, o que torna o sistema instável e por vezes dependentes de um sistema auxiliar como o de usinas termoelétricas.

A Micro e Mini Geração Distribuída, incentivada por recentes ações regulatórias que viabilizaram a compensação da energia excedente produzida por sistemas de menor porte (net metering), atingiu 359,1 GWh de geração em 2017, com uma potência instalada de 246,1 MW. Comparado aos 104 GWh produzidos em 2016, isso corresponde a um aumento de 245% na potência energética gerada. Destaque para a fonte solar fotovoltaica, com 53,6 GWh e 174,5 MW de geração e potência

instalada respectivamente. Considerando o total de geração distribuída no país em 2017, a energia solar corresponde a 46,2% (EPE, 2018).

O potencial energético para a geração de energia através de painéis fotovoltaicos em nosso país é excelente. O uso de sistemas fotovoltaicos possibilita a geração distribuída de eletricidade com plantas de pequena e média escala instaladas em edifícios residenciais e comerciais que produzem energia para consumo próprio e despacham o excedente para distribuição na rede do sistema elétrico. A geração distribuída pode contribuir para a redução de perdas no Sistema Interligado Nacional (SIN) (PEREIRA, E B *et al.*, 2017).

Conforme SOLARGIS (2019), percebe-se a disponibilidade de dados de vários países de acordo com suas potencialidades de geração com utilização de sistemas fotovoltaicos. Na figura 1 (b) é possível verificar que a região mais ao Sul da Alemanha possui a maior potencialidade de geração de energia neste país, tendo como seu valor máximo de geração estimado em 1150 kWh/kWp/ano. De outra maneira podemos observar o mapa do Brasil na figura 1 (a), sendo que este também possui grande potencialidade de geração e a área com potencialidade de geração é muito maior que a observada na Alemanha. A região com menor potencial de geração no Brasil possui uma capacidade de geração estimada em 1387 kWh/kWp/ano, valor superior ao ponto de maior capacidade de geração da Alemanha. Fica evidente que o Brasil tem um ótimo recurso solar para investir em geração fotovoltaica.



**Figura 1 - Potencial para geração fotovoltaica a) no Brasil b) na Alemanha.**

**Fonte – SOLARGIS (2019)**

Como evidência para as vantagens econômicas de adoção deste tipo de sistema de geração, em julho de 2018 foi aprovado em segundo turno na Assembleia Legislativa do Estado do Paraná (ALEP), o projeto de lei que traz benefícios fiscais aos usuários que optarem por geração própria de energia por meios renováveis. Com isso o Paraná adere às regras do Conselho Nacional de Política Fazendária (Confaz) permitindo isenção de ICMS sobre o excedente de energia elétrica de sistemas de geração distribuída (PARANA PORTAL, 2018).

Exemplos de países europeus como a Alemanha podem ser avaliados com excelentes iniciativas governamentais, pois utilizam incentivos fiscais para que os interessados possam gerar energia para seu uso. Isto está sendo conseguido através do uso de módulos fotovoltaicos, que convertem a energia do sol diretamente em energia elétrica. Desta forma, aumenta-se a disponibilidade de energia para o consumidor (URBANETZ JUNIOR, 2010).

Conforme Universidade Tecnológica Federal do Paraná – (UTFPR) (UTFPR, 2018), dados de 2015 mostram que a energia elétrica consumida no Paraná (28,9 Terawatts-hora (TWh)) é proveniente principalmente de hidrelétricas (aproximadamente 93%). Trata-se de uma fonte renovável, mas que vem encontrando cada vez mais dificuldade de expansão e exploração. Por isso, é necessário diversificar a matriz energética paranaense através de outras fontes renováveis como a solar.

Através deste trabalho objetiva-se a realização de um estudo de viabilidade técnica e econômica para implantação de um sistema de geração fotovoltaica para uma escola de formação técnica localizado em Pato Branco/ PR. Desta forma pode-se mensurar e ter a oportunidade de repassar aos gestores desta instituição evidências para que os mesmos percebam de forma clara e objetiva, as possíveis vantagens econômicas e sociais de implantação de um sistema alternativo de geração de energia.

Um trabalho de análise de viabilidade na área de geração de energia oportuniza ao acadêmico a aplicação de conceitos vivenciados em sala de aula e que muitas vezes não são vistos com mais detalhamento. Exemplo disso é a possibilidade de entender melhor as formas de conexão do sistema de geração, poder reconhecer as dificuldades e as vantagens existentes para sistemas conectados à rede, reconhecer os componentes e poder ter a capacidade de especificar estes componentes para posterior levantamento dos custos envolvidos, e com isso poder

fazer a análise de viabilidade com propriedade e com dados reais da instalação em estudo.

As áreas de Sistemas Elétricos de Potência, Geração de Energia, Economia, Instalações Elétricas, entre outras, podem ser percebidas como presentes para o processo de desenvolvimento deste estudo de viabilidade uma vez que, o sistema elétrico da instalação será avaliado e estudado para levantamento atualizado da instalação elétrica existente e as vantagens de poder ter um sistema alternativo de geração de energia.

Para a análise de viabilidade será necessário que os equipamentos para a implantação do sistema de geração sejam especificados de forma a atender os requisitos necessários para a geração fotovoltaica estipulada. Com a especificação técnica dos componentes poderá ser feito o levantamento de valores destes para que possa ser desenvolvido o estudo de viabilidade de implantação deste sistema de geração.

Como já mencionado o ambiente onde se pretende aplicar este estudo de viabilidade é uma instituição de ensino, esta instituição possui um constante empenho em busca de novas ofertas de cursos abrangendo públicos diversificados e objetivando a formação de alunos para atendimento das demandas existentes na região em que se encontra. Estes cursos em sua maioria utilizam recursos materiais para seus desenvolvimentos, e também muitos destes cursos utilizam máquinas e equipamentos elétricos como laboratórios de usinagem, soldagem instalações elétricas além de salas de aula com iluminação e ar condicionado.

Com isso, há a necessidade de manutenção das despesas necessárias para o bom andamento dos cursos ofertados e para seu funcionamento com a qualidade que se espera. Todas as áreas de atuação desta unidade trabalham com base em sustentabilidade, suas receitas e despesas precisam estar em permanente equilíbrio, sendo necessário em alguns casos realocação de pessoal, cortes de despesas, demissões e em casos extremos a extinção de determinadas áreas de atuação com repasse dos trabalhos a outras unidades devido à falta de sustentabilidade da mesma.

Um sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica com um retorno breve de seu investimento pode proporcionar uma economia considerável para a unidade de ensino como um todo.

Conforme IMAX ENERGIA (2018), um estudo desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Energias Renováveis dos Estados Unidos (NREL) analisou as taxas de

degradação dos painéis e sistemas fotovoltaicos instalados em diversas partes do mundo, estes estudos indicam que é bastante provável que um sistema instalado hoje chegue aos 25 anos com uma degradação de apenas 12,5% e conseqüentemente chegaria aos 40 anos com 80% de sua potência nominal.

Percebe-se com isso que após alcançar o tempo de retorno de investimento, tem-se ainda um tempo apreciável de vida útil do sistema de geração. Neste período os recursos provenientes da economia proporcionada pela geração, podem também ser utilizados em novos investimentos na instituição, proporcionando cursos de melhor qualidade, e ampliação das ofertas de cursos atendendo a uma quantidade maior de clientes se esta for a opção.

### 1.1 OBJETIVO GERAL

Como objetivo geral, esta pesquisa visa fazer um estudo de viabilidade econômica e financeira para implantação de um sistema de geração fotovoltaica em escola de formação técnica na cidade de Pato Branco - PR.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar o funcionamento da energia solar fotovoltaica em geração distribuída;
- Avaliar os benefícios da utilização de sistemas de geração fotovoltaica;
- Fazer o levantamento do consumo médio de energia no local proposto.
- Analisar os métodos de conexão dos sistemas de geração e escolha dos métodos adequados ao local proposto;
- Dimensionar um sistema de geração fotovoltaico que servirá de base para estudo de análise de viabilidade;
- Realizar análise da viabilidade econômica e financeira de implantação do sistema de geração fotovoltaica.
- Apresentar os resultados obtidos.

## 2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

### 2.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Conforme ANEEL (2019), desde 17 de abril de 2012, quando entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. Trata-se da micro e da mini geração distribuídas de energia elétrica, inovações que podem aliar economia financeira, consciência socioambiental e auto sustentabilidade.

Segundo as novas regras, a microgeração distribuída a central geradora com potência instalada até 75 quilowatts (KW) e minigeração distribuída aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW, conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

Quando a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida naquele período, o consumidor fica com créditos que podem ser utilizados para diminuir a fatura dos meses seguintes. De acordo com as novas regras, o prazo de validade dos créditos passou de 36 para 60 meses, sendo que eles podem também ser usados para abater o consumo de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local, desde que na área de atendimento de uma mesma distribuidora (ANEEL, 2019).

A localização geográfica do Brasil permite um aproveitamento de energia solar durante todo o ano, sendo que possui uma radiação solar global média entre 1200 KWh/m<sup>2</sup> e 2400 KWh/m<sup>2</sup>. Quando comparado a países europeus, está em um patamar elevado, visto que os países europeus são os que mais investem em fontes alternativas de consumo de energia solar FV como por exemplo Alemanha, com 900 KWh/m<sup>2</sup> a 1250 KWh/m<sup>2</sup>; Espanha com 1200 KWh/m<sup>2</sup> a 1850 KWh/m<sup>2</sup> (ORTEGA, 2013).

A energia solar é uma das alternativas energéticas mais promissoras para os desafios deste milênio. Sendo uma fonte de energia renovável e inesgotável levando

em consideração a escala de tempo da vida no planeta Terra (PEREIRA, E B *et al.*, 2017).

Uma fonte de energia viável, a energia solar fotovoltaica pode ser usada para geração de eletricidade no próprio ponto de consumo, não havendo a necessidade de linhas de transmissão ou redes de distribuição gerando energia limpa e renovável a partir da luz do sol (VILLALVA, 2015).

Conforme o relatório de situação global de energias renováveis REN21 (2018), o estudo com ano base 2017 evidencia que no cenário mundial, este foi um marco para a energia solar fotovoltaica: o mundo adicionou mais capacidade de energia fotovoltaica do que de qualquer outro tipo de tecnologia de geração de energia. Este incremento foi maior do que as capacidades líquidas de combustíveis fósseis e energia nuclear combinados quando comparados ao mesmo período.

Em 2017, a energia solar fotovoltaica foi a principal fonte de energia nova em vários mercados importantes, incluindo China, Índia, Japão e os Estados Unidos. Globalmente, pelo menos 98 GW de energia solar fotovoltaica foram instaladas (on-grid e off-grid), aumentando a capacidade total em quase um terço, para um total cumulativo de aproximadamente 402 GW. Para que se tenha uma ideia da grandeza destes dados, em média, o equivalente a mais de 40.000 painéis solares, foram instalados a cada hora do ano. O aumento significativo do mercado em relação a 2016 deveu-se principalmente para a China, onde novas instalações cresceram em mais de 50%, e a Índia onde o mercado para este tipo de geração dobrou de tamanho. A China instalou mais sistemas de geração fotovoltaica em 2017 do que o mundo todo em 2015 (REN21, 2018).

Com base nos dados mencionados percebe-se ainda na figura 3, em uma análise de 10 anos entre 2007 e 2017, o crescente aumento na implantação de sistemas de Geração fotovoltaica, e ainda a tendência deste método de seguir em plena expansão mundial de forma cada vez mais expressiva

## Capacidade Mundial e Adições Anuais de Energia Fotovoltaica, 2007 - 2017

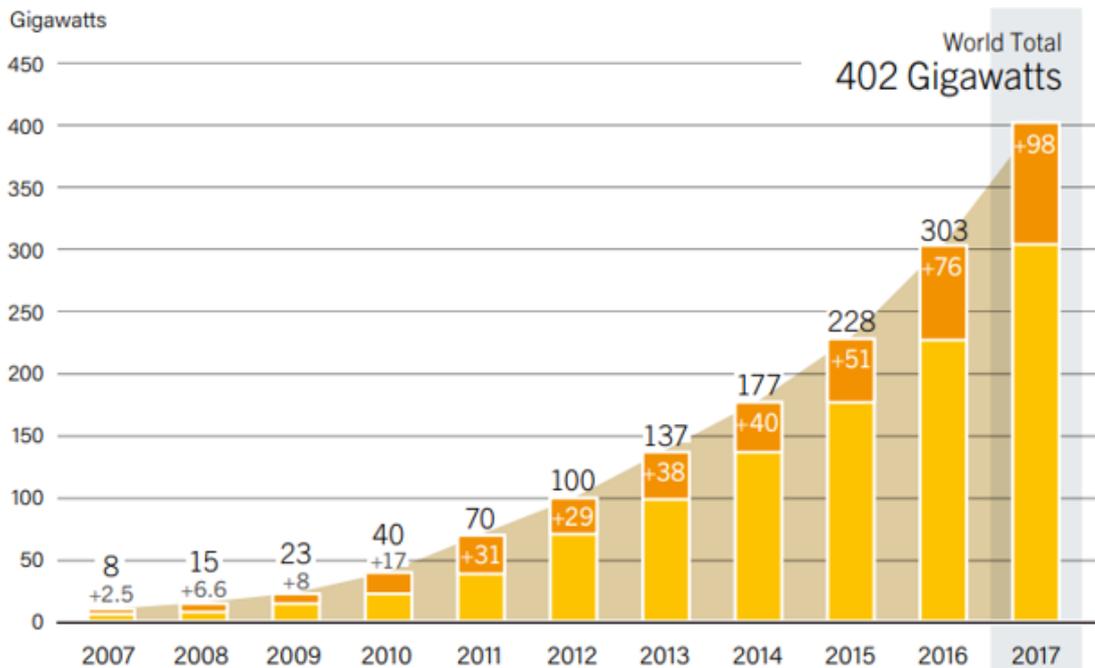


Figura 2 – Comparação de adições de capacidade solar fotovoltaica mundial.

Fonte: Adaptado de REN21 (2018, p. 90).

A América Latina e o Caribe juntos ainda representam uma pequena parte da demanda global. No final de 2017, uma quantidade significativa de capacidade estava em tramitação seguindo as licitações na Argentina, Brasil, Chile e México. O Brasil tornou-se o segundo país da região (depois do Chile) a exceder 1 GW de capacidade fotovoltaica solar, adicionando quase tudo em um único ano (0,9 GW) para um total de 1,1 GW. Com isso, o Brasil subiu para o décimo lugar globalmente pela capacidade acrescentada em 2017, embora o país tenha por apenas cerca de 1% das adições globais (REN21, 2018).

A figura 4, apresenta as adições de capacidade global fotovoltaica, dos 10 principais países e resto do mundo, quando em comparação ao restante do mundo para o ano de 2017.

**Adições de capacidade global solar fotovoltaica, ações dos 10 principais países e resto do mundo, 2017**

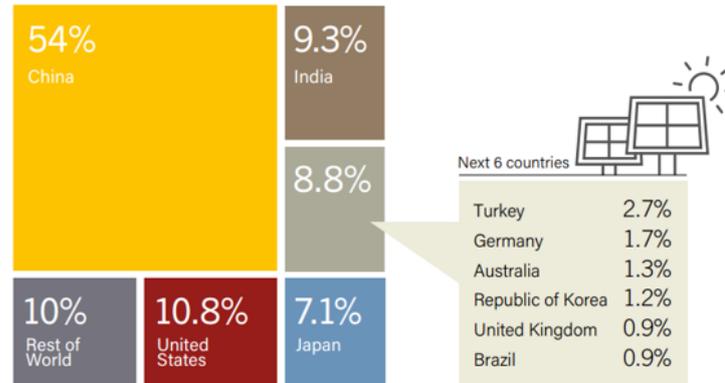


Figura 3 – Crescimento da energia solar fotovoltaica no mundo entre 2007 e 2017.

Fonte: Adaptado de REN21 (2018, p. 95).

## 2.2 A RADIAÇÃO SOLAR

A irradiância solar é a potência de Radiação Solar (RS) incidente por unidade de área. Em virtude dos movimentos da Terra, a curva de irradiância solar é bem definida em um dia ensolarado, conforme pode ser observado na figura 5.

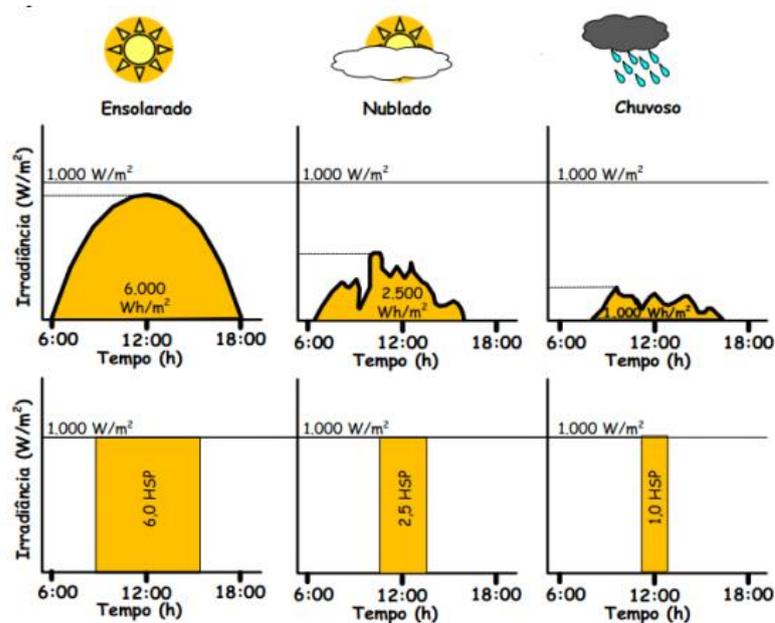


Figura 4 – Perfil de irradiância solar com diferentes condições climáticas

Fonte: PINHO & GALDINO, (2014)

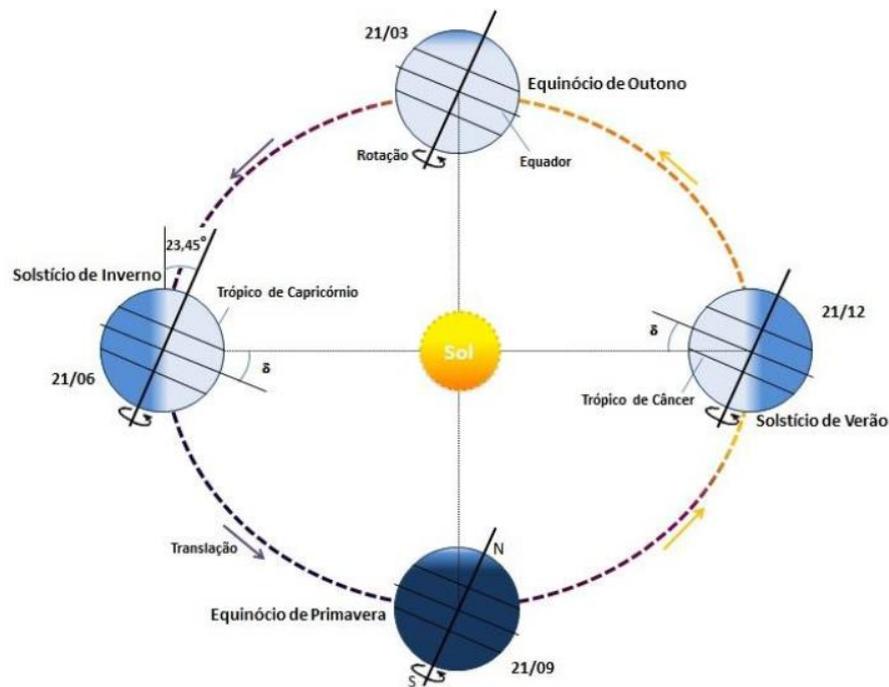
A radiação solar conforme descreve URBANETZ (2015), pode ser considerada uma transferência de energia iniciada no Sol até a superfície do nosso planeta, tendo como meio de propagação, ondas eletromagnéticas.

A radiação solar, incidente na superfície da Terra, é resultado de interações complexas de energia entre a atmosfera e a superfície. As variações de radiação incidente sobre a superfície do planeta são causados pela geometria da terra e sua rotação (sobre o próprio eixo) e revolução (em torno do sol). Outras influências podem ser ainda provenientes das características regionais e locais, o terreno (relevo) é o principal fator que modifica a distribuição de radiação. Variabilidade na elevação, inclinação da superfície e o recurso de orientação (aspecto) e sombras projetadas por terreno criam fortes variações de incidência de radiação solar nestes locais (HOFIERKA & SURI, 2002).

A radiação solar incidente sobre a superfície terrestre pode ser decomposta em duas diferentes formas, a primeira delas é a Irradiação Global Horizontal, que é a quantidade de radiação recebida por uma superfície plana horizontal sendo esta proveniente de todas as direções e que atinge a superfície após sofrer espalhamento pela atmosfera terrestres e objetos próximos e a Irradiação Normal Direta, que é a parcela que atinge o solo diretamente, sendo que esta segunda não sofre os efeitos de reflexões (PINHO & GALDINO, 2014).

As diferentes posições do Sol em relação a Terra durante o ano devido aos movimentos de translação causando uma trajetória elíptica em volta do sol e durante os dias e noites devido aos movimentos de rotação da terra ocasionando dias e noites, fazem com que aos índices de incidência de radiação solar sobre a superfície do planeta sofra uma variação nesses períodos. Em certos períodos o planeta está mais próximo do sol e em outros está mais distante. Outro fator de variação de incidência de radiação solar deve-se a inclinação do eixo axial da Terra em relação ao eixo de rotação de aproximadamente  $23,45^\circ$  fazendo com que haja um impacto na irradiação solar no movimento de translação.

Na figura 6, podemos perceber as diferentes posições do planeta em relação ao sol nos movimentos de translação e rotação.



**Figura 5 – Variação do ângulo de declinação solar ao longo do ano de acordo com o movimento de translação e de rotação do planeta Terra**

Fonte: PINHO & GALDINO, (2014)

A dificuldade em se ter instrumentos adequados e o número reduzido de estações meteorológicas para esta finalidade torna difícil a obtenção de dados com intervalos reduzidos, o que torna o estudo de instalação de sistemas de geração fotovoltaicos de difícil confiabilidade, uma vez que em uma situação real a posição do sol e a incidência da irradiação solar sobre o sistema de geração muda a todo instante.

Uma forma de amenizar estas dificuldades no estudo de implantação de sistemas de geração fotovoltaica é a opção por utilização de dados históricos de medições de radiação solar de superfície obtidas no passado por estações meteorológicas e dados de estudos realizados por estas estações.

Outra opção de levantamento de forma de obtenção de valores de radiação com base em estimativas realizadas por imagens de Satélite.

Ainda uma terceira opção é a utilização de programas computacionais que auxiliam no levantamento de dados necessários para o dimensionamento adequado de um sistema de geração fotovoltaica.

Para o desenvolvimento deste trabalho optou-se pela utilização índices de radiação solar incidente para o local em estudo, baseados em análise de dados históricos obtidos por programas computacionais e disponibilizados por sites especializados.

### 2.2.1 Programas de Simulação e Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos.

De acordo com FREITAS (2008), os simuladores de sistemas fotovoltaicos utilizam modelos de fluxo energético capazes de simular a interação existente entre os componentes de um sistema de geração fotovoltaica. Os primeiros programas foram desenvolvidos nos Estados Unidos.

Encontra-se disponível e em várias situações de forma livre uma infinidade de programas de dimensionamento e simulação de sistemas fotovoltaicos, sendo estes de grande valia para quem pretende projetar um sistema fotovoltaico (FREITAS, 2008).

Como exemplo de programas computacionais utilizados temos o programa SunData 3.0 destina-se ao cálculo da radiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional e constitui-se em uma tentativa do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB) de oferecer uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos (CRESESB, 2019).

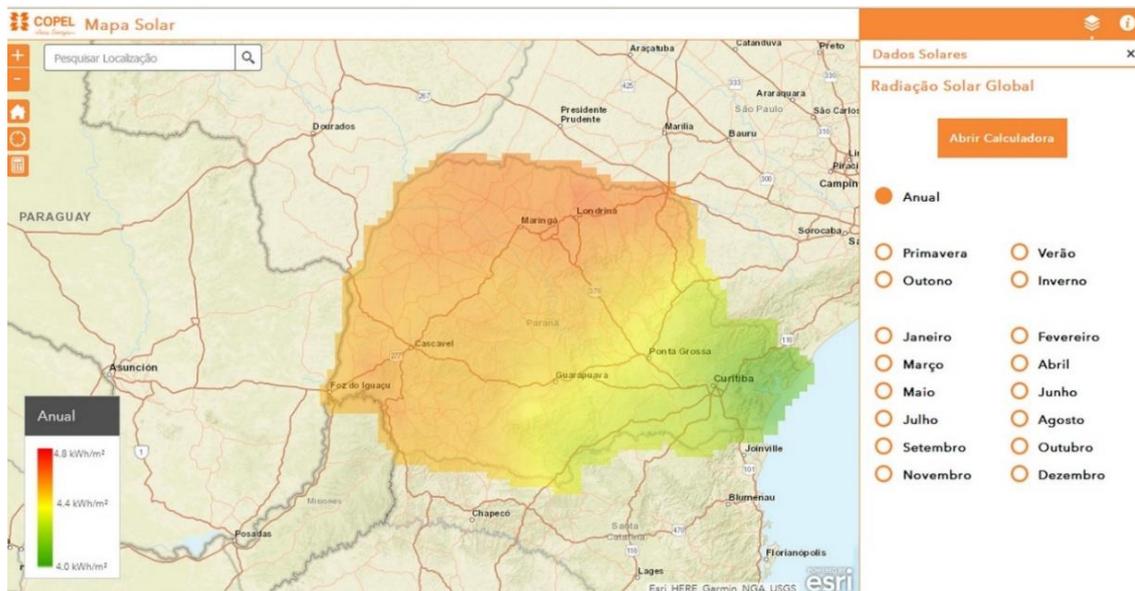
Outra opção para consulta de radiação solar local será possível através da utilização da Ferramenta Interativa Web do Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná, uma ferramenta útil que permite navegar pelo Atlas, visualizar o potencial solar e fotovoltaico em qualquer local do estado (TIEPOLO, G. M. *et al.*, 2017).

A radiação solar no local de geração é um dos pontos mais importantes do projeto, para isso tanto o software SunData 3.0 quanto a Ferramenta Interativa Web, são exemplos de softwares que permitem a aquisição de índices de irradiação.

A Companhia Paranaense de Energia Elétrica (COPEL), disponibiliza um software onde é possível para qualquer região do estado do Paraná, a obtenção de

dados uteis a elaboração de projetos de implantação de sistemas de geração fotovoltaicos.

A figura 7 possibilita uma visão do software disponibilizado pela COPEL, o qual fornece informações sobre a incidência de raios solares no Paraná e provê dados importantes para a geração de energia a partir do sol. Acessível gratuitamente pela internet, a ferramenta permite verificar a radiação em todas as regiões do Estado do Paraná, em qualquer período do ano (AEN, 2019).



**Figura 6 – Mapa Solar COPEL.**

Fonte: AEN, (2019)

### 2.3 EFEITO FOTOVOLTAICO

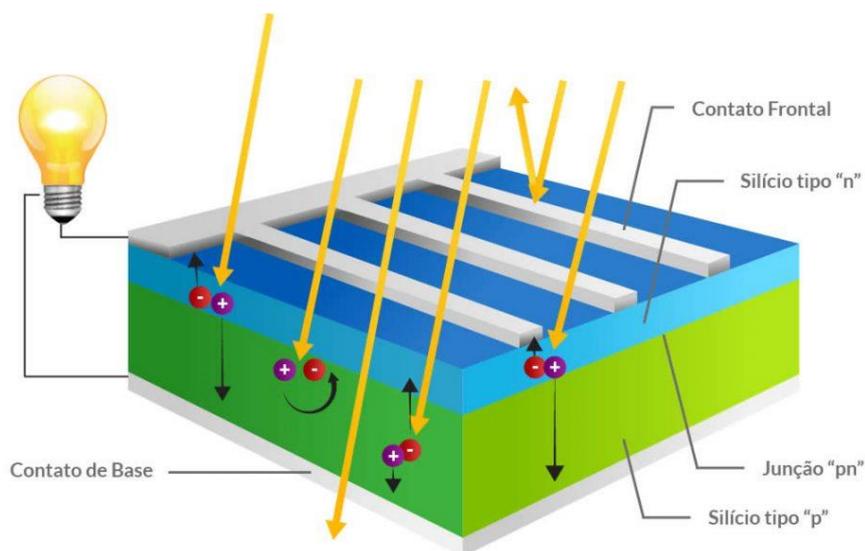
O efeito fotovoltaico, que é a base dos sistemas de energia solar fotovoltaica para a geração de eletricidade, consiste na transformação da radiação eletromagnética do sol em energia elétrica, através da criação de uma diferença de potencial ou tensão elétrica, sobre uma célula formada por diferentes materiais semicondutores. Caso a célula seja conectada a dois eletrodos, haverá tensão elétrica sobre eles. Se houver um caminho elétrico entre os dois eletrodos, surgirá uma corrente elétrica (VILLALVA, 2015).

Para WGSOL (2019), o entendimento do funcionamento de um sistema fotovoltaico é facilitado quando se tem em mente que a luz solar é composta de fótons, que podem ser consideradas como partículas de energia que contem diferentes níveis de energia conforme os comprimentos de onda do espectro solar. Ao incidir com as células do coletor fotovoltaico essa energia em forma de fótons pode ser refletida, absorvida ou ainda atravessar o material.

Para que exista geração de corrente elétrica nos módulos fotovoltaicos, é necessário que os fótons sejam absorvidos pelo coletor. Assim que eles são absorvidos, a energia do fóton é transferida para um elétron em um átomo da célula. Quando isto acontece com um fóton apenas, não há utilidade nenhuma. Entretanto, quando isto acontece numa escala maior, gera-se a tão desejada corrente elétrica (WGSOL, 2019).

O silício (Si), possui quatro elétrons em sua camada de valência, desta forma ao interagirem com átomos cujas camadas mais externas tenham três ou cinco elétrons (boro e fósforo, geralmente), haverá um elétron em excesso ou em falta para que a estabilidade eletrônica seja obtida e este processo de agregar “impurezas” a elementos semicondutores, denominado dopagem, possibilita o efeito fotovoltaico (WA SOLAR, 2019).

A figura 8 demonstra um esquema simplificado de uma célula fotovoltaica (FV) e alguns fenômenos que ocorrem quando a radiação solar incide sobre a célula.



**Figura 7 – Célula fotovoltaica de silício cristalino**

Fonte: SEGUEL, (2009)

Ainda segundo SEGUEL (2009), outras influências podem fazer com que a eficiência das células de conversão de energia diminua, são elas:

- A recombinação do elétron livre com uma lacuna na absorção pelo fóton;
- A eficiência pode ser comprometida devido aos contatos do material semicondutor e superfícies de contatos elétricos;
- A reflexão da radiação incidente faz com que a eficiência das células diminua;
- A eficiência tem variação ainda com a alteração de temperatura da célula.

## 2.4 PAINÉIS SOLARES

A energia luminosa do sol pode ser convertida diretamente em eletricidade pelo efeito fotovoltaico. Esse processo ocorre nas células fotovoltaicas, que podem ser construídas por diferentes tecnologias, tais como as células de silício cristalino e de filme fino (VILLALVA, 2015).

A célula fotovoltaica pode ser definida como a menor unidade de um sistema fotovoltaico ou simplesmente como dispositivo fotovoltaico básico ou ainda a unidade básica destinada a efetuar a conversão direta de energia solar em energia elétrica. A fim de aumentar a quantidade de energia disponível, normalmente se agrupam vários conjuntos de células, uma vez que uma célula individualmente produz pouca energia elétrica (ALVES, 2016).

Uma célula fotovoltaica possui a capacidade de converter a energia solar luminosa (radiação) em corrente elétrica. São basicamente constituídas de materiais semicondutores, sendo o silício o material mais empregado (CRESESB, 2019).

Entre os materiais utilizados para a fabricação de painéis fotovoltaicos pode-se citar alguns semicondutores comumente empregados: silício (Si) cristalino (c-Si), multicristalino (m-Si) com eficiência de conversão aproximada de 15%, amorfo (a-Si) com eficiência próxima de 8% e microcristalino ( $\mu$ -Si) em que a eficiência de geração fica entre 8% e 9%; telúrio (Te); cádmio (Cd); cobre (Cu); índio (I); gálio (Ga); selênio (Se), entre outros (RÜTHER, 2004).

Em qualquer instalação de painéis fotovoltaicos, o módulo solar fotovoltaico é o elemento básico do sistema gerador. A quantidade de módulos conectados em série irá determinar a tensão de operação do sistema em corrente contínua (CC). A corrente do gerador solar é definida pela conexão em paralelo de painéis individuais ou de conjuntos de módulos conectados em série (*strings*). A potência instalada, normalmente especificada em CC, é dada pela soma da potência nominal dos módulos individuais (RÜTHER, 2004).

Para ALVES (2016), um agrupamento de células fotovoltaicas pode receber as designações de módulo, placa ou painel fotovoltaico, ou seja, um painel, placa ou módulo corresponderá a um conjunto empacotado de células Fotovoltaicas interligadas de modo a atingir valores desejados de corrente e/ou tensão. Ou ainda um conjunto de células fotovoltaicas encapsuladas e interligadas eletricamente com a finalidade de produzir eletricidade.

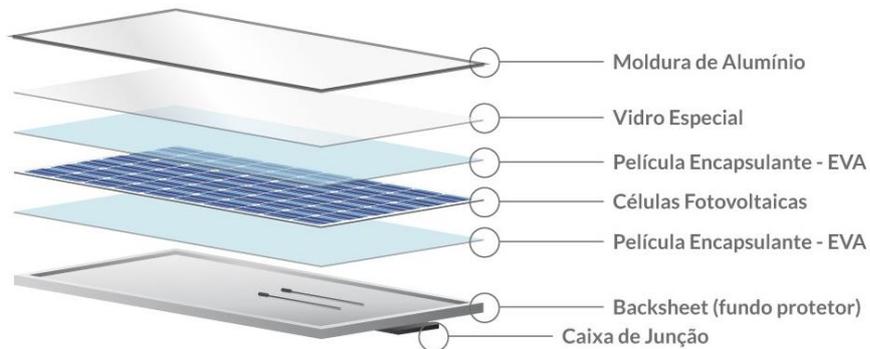
Atualmente os modelos de células fotovoltaicas existentes conseguem obter uma eficiência de aproximadamente 25%, entre os fabricantes do Brasil este percentual é ainda menor, sendo que a célula com maior eficiência chega próximo dos 17,3%. Cientistas norte-americanos conseguiram desenvolver uma célula de conversão de luz direta em energia elétrica com eficiência de 44,5%, se tornando a célula potencialmente mais eficiente do mundo disponível no mercado (AMBIENTE ENERGIA, 2017).

Os módulos fotovoltaicos são constituídos de 8 elementos:

- Moldura de alumínio: fornece estabilidade estrutural;
- Vidro temperado de alta transparência: protege as células contra intempéries;
- Encapsulante: faz a adesão entre o vidro temperado, células e backsheet;
- Células fotovoltaicas: transforma a radiação solar em energia elétrica;
- Bus bar: contatos metálicos que conectam as células entre si até a saída do módulo;
- Backsheet: parte traseira do módulo que protege contra efeitos ambientais;
- Caixa de junção: garante vedação dos contatos elétricos e armazena os diodos de by-pass;

- Cabos e conectores: realizam a condução da corrente para a carga.

Alguns desses elementos são observados na figura 9.



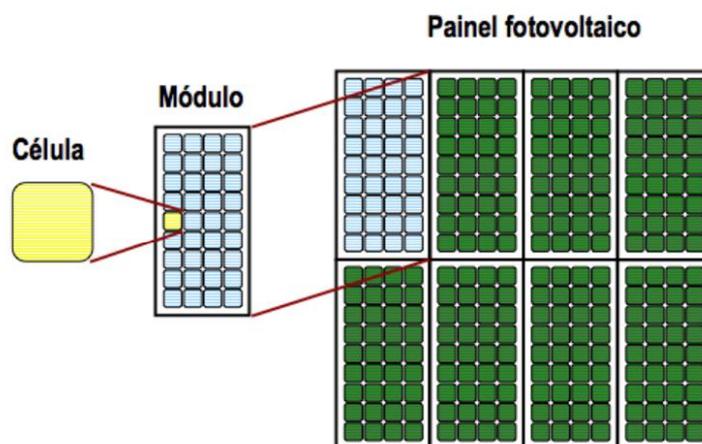
**Figura 8 – Composição dos módulos fotovoltaicos.**

Fonte: BLUESOL (2018).

O agrupamento de módulos fotovoltaicos do mesmo tipo pode ser efetuado através do estabelecimento de ligações em série, paralelo ou mista, obtendo-se assim diferentes valores de tensão ou corrente. Este procedimento, permite efetuar o controle da energia produzida pelo painel.

Quando ligados em série, as tensões produzidas nos módulos se somam e, quando ligados em paralelo, as correntes se somam. (PINHO & GALDINO, 2014).

O agrupamento de vários módulos fotovoltaicos é denominado por painel fotovoltaico (do Inglês, array). A figura 10, mostra esquematicamente a sequência do agrupamento para à obtenção de um painel fotovoltaico (CARNEIRO, 2010).



**Figura 9 – Processo hierarquizado de agrupamento: célula → módulo → painel fotovoltaico.**

Fonte: Carneiro (2010).

### 2.4.1 Curvas Características de Corrente, Tensão e Potencia

Segundo o CRESESB (2019), a especificação dos módulos é feita com base na potência de pico ( $W_p$ ), sendo que os parâmetros para sua obtenção levam em consideração a Condição Padrão de Testes (STC - Standard Test Conditions), definida pela norma IEC 61215 (International Electrotechnical Commission): considerando uma radiação solar de  $1 \text{ kW/m}^2$ , temperatura de célula  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  e Massa de Ar 1,5.

Contudo, os módulos fotovoltaicos possuem comportamentos elétricos diferentes de um sistema convencional, sendo que a tensão e a corrente nos seus terminais não apresentam valores constantes. Os valores de tensão obtidos têm dependência nos valores de corrente, sendo que o contrário também é verdadeiro. O ponto de operação do módulo fotovoltaico, ou seja, seu valor da tensão e da corrente tem ainda relação direta com o que está ligado a saída do modulo (carga).

A relação entre tensão e corrente de saída de um módulo fotovoltaico é mostrada na curva I-V da Figura 11. Todos os módulos fotovoltaicos possuem uma característica semelhante.

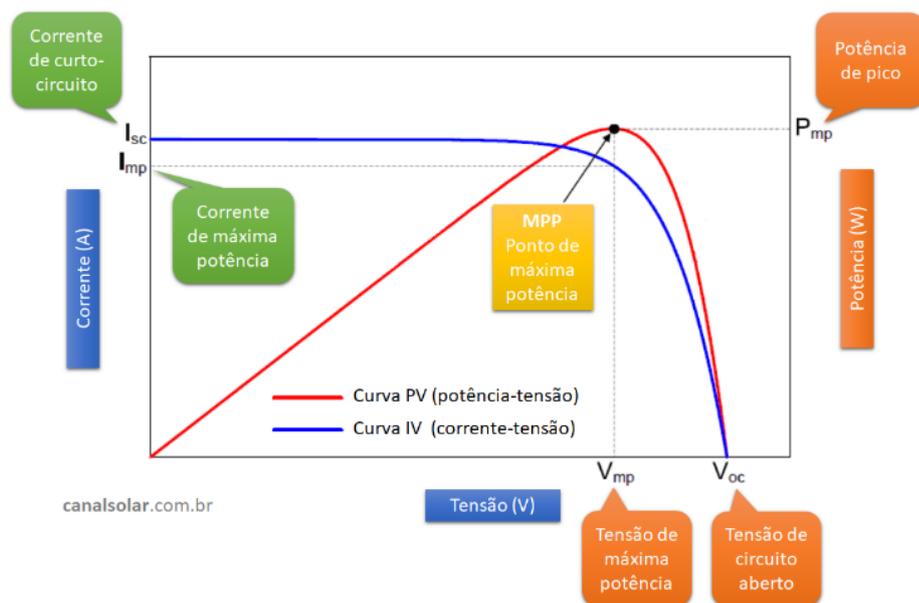


Figura 10 - Curva I-V de um módulo fotovoltaico sobreposta por uma curva típica de potência vs. tensão.

Fonte: Canal Solar (2019).

Em cada ponto da curva  $I$ - $V$ , o produto corrente-tensão representa a potência gerada para aquela condição de operação. Além da curva  $I$ - $V$  a figura 11 mostra ainda a curva de potência em função da tensão, conhecida como curva  $P$ - $V$  que identifica o ponto de máximo valor de potência, este ponto na curva de potência corresponde a um ponto na curva de corrente, com valores de tensão e correntes específicos, que são denominadas, respectivamente, de tensão e corrente de máxima potência ( $V_{mp}$ ,  $I_{mp}$ ), sendo este ponto o ponto de máxima potência  $MPP$ . Os parâmetros de  $MPP$ ,  $V_{mp}$ ,  $I_{mp}$ ,  $V_{oc}$ ,  $I_{sc}$ , são parâmetros utilizados para especificação de módulos fotovoltaicos sob condições específicas de radiação, temperatura de operação e massa de ar (PINHO & GALDINO, 2014).

## 2.5 FATORES QUE AFETAM A PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

### 2.5.1 Inclinação e Orientação dos Painéis

Conforme STROM BRASIL (2019), existe uma relação direta entre a quantidade de energia elétrica produzida pelos painéis fotovoltaicos e a radiação solar disponível no local de geração. Sendo assim, a medida que aumenta a disponibilidade dos recursos solares aumenta-se também o potencial da produção de energia elétrica. É, portanto, evidente que há uma necessidade de instalação adequada dos painéis fotovoltaicos para que estes tenham seu posicionamento direcionado aos raios solares. A produção do painel é máxima quando este se encontra instalado perpendicularmente em relação aos raios solares.

A orientação adequada do sistema de geração fotovoltaico tem como objetivo maximizar a radiação solar incidente nos painéis, maximizando a produção de eletricidade. Uma recomendação é que a instalação dos painéis seja voltada para o norte geográfico se estiverem sendo instalados no hemisfério sul e vice-versa. O ângulo de inclinação ótimo para os painéis é um valor próximo da latitude do local da instalação. No Brasil o recomendado é que os sistemas de geração fotovoltaicos tenham sua instalação voltada para norte com um ângulo de montagem no valor da latitude do local da instalação (STROM BRASIL, 2019).

A figura 12, proporciona uma verificação do ângulo de incidência da radiação solar ao longo do ano para regiões pertencentes ao hemisfério sul do planeta.

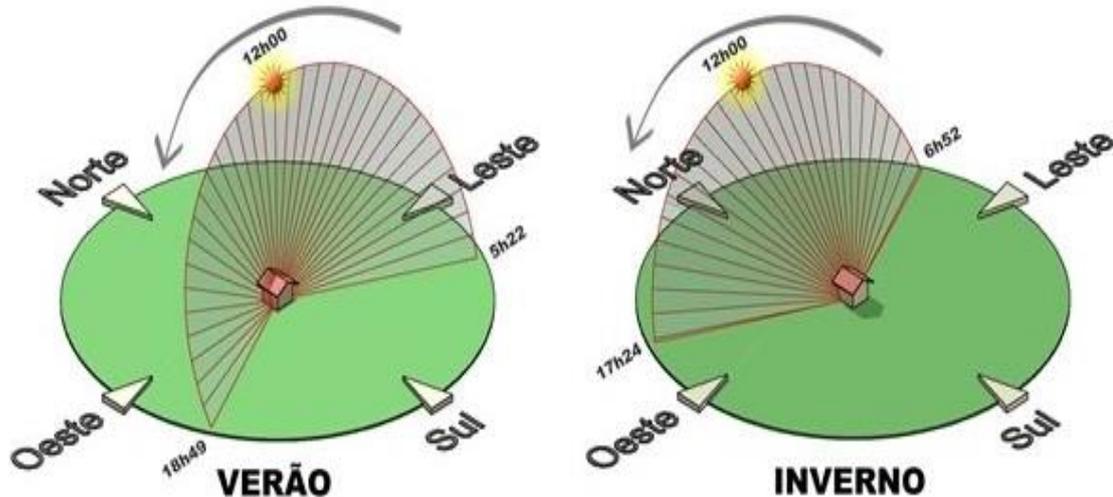
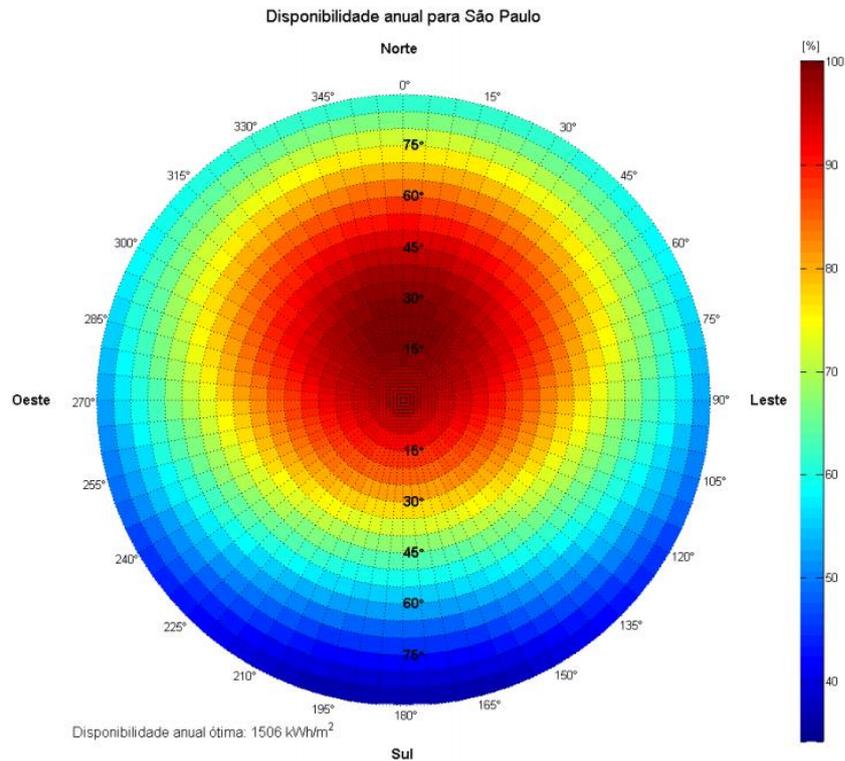


Figura 11 - Variação do ângulo de incidência de radiação solar longo do ano

Fonte: Strom Brasil (2009).

A instalação dos painéis de geração fotovoltaica quando feita de forma incorreta proporciona uma redução na quantidade de irradiação (principalmente a direta) sobre o gerador e favorece a reflexão na superfície dos módulos, fazendo com que a quantidade de radiação transformada em energia elétrica seja reduzida. Devido às próprias características das edificações em que são instalados os sistemas de geração, ou até mesmo por descuido, os geradores FV podem ficar mal posicionados, com inclinação e orientação diferentes das ótimas para a posição geográfica do local (URBANETZ, 2015).

A figura 13 apresenta um índice de aproveitamento da irradiação incidente de acordo com a inclinação dos painéis solares em relação ao plano horizontal, para uma instalação na cidade de São Paulo. Percebe-se pelo gráfico, que se os painéis estiverem posicionados em ângulos entre 15° e 30° voltado para o norte, haverá um maior aproveitamento da energia disponível neste local. Um posicionamento voltado para o sul geográfico reduziria drasticamente a quantidade de energia disponível para conversão.



**Figura 12 - Relação entre a disponibilidade anual de energia em uma superfície com orientação qualquer e em uma superfície com 23,5° de inclinação voltada para o Norte, para a cidade de São Paulo.**

Fonte: ZILLES, et al., (2012)

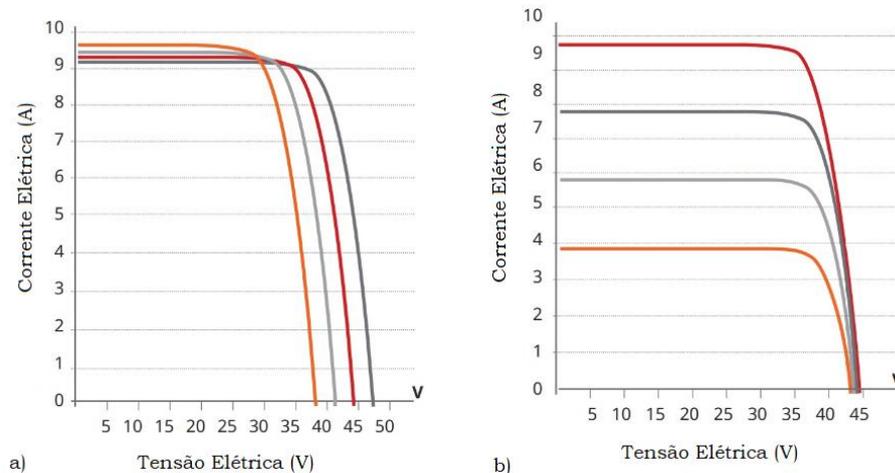
Uma forma usualmente utilizada para orientação geografia do local onde se deseja instalar os painéis é a utilização de uma bussola, este instrumento orienta-se pelo campo magnético da terrestre. Há que se observar que na maioria dos casos o norte magnético indicado pela agulha da bussola não coincide com o norte verdadeiro, sendo necessário realizar a correção do referencial magnético. Para esta correção, utiliza-se a Declinação Magnética do local de instalação, a qual pode ser obtida através de mapas e *softwares* disponibilizados por diversas organizações (VILLALVA, 2015).

Como exemplo de softwares para cálculo da declinação magnética, cita-se a calculadora para declinação magnética disponibilizada pela Heliotec equipamentos didáticos, a qual a partir da latitude e longitude do local fornece o ângulo a ser utilizado para correção do referencial magnético deste local ( HELIOTEC, 2019).

### 2.5.2 Influência da radiação solar e da temperatura

Segundo PINHO & GALDINO (2014), o aumento da temperatura da célula, reduz sua eficiência. Isso se deve ao fato de que a tensão da célula diminui significativamente com o aumento da temperatura, enquanto que sua corrente sofre uma elevação muito pequena, quase desprezível, que não compensa a perda causada pela diminuição da tensão.

Para SEGUEL, (2009) a variação de radiação solar incidente sobre os painéis fotovoltaicos produz uma variação proporcional de corrente gerada. O mesmo não ocorre com a tensão de circuito aberto dos terminais, que sofre pouca alteração devido a variação de intensidade luminosa. Diferentemente do modo anterior quando ocorre variação de temperatura nas células fotovoltaicas, ocorre uma variação proporcional de tensão, já a variação de corrente gerada pelos módulos devido a esta influência é muito pequena. Estes efeitos podem ser percebidos na figura 14 (a) e 14 (b).



**Figura 13 – Representação de curvas  $I$ - $V$  de um painel fotovoltaico com variação exclusiva de (a) temperatura e (b) radiação solar incidente sobre os painéis**

Fonte: Adaptado de VCSOLAR, (2019).

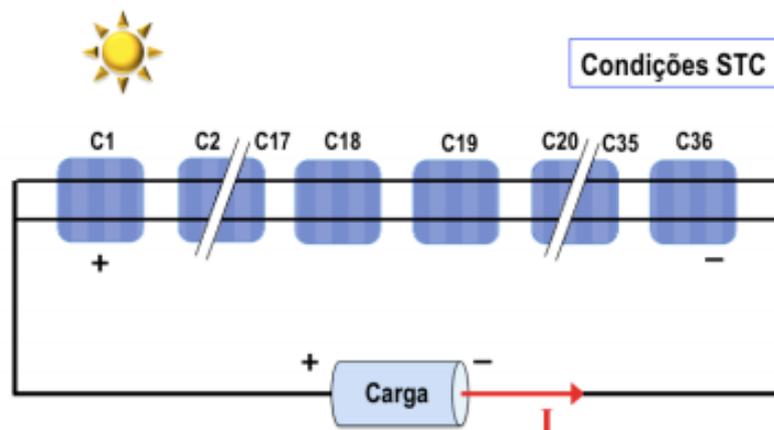
### 2.5.3 Efeito de Sombreamento

Há que se ter um cuidado especial quanto ao sombreamento dos painéis. A geração fotovoltaica tem sua performance alterada a medida que o sistema não é

iluminado de forma homogênea. Dada a característica construtiva da maioria dos módulos fotovoltaicos, em que as células solares individuais são conectadas em série, a existência de pequenos pontos de sombreamento sobre os painéis, como exemplo a sombra projetada de uma antena ou chaminé, pode reduzir consideravelmente o rendimento do sistema de geração. Esta ocorrência se deve ao fato de que a célula que recebe incidência de menor radiação devido ao sombreamento será responsável por determinar a corrente de operação de todo o conjunto a ela conectado em série e por consequência a potência será limitada por esta corrente (RÜTHER, 2004).

Os fenômenos de sombreamento que ocorram em módulos fotovoltaicos produzem consequências negativas no que diz respeito à sua eficiência e segurança. Na maioria das situações, as sombras são de natureza temporária, na medida em que resultam de fenômenos naturais que são bastante imprevisíveis. O sombreamento temporário típico, resulta por exemplo da presença de folhas, sujidade de proveniência diversa (os dejetos de pássaros, poeiras de zonas industriais, etc.), nuvens ou mesmo a neve que se possa depositar sobre os módulos fotovoltaicos (CARNEIRO, 2010).

Pode-se fazer uma comparação entre diferentes situações dos módulos fotovoltaicos em relação a situações de sombreamento. No primeiro caso o módulo formado por 36 células está funcionando normalmente alimentando uma carga em um circuito externo conforme figura 15.



**Figura 14 - Representação esquemática de um módulo fotovoltaico alimentando uma carga externa.**

Fonte: CARNEIRO, (2010).

A figura 16, proporciona visibilidade de que na ocorrência de um sombreamento pode ocorrer a inversão da polarização desta célula e neste caso esta

tensão pode chegar a valores elevados, fazendo com que esta célula funcione como uma “resistência” elétrica. Esse efeito pode provocar a conversão de energia elétrica em calor, que em alguns casos podem chegar a valores elevados provocando a destruição do módulo. (CARNEIRO, 2010).

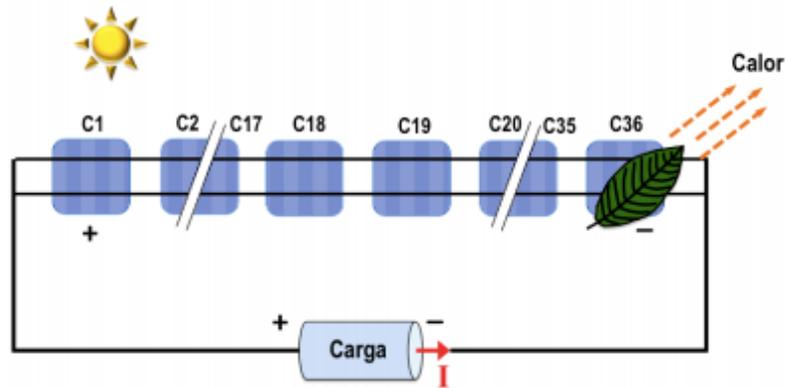


Figura 15 - Representação esquemática de um módulo fotovoltaico sombreado.

Fonte: CARNEIRO, (2010).

Uma forma minimizar a existência de pontos quentes sobre as células fotovoltaicas faz com que a corrente seja desviada da célula sombreada, com a utilização de diodos de by-pass. Com a inclusão deste diodo, as tensões inversas elevadas que surgiriam nas células sombreadas são eliminadas e desta forma a fileira se mantém em produção, embora diminuída. A figura 17 representa esquematicamente o módulo fotovoltaico contendo diodos de by-pass (CARNEIRO, 2010).

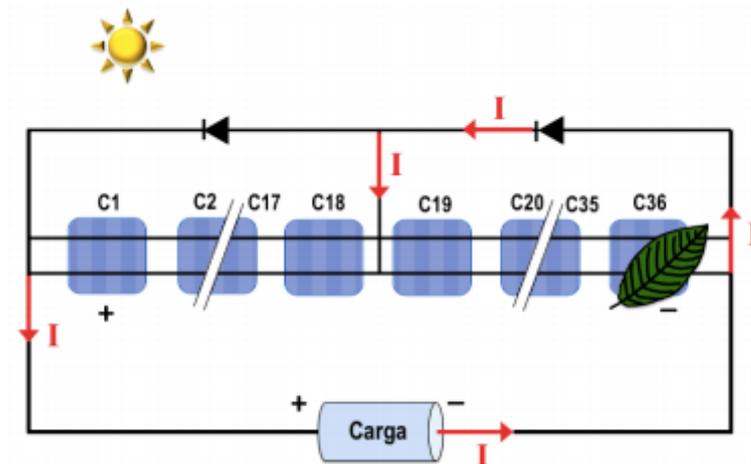


Figura 16 - Representação esquemática de um módulo fotovoltaico sombreado com diodos de by-pass.

Fonte: CARNEIRO, (2010).

#### 2.5.4 Manutenção do Sistema

Outro fator que merece atenção particular para que se tenha uma maior eficiência do sistema de geração é a manutenção. O acúmulo de sujidades sobre os painéis como poeira, resíduos de fuligem, excrementos de animais pode provocar queda na eficiência dos painéis e reduzir consideravelmente o índice de geração alcançado.

O ângulo de inclinação dos painéis tem grande influência no acúmulo de sujeira, uma vez que ângulos maiores favorecem a limpeza, pois a própria natureza se encarrega da retirada dos resíduos acumulados ou pelo menos em parte deles com auxílio de ventos e chuvas sobre os painéis. Desta forma, é recomendável que se tenha uma inclinação mínima dos painéis de pelo menos 10° em relação ao plano horizontal, reduzindo-se ao máximo a necessidade da limpeza automatizada dos painéis (PINHO E GALDINO, 2014).

#### 2.6 INVERSORES DE FREQUÊNCIA

O Inversor de frequência é um equipamento eletrônico, que possui capacidade de transformar, a tensão (CC) gerada pelos painéis fotovoltaicos em tensão (CA) com níveis utilizáveis. A potência é gerada pelas placas solares com tensão de 12 Volts em corrente contínua e os equipamentos elétricos conectados ao sistema de geração ou até mesmo a conexão na rede de energia precisa de tensões de 127/220V, isso faz com que seja necessário a conversão dos níveis de tensão com a utilização de inversores de frequência. Para estas conversões normalmente são feitas associações em série e paralelo dos painéis solares, com o intuito de aproximar as tensões dos valores ideais para as conexões elétricas do sistema (SENDERSKI, 2018).

Uma função de grande importância para inversores de sistemas FV é o Seguimento do Ponto de Máxima Potência (SPMP), também conhecido como Maximum Power Point Tracker (MPPT). O Ponto de Máxima Potência (PMP) de geração é influenciado pela variação de radiação incidente e pelo sombreamento

causado por nuvens durante o dia. O SPMP permite que, através de conversores estáticos CC - CC instalados no inversor, o arranjo FV sempre opere na tensão de máxima potência e conseqüentemente maximize a transferência de potência do sistema FV (CRESESB, 2019).

O inversor tipo *grid-tie* é o modelo utilizado para conexão à rede elétrica, este inversor tem como principal objetivo a conversão da energia para conexão à rede elétrica, mas também tem como função, proteger o sistema e garantir a segurança dos painéis fotovoltaicos, além de monitorar o desempenho de todo o sistema. Esse tipo de inversor também se encaixa como do tipo *on grid* (SENDERSKI, 2018).

A escolha do inversor é feita de acordo com a potência instalada dos painéis, em caso de pretensão de aumento de carga pode-se ainda optar por potências maiores, para suprimento destas cargas futuras. Outros parâmetros devem ser levados em consideração na escolha do inversor adequado a instalação, como a opção de ter ou não um transformador, proteção contra água e poeira, eficiência do inversor e garantia do mesmo, uma vez que os painéis solares têm vida longa de operação (BRITO, 2013).

Os inversores são utilizados de forma a garantir a não conexão a barramentos não energizados, ou ainda permitem a desconexão caso o barramento perca a alimentação principal, evitando o efeito de ilhamento, proporcionando total segurança ao sistema (RÜTHER, 2004).

Os inversores fazem o ajuste de forma contínua da potência máxima do sistema fotovoltaico em função da temperatura e radiação, além de serem responsáveis por desligar o sistema na falta de energia da rede, evitando o fenômeno de ilhamento, que é quando se forma um subsistema isolado. Este equipamento tem ainda a capacidade de corrigir o fator de potência e agir como filtro ativo (URBANETZ, 2010).

## 2.7 SISTEMAS DE GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA

A partir da resolução 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em 17 de abril de 2012, o Brasil deu o primeiro grande passo em direção ao fortalecimento das energias renováveis no país.

De acordo com ANEEL (2019), os sistemas de geração podem ser classificados a partir de sua potência instalada como podemos ver abaixo:

- a) Microgeração Distribuída: Sistemas de potência de pico instalada de até 75kW. Este tipo de sistema compreende a maioria dos sistemas fotovoltaicos residenciais.
- b) Minigeração Distribuída: São sistemas com potência de pico instalada entre 75W e 5MW. Estes sistemas de geração são, na maioria dos casos, empregados em indústrias onde o consumo de energia é muito elevado.
- c) Usina de geração de eletricidade: estes sistemas possuem potência instalada acima de 5MW. Engloba as usinas de geração voltadas para o comércio de energia elétrica.

### 2.7.1 Classificação dos Sistemas Fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos usualmente aplicados a sistemas de geração de energia são divididos quanto às suas formas de aplicação, os sistemas isolados da rede da concessionária de energia são conhecidos como sistemas (*Off - Grid*), já os sistemas de geração com conexão à rede da concessionária de energia são denominados sistemas (*On-Grid* ou *Grid-tie*).

#### 2.7.1.1 Sistemas Fotovoltaicos autônomos ou isolado (OFF GRID)

Segundo VILLALVA (2015), o sistema *off-grid* (isolado) é independente da rede elétrica convencional, sendo sua utilização muito eficiente em locais carentes de distribuição elétrica.

Os sistemas autônomos ou isolados (*Off-Grid*) representados pela figura 18 são sistemas de geração utilizados em locais desprovidos de rede elétrica para interligação do sistema de geração ao sistema de distribuição da concessionária de energia. Existem dois tipos de geradores fotovoltaicos autônomos: com armazenamento e sem armazenamento. Sistemas autônomos com armazenamento de energia podem ser utilizados em carregamento de baterias de veículos elétricos, em iluminação pública e, até mesmo, em pequenos aparelhos portáteis. Enquanto que sistemas sem armazenamento, podem ser utilizados em bombeamento de água por exemplo, este por sua vez apresenta maior viabilidade econômica, uma vez que não necessita de investimento no armazenamento de energia (ALMEIDA, 2016).

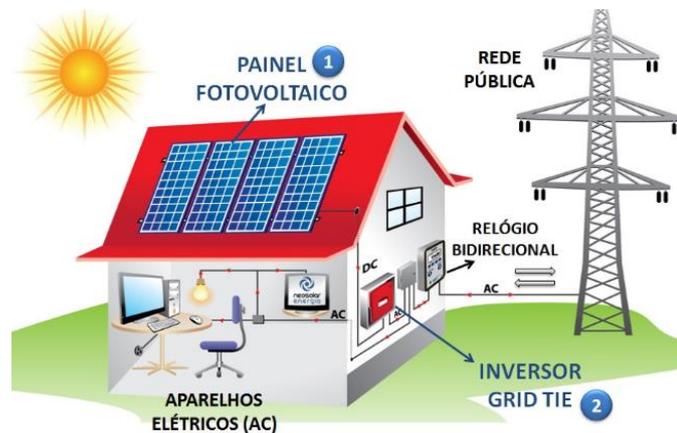


**Figura 17 - Configuração de um sistema Off-Grid.**

Fonte: (MOREIRA, 2016).

#### 2.7.1.2 Sistemas fotovoltaicos ligados à rede (*ON-GRID*)

Os sistemas ligados à rede (*On-Grid*) representado pela figura 19 são sistemas que trabalham em conjunto com a rede elétrica da distribuidora de energia. Quando este sistema é a forma escolhida para geração, o painel fotovoltaico gera energia elétrica em corrente contínua e, após convertê-la para corrente alternada, é injetada na rede de energia elétrica. Tal conversão se dá pela utilização do inversor de frequência, que realiza a interface entre o painel e a rede elétrica (PEREIRA & OLIVEIRA, 2013).



**Figura 18 - Configuração de um sistema On-Grid.**

Fonte: (MOREIRA, 2016).

Quando a escolha pelo sistema de geração for de um sistema conectado à rede, não será necessário o uso de um banco de baterias para armazenamento da energia gerada, pois este sistema fornece energia elétrica para o consumidor em conjunto com a rede de distribuição da concessionária. Com isso havendo incidência de radiação e por consequência geração de energia através dos painéis fotovoltaicos, o consumidor é atendido pela geração própria, e em caso de deficiência na geração através do sistema fotovoltaico, o atendimento da demanda de energia requerida é feito pela concessionária de energia (DE MELO, 2018).

## 2.8 NORMAS APLICÁVEIS PARA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Conforme COPEL (2014), as normas técnicas existentes para geração distribuída fornecem os requisitos para o acesso de geradores de energia elétrica on-grid, para unidades consumidoras que optaram pelo sistema de compensação de energia elétrica na micro e minigeração, criado pela Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, alterada pela Resolução Normativa ANEEL N° 687/2015.

### 2.8.1 Sistema de Compensação de Energia Gerada

Através da resolução 482/2012, quando ocorre uma geração de energia elétrica superior ao que o consumidor necessita através de módulos fotovoltaicos,

esse excedente irá para a rede elétrica da concessionária local e gera-se um crédito de energia que pode ser utilizado como desconto na próxima fatura de energia elétrica do consumidor (DE MELO, 2018).

Conforme a Resolução Normativa 687/16, quando a geração proveniente do consumidor for maior que a energia consumida em um determinado mês, esta energia vai para a rede da distribuidora e se torna um “crédito de energia” que será usado para abater o consumo de energia do consumidor em algum mês que o sistema produza menos energia do que consumiu. Estes créditos de energia, com as novas normas, possuem validade de 5 anos não podendo ser vendidos, apenas usados para abater o consumo na conta de energia elétrica (TOLEDO, 2016).

O Convênio ICMS nº 16/2015, aprovado no âmbito do Conselho Nacional de Política Fazendária (Confaz), autorizou os Estados signatários, mediante edição de legislação específica, a concederem isenção do ICMS incidente sobre a energia elétrica fornecida pela distribuidora à unidade consumidora, na quantidade correspondente à soma da energia elétrica injetada na rede de distribuição pela mesma unidade consumidora ou por outra unidade do mesmo titular, através de geração distribuída com capacidade instalada de até 1 MW, nos termos da Resolução Normativa nº 482/2012 (BRASIL ENERGIA, 2019).

A partir de 16 de maio de 2018, o Paraná, juntamente com os Estados do Amazonas e de Santa Catarina aderiram as regras do CONFAZ e autorizaram a isenção do ICMS, incluindo-se no Convênio ICMS 16/15. A isenção do ICMS pelo convênio ocorre quando a unidade consumidora gera energia acima da demanda da unidade e injeta o excedente na rede energia elétrica. A energia gerada pelo consumidor recebe o benefício da isenção do ICMS, porém a energia disponibilizada pela concessionária de energia em caso de geração insuficiente, continua com a tributação normal como os demais consumidores que não possuam sistemas de geração.

No estado do Paraná a isenção do ICMS ocorre apenas sobre a Taxa de Energia (TE), já as Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) permanecem sem isenção destes impostos mesmo aos consumidores que possuem geração própria de energia. A alíquota do ICMS relativa ao fornecimento de energia elétrica para o Estado do Paraná vigente é de 29%(COPEL,2019).

### 2.8.2 Bandeiras Tarifárias

A ANEEL (2019), estabelece que desde o ano de 2015, as contas de energia passaram a apresentar uma tarifa diferenciada denominada bandeira tarifária, esta tarifa foi dividida em três categorias denominadas bandeira verde, amarela e vermelha – referenciadas as cores dos semáforos tem por finalidade repassar a informação de que haverá ou não acréscimo no valor da energia a ser repassada ao consumidor final, em função das condições de geração de eletricidade. Cada modalidade apresenta as seguintes características:

- Bandeira verde: condições favoráveis de geração de energia. A tarifa não sofre nenhum acréscimo;
- Bandeira amarela: condições de geração menos favoráveis. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,015 para cada quilowatt-hora (kWh) consumidos;
- Bandeira vermelha - Patamar 1: condições mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,040 para cada quilowatt-hora kWh consumido.
- Bandeira vermelha - Patamar 2: condições ainda mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,060 para cada quilowatt-hora kWh consumido.

Todos os consumidores cativos das distribuidoras serão faturados pelo Sistema de Bandeiras Tarifárias, com exceção daqueles localizados em sistemas isolados (ANEEL, 2019).

### 2.8.3 Procedimentos de Acesso à Micro e Minigeração Distribuída

Conforme COPEL (2019), o cliente interessado em aderir ao sistema de compensação de energia elétrica deve formalizar à Copel sua intenção através de uma Solicitação de Acesso disponibilizada pela concessionária de energia.

O sistema da unidade consumidora em estudo pertence ao grupo A4, e com isso deve seguir as recomendações da concessionária de energia local para a instalação de geração fotovoltaica.

No sistema de compensação de energia elétrica, a potência instalada de geração é limitada à Potência disponibilizada, conforme segue:

Potência disponibilizada: potência que o sistema elétrico da distribuidora deve dispor para atender aos equipamentos elétricos da unidade consumidora e configurada com base nos seguintes parâmetros:

- Unidade consumidora do grupo A: a demanda contratada, expressa em quilowatts (kW);

Para projetos envolvendo unidades consumidoras existentes, caso a capacidade de geração seja superior à entrada de energia ou a demanda contratada, estes valores devem ser revisados. Neste caso, antes da apresentação da solicitação de acesso, o consumidor deve solicitar aumento de carga para que a potência disponibilizada se torne igual ou superior à capacidade instalada da central geradora (COPEL, 2019).

No caso da COPEL, a solicitação de acesso deverá ser enviada através do Projeto Elétrico Web (PEW), anexando nos campos específicos os documentos listados no respectivo formulário (ANEXO A, ANEXO B e ANEXO C) de solicitação de acesso, contendo as principais informações sobre o titular da unidade consumidora e o tipo de geração que será realizado, assim como potência instalada e tensão de fornecimento de energia (COPEL, 2019).

Deve-se ainda encaminhar à concessionária de energia a anotação de responsabilidade técnica referente ao projeto e a instalação do sistema de geração fotovoltaica.

## 2.9 CONCEITOS DE ENGENHARIA ECONÔMICA

A busca por retornos lucrativos e sustentáveis são de fundamental importância para realização de investimentos como geração de riqueza. Para que haja a criação de valor ou riqueza, os custos dos capitais empregados devem ser menores

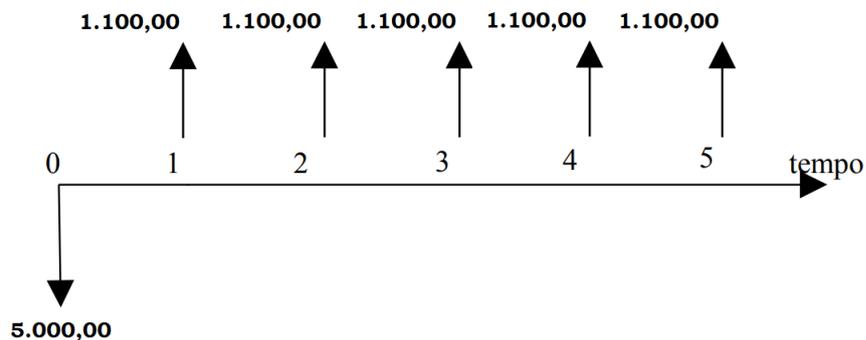
que os retornos destes investimentos, fazendo com que os valores líquidos dos resultados sejam positivos, agregando riqueza para o investidor e para o próprio investimento (SVIECH e MANTOVAN, 2013).

### 2.9.1 Fluxo de Caixa

As várias alternativas de um estudo econômico são representadas por fluxos de caixa, ou seja, entradas e saídas monetárias apresentadas com as respectivas datas. O fluxo de caixa é, portanto, um modelo de investimento em perspectiva.

Segundo CASAROTTO FILHO e KOPITTKKE (2000), a representação do fluxo de caixa de um projeto consiste de uma escala horizontal onde são marcados os períodos de tempo e na qual são representadas com setas para cima as entradas e com setas para baixo as saídas de caixa. A unidade de tempo - mês, semestre, ano - deve coincidir com o período de capitalização de juros considerado.

A figura (29) representa um diagrama de fluxo de caixa onde a linha horizontal representa o tempo decorrido após o investimento inicial. As setas para baixo são os valores investidos no projeto, ou seja, as saídas. E as setas para cima indicam os retornos do investimento ou as entradas.



**Figura 19 – Diagrama de Fluxo de Caixa.**

Fonte: Autoria própria.

## 2.9.2 Técnicas de Análise de Investimentos

A empresa percebe um investimento, como um desembolso que é feito com intuito de obter vantagens futuras, em período usualmente superior a um ano. Hoje, em função da própria dinâmica dos negócios, as técnicas de análise de investimentos estão sendo usadas tanto para investimentos de porte, associados a longos horizontes de planejamento, como também para operações de curto prazo, como, por exemplo, nas decisões rotineiras sobre compras à vista ou a prazo (SOUZA E CLEMENTE, 2008).

O grande campo de aplicação das técnicas de análise de investimentos, sem dúvida, ainda está associado ao processo de geração de indicadores utilizados na seleção de alternativas de investimentos. A decisão de fazer investimento de capital é parte de um processo de geração de indicadores utilizados na seleção de alternativas de investimento (SOUZA E CLEMENTE, 2008).

Segundo SOUZA E CLEMENTE (2008), as técnicas de análise de investimentos podem ser subdivididas em dois grandes grupos, quais sejam:

- Técnicas que servem para selecionar projetos, nesta categoria estão os chamados Métodos Robustos de Análise de Investimentos, que são:
  - a) Método do Valor Presente Líquido (VPL);
  - b) Método dos Custos Médios por Período;
  
- Técnicas que servem para gerar indicadores adicionais para os projetos já selecionados, nesta categoria estão os chamados métodos classificatórios ou de corte, como, por exemplo:
  - a) Método da Taxa Interna de Retorno (TIR);
  - b) Método do Índice Benefício/Custo (IBC);
  - c) Método do período de Retorno de Capital (*Payback*);

O que diferencia basicamente as duas categorias de análise de investimentos é o fato de que os Métodos Robustos de análise sempre retornam a mesma classificação para um grupo de projetos avaliados, já os Métodos Classificatórios ou de Corte, podem apresentar resultados contraditórios e, por essa razão, devem ser evitados no processo inicial de seleção de projetos (SOUZA E CLEMENTE, 2008).

O VPL e a TIR são nomeados em grande parte da literatura financeira como os métodos mais tradicionais e eficientes na avaliação de projetos de investimentos. Com intuito de completar os conceitos necessários ao estudo da TIR e VPL, a Taxa Mínima de Atratividade e o Payback também serão explanados (SVIECH e MANTOVAN, 2013).

#### 2.9.2.1 Taxa mínima de atratividade (TMA)

Os métodos de análises de investimentos geralmente levam em consideração uma taxa de desconto denominada de taxa mínima de atratividade (TMA) para a comparação e ou análise deste retorno. Normalmente as empresas utilizam como TMA os custos dos financiamentos ou os índices econômicos, levando em conta também o risco dos projetos (SVIECH e MANTOVAN, 2013).

Conforme CASAROTTO E KOPPITKE (2000), a TMA representa a taxa que os investidores esperam obter de um projeto e que seja equivalente à rentabilidade de outras aplicações realizadas e de pouco risco. Em outras palavras, é uma taxa de juros que representa o mínimo que um investidor se propõe a ganhar quando faz um investimento.

Conforme LIMA (2002), no Brasil é comum considerarmos, a valorização equivalente à caderneta de poupança como sendo a taxa mínima de atratividade (TMA) para pessoas físicas. No caso das empresas existem fatores que tornam mais complexa a determinação da TMA, entre os quais destacam-se:

- Taxa de juros dos bancos comerciais;
- Taxa de juros dos bancos de investimento;
- Valorização dos títulos públicos;
- Valorização de estoques;
- Rentabilidade da empresa;

- Rentabilidade das cadernetas de poupança.

Quando associada a investimentos financeiros a TMA costuma representar a rentabilidade do ativo livre de risco de uma economia, também chamada de “taxa livre de risco”.

Normalmente considera-se como ativos livres de risco títulos públicos pós-fixados na taxa básica de juros da respectiva economia – Sistema Especial de Liquidação e Custódia (WR PRATES, 2019).

Como há uma segurança muito grande em investimentos atrelados à taxa SELIC, para este trabalho considerou-se uma TMA tendo como base a taxa SELIC, que em junho de 2019, era de 6,5% a.a.

#### 2.9.2.2 Método do Valor Presente Líquido

Para Sousa e Clemente (2008), o método do Valor Presente Líquido (VPL), com certeza, é a técnica robusta de análise de investimento mais conhecida e mais utilizada. O Valor Presente Líquido, como o próprio nome indica, nada mais é do que a concentração de todos os valores esperados de um fluxo de caixa na data zero. Para tal, usa-se como taxa de desconto a Taxa de Mínima Atratividade da empresa (TMA).

A decisão de um gestor em investir em um projeto com base no Valor Presente Líquido representa o valor do investimento na data inicial do mesmo. Como temos de considerar o valor do dinheiro no tempo, um valor investido no início do projeto não terá o mesmo valor após certo tempo, e poderia ter sido aplicado em outras formas de investimentos com rentabilidades de maior valor (DA SILVEIRA, 2019).

Considerando o valor da TMA como taxa a ser utilizada no processo de descapitalização, Sousa e Clemente (2008), demonstra que o Valor Presente Líquido pode ser calculado pela equação 1.

$$VPL = -CF_0 + \sum \frac{CF_J}{(1+TMA)^J} > 0 \quad \forall J = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Onde:

CFj representa o valor do fluxo de caixa;

j é o tempo de análise;

CF<sub>0</sub> é o valor do investimento inicial para o projeto em análise.

O VPL é uma função decrescente da TMA, significando que quanto maior for o piso mínimo de retorno exigido para o projeto (TMA) menor será o VPL e, a viabilização do projeto em análise se torna mais difícil, isto é, haverá uma dificuldade maior de se encontrar projetos com  $VPL > 0$  (SOUZA E CLEMENTE, 2008).

O VPL pode ser facilmente calculado com o auxílio de uma calculadora financeira ou planilha eletrônica como Excel®, o procedimento para o exemplo da tabela 01 pode ser verificado a seguir.

**Tabela 1 – Planilha para exemplo de cálculo do VPL utilizando calculadora financeira.**

Período	Fluxo de Caixa	Comando
0	R\$ -42.000	CF <sub>0</sub>
1	R\$ 8.000	CFj
2	R\$ 9.500	CFj
3	R\$ 10.500	CFj
4	R\$ 14.500	CFj
5	R\$ 16.500	CFj
Taxa de Juros	10	i%
	NPV	R\$ 1.162

**Fonte: Autoria própria (2019).**

A interpretação da tabela 1 é de que a decisão de investir neste projeto um valor inicial de R\$ 42.000,00 e dadas as parcelas a serem pagas nos cinco períodos existentes a uma taxa de juros (i%) de 10%, traria como resultado líquido em termos de valores monetários de hoje o equivalente a R\$ 1.162,00.

### 2.9.2.3 Índice Benefício / Custo

Para SOUZA E CLEMENTE (2008), o Índice Benefício/Custo (IBC) é uma ferramenta de auxílio na análise de viabilidade econômica de um projeto, sendo esta a medida de quanto se ganha para cada unidade de capital investido. É, na verdade, um aprimoramento da taxa média de remuneração do capital investido no projeto e uma variante do método do Valor Presente Líquido. A hipótese implícita no cálculo do IBC é que os recursos liberados ao longo da vida útil do projeto seriam reinvestidos a taxa de mínima atratividade.

A análise do IBC, para efeito de aceitar ou rejeitar um projeto de investimento, é feita em função da própria recuperação do investimento, isto é,  $IBC = 1$ . Assim tem-se o seguinte critério:

- Se  $IBC > 1$  - aceitar o Projeto;
- Se  $IBC < 1$  - rejeitar o Projeto.

Assim o IBC pode ser calculado pela equação 2, onde  $CF_j$  representa o valor do Fluxo de Caixa no período (j) (SOUZA E CLEMENTE, 2008).

$$IBC = \frac{\sum \frac{CF_j}{(1+TMA)^j}}{CF_0} \quad \forall j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

### 2.9.2.4 Método da Taxa Interna de Retorno

Projetos de investimento convencionais possuem investimentos, na fase inicial e recebimentos, ao longo do tempo. Com base na TMA escolhida para o projeto espera-se que o total de recebimentos seja maior que o valor investido inicialmente, com isso o projeto terá condições de ser aceito se o Valor Presente Líquido não for negativo. Considerando como negativos os valores referentes às saídas de caixa e como positivos aqueles referentes às entradas, a condição de VPL não negativo ( $VPL \geq 0$ ) indica que a soma dos recebimentos descontados (a uma TMA) para a data inicial

do projeto, supera ou iguala os desembolsos, igualmente descontados, (à mesma taxa), o que tornaria o projeto aceitável para o investidor (BARBIERI,2007).

Ainda segundo BARBIERI (2007), a TIR é definida como sendo a taxa de juros que anula o VPL do fluxo de caixa de um investimento. A obtenção da TIR se dá pela solução da equação (3).

$$VPL = (-CF_0 + \sum \frac{CF_J}{(1+TMA)^J}) = zero \quad \forall J = 1,2, \dots n \quad (3)$$

Para SOUZA E CLEMENTE (2008), a regra para decidir se um projeto é atrativo financeiramente, utilizando-se a TIR, é bastante simples. Se  $TIR > TMA$ , então o projeto é viável, caso contrário, o projeto será considerado inviável.

Uma forma simples de interpretar o resultado de uma TIR é imaginar que existem duas possibilidades de investimentos. A primeira é a aplicação do investimento inicial a TMA estipulada. A segunda é o próprio projeto de investimentos, o qual teria o valor de retorno igual a TIR. Para que esta explicação faça sentido a hipótese básica no cálculo da TIR é que os recursos liberados pelo projeto possam ser reinvestidos a uma taxa igual a TIR (SOUZA E CLEMENTE, 2008).

Uma análise mais detalhada da fórmula da TIR, do VPL e do IBC evidencia o fato de que esses indicadores são, na verdade, codificações diferentes de uma mesma informação. Assim, demonstra-se a seguir a correspondência entre TIR, VPL, IBC.

- Se  $IBC=1$ ;  $VPL=0$ ;  $TIR=TMA$  – Indiferença;
- Se  $IBC>1$ ;  $VPL>0$ ;  $TIR>TMA$  – Projeto viável;
- Se  $IBC<1$ ;  $VPL<0$ ;  $TIR<TMA$  – Projeto Inviável.

#### 2.9.2.5 Período de recuperação de investimento (PRI) ou Pay-Back

Outro indicador, muito usados em processos de seleção de projetos é o Período de Recuperação do Investimento (PRI) ou *Pay-back*, isto é, este indicador demonstra a quantidade de períodos que serão necessários para que o investimento inicial do projeto seja recuperado. O procedimento de cálculo desse indicador também é bastante simples. Para calcular o PRI, os valores das entradas serão somados,

período a período, até que o total de entradas tenha valor igual ao valor do investimento inicial. O exemplo a seguir demonstra como obter esse indicador (SOUZA E CLEMENTE, 2008).

**Tabela 2 – Planilha de Períodos para Retorno de Investimento**

Período	Fluxo de Caixa Projeto A	Fluxo de Benefícios
0	R\$ -42.000	-
1	R\$ 8.000	R\$ 8.000
2	R\$ 9.500	R\$ 17.500
3	R\$ 10.500	R\$ 28.000
4	R\$ 14.500	R\$ 42.500
5	R\$ 16.500	

**Fonte: (SOUZA E CLEMENTE, 2008)**

É possível a verificação com auxílio da tabela 2 de que a obtenção do Pay-Back do Projeto A, é alcançado quando os benefícios mensais somados são maiores que o investimento inicial, até o terceiro período a soma do fluxo de benefícios do projeto (R\$ 28.000) tem valor inferior ao investimento inicial (R\$ 42.000), a partir do quarto período a soma do fluxo de benefícios (R\$42.500), é superior, ao valor do investimento. Percebe-se então que, o PRI do projeto A, é superior a 3 períodos e inferior a 4 períodos. Considerando que o fluxo de caixa ao longo do quarto período tenha um comportamento linear, tem-se:

- R\$ 28.000 = 3 Períodos (pouco);
- R\$ 14.500 = + 1 período (muito);
- R\$ 14.000 = + x períodos (necessário);
- $x = R\$ 14.000 / R\$ 14.500$ ;
- $x = 0,96$ ;
- PRI = 3,96 períodos.

A utilidade de se conhecer o PRI é que ele pode ser interpretado também como uma média do grau de risco do projeto. As incertezas associadas a um projeto tendem a aumentar à medida que as previsões das receitas e dos custos se afastam da data focal zero. Nesse sentido, o PRI pode ser utilizado para mensurar o risco

associado ao projeto, isto é, quanto maior for o PRI, mais incerta estará a recuperação do capital (SOUZA E CLEMENTE, 2008).

Conforme relata BALARINI (2004), este método de análise apresenta restrições assim como a TIR, destacando-se o fato de que, além de desconsiderar o valor do dinheiro no tempo, também não considera os fluxos de caixa que ocorram após alcançado o período de recuperação do investimento. Apesar disso, é um mecanismo inicial útil para análise de projetos.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Diversas variáveis devem ser levadas em consideração para o correto dimensionamento de um sistema fotovoltaico. Exemplos de variáveis a serem avaliadas são, a orientação e inclinação dos módulos, a área disponível para a instalação do sistema, os níveis de irradiação do local de instalação ao decorrer do ano e ainda a demanda contratada para a instalação que o sistema fotovoltaico deverá suprir (CRESESB, 2019).

A partir destas e de outras variáveis será possível dimensionar o sistema FV a fim de atender a demanda de acordo com a energia recebida proveniente da irradiação solar incidente no local. Neste capítulo será apresentado os procedimentos necessários para dimensionamento do sistema de geração Fotovoltaica para uma instituição de ensino localizado no município de Pato Branco.

O foco principal deste trabalho é o estudo de viabilidade da implantação de um sistema de geração fotovoltaica conectado à rede elétrica. O dimensionamento do sistema foi realizado de acordo com as normas da ABNT NBR 16274:2014 e ABNT NBR 16150:2013 (que dizem respeito a esse tipo de sistema), além da avaliação dos custos dos materiais.

De acordo com os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) da ANEEL, qualquer instalação deverá seguir as normas da concessionária local, sendo que a mesma deverá fornecer essas informações em sites públicos, para que a população tenha livre acesso (ANEEL, 2017).

Os níveis de tensão nos pontos de conexão do sistema de geração com a rede de distribuição podem ser monofásicos, bifásicos ou trifásicos e os níveis de tensão dependem da potência instalada do sistema.

A tabela 3 demonstra os valores de potências máxima de acordo com os níveis de tensão do sistema para o caso de centrais geradoras que se enquadrarem no conceito de micro ou mini geração distribuída (ANEEL, 2017).

**Tabela 3 – Níveis de Tensão Considerados para Conexão de Centrais Geradoras**

Potência Instalada	Nível de Tensão de Conexão
< 10 kW	Baixa Tensão (igual ou inferior a 1 kV)
10 a 75 kW	Baixa Tensão (igual ou inferior a 1 kV)
76 a 150 kW	Baixa Tensão ( $\leq 1$ kV) / Média Tensão(entre 1 kV e 69 kV)
151 a 500 kW	Baixa Tensão ( $\leq 1$ kV) / Média Tensão(entre 1 kV e 69 kV)
501 kW a 10 MW	Baixa Tensão ( $\leq 1$ kV) / Média Tensão(entre 1 kV e 69 kV)
11 a 30 MW	Baixa Tensão ( $\leq 1$ kV) / Média Tensão(entre 1 kV e 69 kV)
> 30 MW	Alta Tensão (superior a 69 kV e inferior a 230 kV)

Fonte: (ANEEL, 2017).

### 3.1.1 Classificação do Consumidor

O consumidor em estudo está classificado como consumidor do Grupo A (Grupo Alta Tensão), conforme a fatura de energia a tensão contratada tem valor de 13,2 kV (Quilovolts) sendo que dentro das modalidades existentes está classificado como tarifa Verde.

BLUESOL (2019), relata que a tarifação verde possui tarifações diferentes para os consumos de potência ativa (em kWh), para horários sazonais, horários de ponta e fora de ponta e considera ainda as diferentes épocas do ano. Considera ainda o consumo de reativos excedentes sem levar em conta os horários sazonais.

Uma informação relevante para estes consumidores é que a tarifa por disponibilidade do sistema não é cobrada, uma vez que são obrigados a contratação de uma quantidade/demanda mínima no valor de 30kW enquadrando-se nas faturas chamadas binômias, onde além de um medidor de energia estas faturas possuem também um medidor de demanda (BLUESOL, 2019).

### 3.1.2 Irradiação Solar Incidente

O capítulo 2 deste trabalho proporcionou a possibilidade de avaliação do ângulo adequado para dimensionamento de um projeto fotovoltaico, sendo ainda necessário levar em consideração o potencial solar do local de instalação, além de

inclinando e orientando o módulo solar na posição correta. Com auxílio do GOOGLE MAPS, pode-se verificar que as coordenadas geográficas da escola técnica em estudo são determinadas pela latitude  $-26,23519^\circ$  e longitude  $-52,68058^\circ$ , como a escola se localiza no município de Pato Branco, serão utilizados os dados solares referente à cidade.

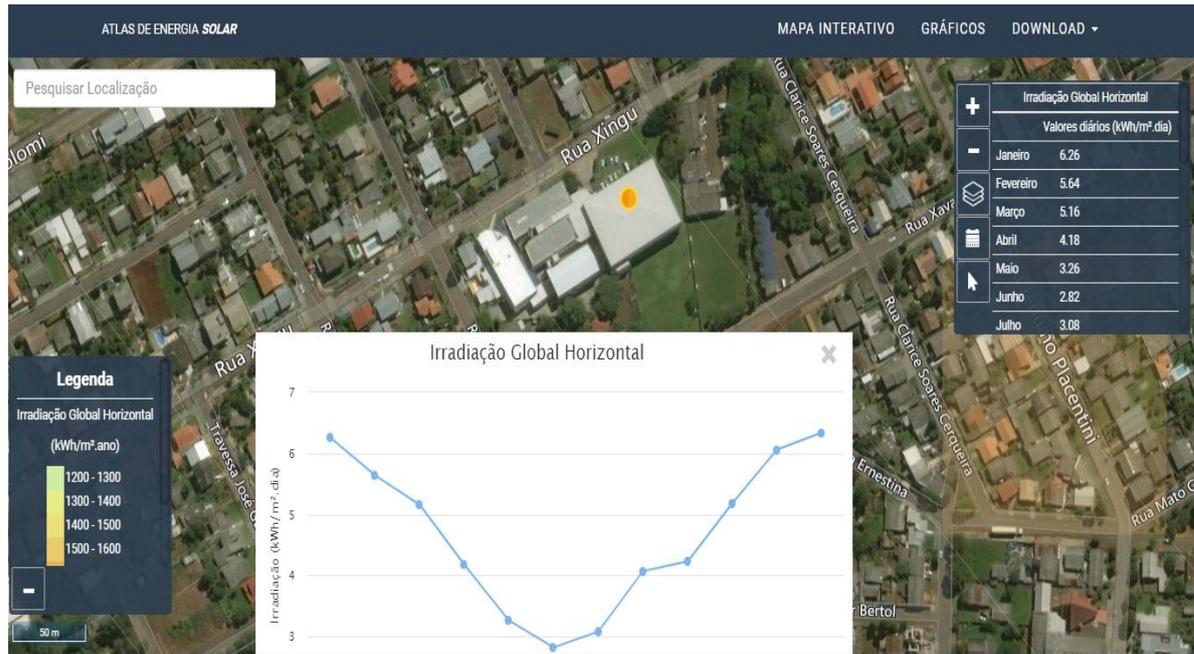
A tabela 4 recomenda que o ângulo de inclinação para a instalação dos módulos como sendo  $\alpha = \text{latitude} + 5^\circ$ , onde  $\alpha$  é o ângulo de inclinação recomendado a ser utilizado. Para a cidade de Pato Branco com latitude de aproximadamente  $26^\circ$ , o ângulo de inclinação recomendado é de aproximadamente  $31^\circ$  ( $26^\circ + 5^\circ$ ). Com relação à orientação do módulo, como a cidade de Pato Branco está localizada no hemisfério Sul, a melhor maneira de instalação e orientação dos módulos é com sua face voltada para o norte geográfico. Essa orientação melhora o aproveitamento da luz solar ao longo do dia, pois há a incidência de raios solares sobre o módulo durante todo o dia, com valor máximo ao meio-dia solar (VILLALVA, 2015).

**Tabela 4 – Escolha do ângulo de inclinação do módulo**

Latitude geográfica do local	Ângulo de inclinação recomendado
0° a 10°	$\alpha = 10^\circ$
11° a 20°	$\alpha = \text{latitude}$
21° a 30°	$\alpha = \text{latitude} + 5^\circ$
31° a 40°	$\alpha = \text{latitude} + 10^\circ$
41° ou mais	$\alpha = \text{latitude} + 15^\circ$

**Fonte: (VILLALVA, 2015)**

O índice de irradiação solar da cidade pode ser obtido de forma gratuita e confiável através da base de dados dos softwares exemplificados na seção 2.2.1. A figura 21, representa a obtenção de dados de irradiação solar com auxílio do software Atlas de Energia Solar Paraná, com uma visão do local definido para estudo e as características pertencentes ao mesmo. Os demais softwares usados como base trazem praticamente as mesmas possibilidades de informações.



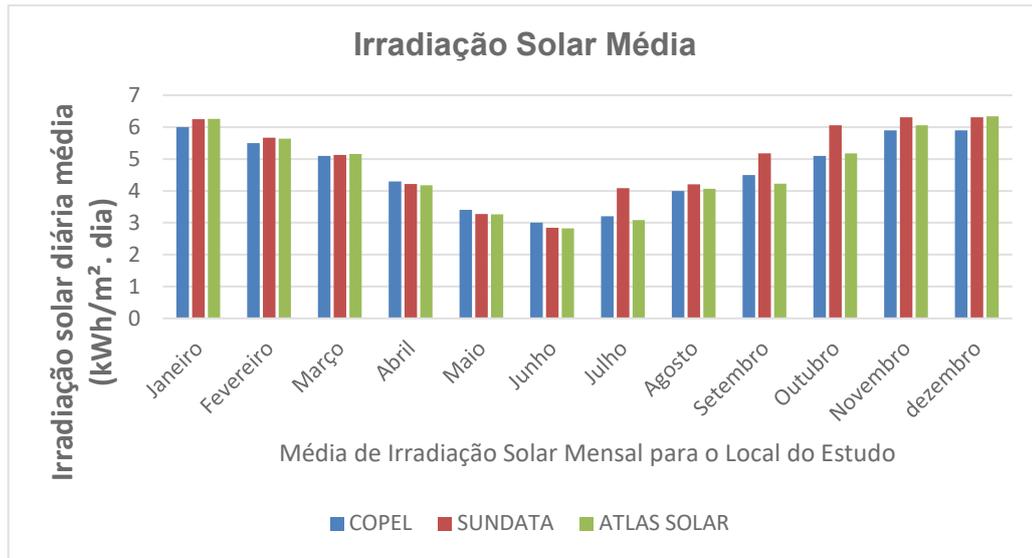
**Figura 20 – Irradiação solar média para o local em estudo utilizando software Atlas Solar.**  
**Fonte: (ATLAS DE ENERGIA SOLAR, 2019).**

A tabela 5 contém os dados de irradiação solar média em (kWh/m<sup>2</sup>.dia) ao longo dos meses obtidos com auxílio dos softwares de simulação, já a figura 22 ilustra graficamente esses dados. Os valores mensais são com base em uma média diária de leituras feita pelos softwares tendo como unidade de medida (Kwh/m<sup>2</sup>.dia), já a média anual informada na tabela considera a média de todos os meses do ano e tem sua unidade de medida como sendo (Kwh/m<sup>2</sup>.ano).

**Tabela 5 – Irradiação Solar no Local em Estudo**

	COPEL	CRESESB	ATLAS SOLAR
<b>Janeiro</b>	5,9	6,25	6.26
<b>Fevereiro</b>	5,5	5,67	5.64
<b>Março</b>	5,1	5,13	5.16
<b>Abril</b>	4,3	4,22	4.18
<b>Maio</b>	3,4	3,27	3.26
<b>Junho</b>	3	2,84	2.82
<b>Julho</b>	3,2	4,09	3.08
<b>Agosto</b>	4	4,21	4.07
<b>Setembro</b>	4,5	5,18	4.23
<b>Outubro</b>	5,1	6,06	5.18
<b>Novembro</b>	5,9	6,31	6.06
<b>Dezembro</b>	5,9	6,31	6,34
<b>Média anual</b>	4,66	4,96	4,69

**Fonte: Autoria Própria**



**Figura 21 – Irradiação Solar média no local do estudo utilizando diferentes softwares.**

**Fonte: Autoria própria.**

Para a sequência de cálculos, foi considerada a irradiação média no local em estudo como sendo a média mais baixa entre os diferentes softwares utilizados, tendo com isso a situação mais crítica de geração para avaliação. O valor da irradiação média diária anual para os cálculos ficou estipulado em (4,66 kWh/m<sup>2</sup>.dia).

De acordo com FADIGAS, EAFA (2012), com o valor da radiação solar, é possível calcular o número de horas de sol pleno (HSP) com auxílio da equação 4. Esta grandeza é proporcional ao número de horas em um dia em que a irradiação solar deve permanecer em 1000 Watts/m<sup>2</sup>, de forma que a energia resultante seja a mesma coletada naquele dia, ou seja, representa a quantidade de energia solar disponibilizada no local em estudo ao longo de um dia. O (HSP) pode ser calculado da seguinte maneira:

$$HSP = \frac{E_{sol}}{1 \text{ (kW/m}^2\text{)}} = \frac{4,66 \text{ kWh/m}^2\text{.dia}}{1 \text{ (kW/m}^2\text{)}} = 4,66h. \text{ dia} \quad (4)$$

Onde:

HSP é o Número de horas de Sol Pleno (h);

E<sub>sol</sub> é a irradiação solar média diária no local (Wh/m<sup>2</sup>/dia);

### 3.1.3 Dimensionamento do Arranjo Fotovoltaico

De acordo com PINHO & GALDINO (2014), uma forma de se otimizar o dimensionamento de um sistema de geração fotovoltaica leva em consideração o consumo médio diário anual de energia elétrica (Wh/dia) da edificação em questão, considerando descontados os custos de disponibilidade do sistema pela concessionária.

A potência elétrica determinada pela equação 5 é chamada de potência de pico do gerador ( $P_{FV}$ ) e tem sua unidade em Wp (Watt-pico). Essa grandeza representa a potência máxima que a fonte de alimentação pode suportar por um curto período de tempo. O watt-pico proporciona uma comparação entre as saídas dos painéis fotovoltaicos de diferentes fabricantes, com isso é possível avaliar para a mesma área de superfície, qual fabricante produz um módulo de maior eficiência e com isso obter uma área menor de cobertura necessária para a mesma quantidade de energia a ser gerada (ENERGIA SOLAR, 2019).

$$P_{FV}(kWp) = \frac{(E/TD)}{HSP_{MA}} \quad (5)$$

Onde:

$P_{FV}$  (kWp) é a Potência de pico do gerador fotovoltaico;

E (kWh/dia) é o Consumo diário médio anual da edificação ou fração deste;

$HSP_{MA}$  (h) é a Média diária anual das HSP incidente no plano do painel fotovoltaico;

TD (Adimensional) é a Taxa de desempenho;

Conforme BLUESOL (2019), o grupo gerador irá compensar de forma prioritária o consumo energético do mesmo intervalo horário em que ele gera energia elétrica. Como o sistema fotovoltaico gera energia apenas durante o dia, que corresponde ao posto tarifário 'fora de ponta' neste trabalho atentou-se apenas para o consumo fora de ponta no levantamento da energia a ser suprida pelo sistema de geração fotovoltaica em estudo.

Para o levantamento do consumo médio mensal do local em estudo foram analisadas as faturas de energia elétrica dos últimos 12 meses. Observa-se pela tabela 6 e pela figura 23 os valores mensais de consumo baseados nas faturas de

energia do local em estudo, tendo-se obtido de acordo com esses valores, um valor médio mensal de consumo igual a 9.116,50 kWh.

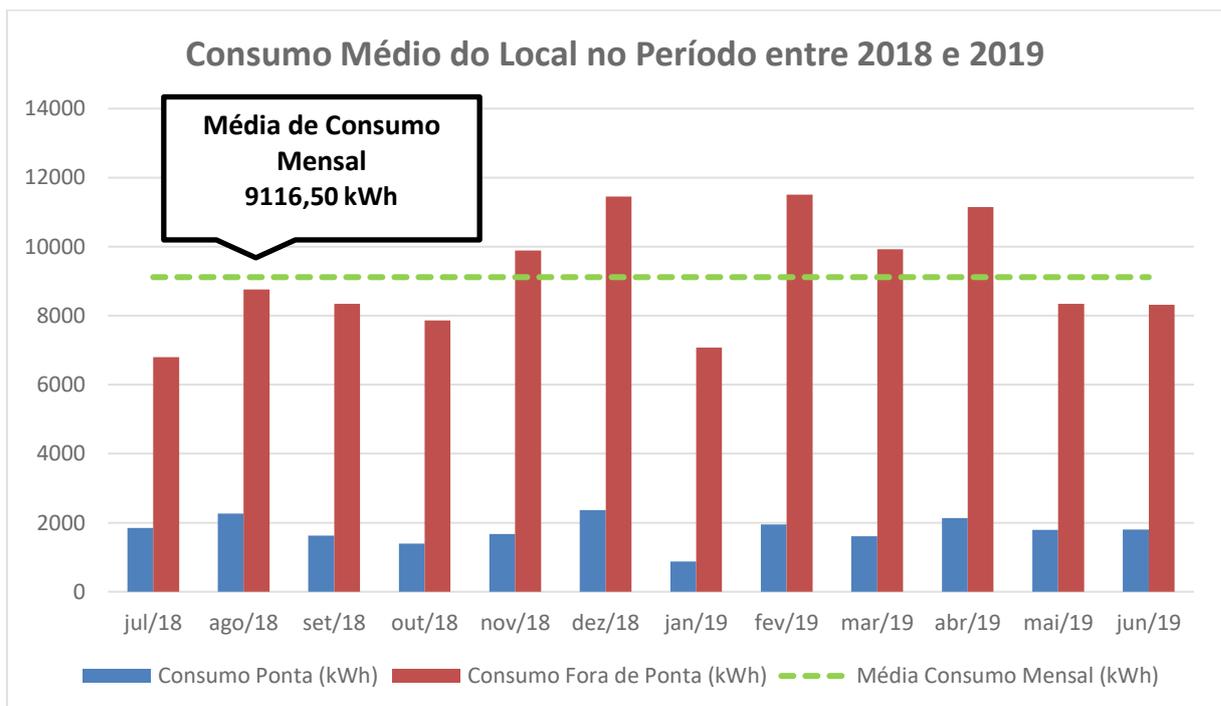
Com o valor médio mensal de consumo, pela relação proposta na equação 6 chega-se ao consumo diário médio anual da edificação.

$$E = \frac{E(kWh/mês)}{30dias} = \frac{9.116,50}{30} = 303,88kWh/dia \quad (6)$$

**Tabela 6 – Consumo de Energia no Local em Estudo**

	Consumo Ponta (kWh)	Consumo Fora de Ponta (kWh)
<b>Junho / 2019</b>	1.806	8.312
<b>Mai / 2019</b>	1.790	8.339
<b>Abril / 2019</b>	2.139	11.146
<b>Março / 2019</b>	1.605	9.925
<b>Fevereiro / 2019</b>	1.954	11.505
<b>Janeiro / 2019</b>	874	7.073
<b>Dezembro / 2018</b>	2.366	11.448
<b>Novembro / 2018</b>	1.673	9.890
<b>Outubro / 2018</b>	1.392	7.862
<b>Setembro / 2018</b>	1.623	8.344
<b>Agosto / 2018</b>	2.269	8.759
<b>Julho / 2018</b>	1.848	6.795
<b>Média Mensal</b>	1.778,25	9.116,5

Fonte: Autoria Própria



**Figura 22 – Gráfico de consumo de energia no sistema proposto.**

Fonte: Autoria própria.

Para o dimensionamento da potência do arranjo FV é necessário ainda levar em consideração a taxa de desempenho (TD). Esta considera os fatores que prejudicam a eficiência do sistema de geração, como sombreamento, descasamento entre módulos, rendimento do inversor, temperatura, sujeira sobre os módulos, entre outros. No caso de sistemas residenciais e comerciais bem ventilados e não sombreados pode-se considerar uma taxa de desempenho na faixa de 70 a 80% nas condições de radiação solar no Brasil (PINHO & GALDINO, 2014).

Seguindo a recomendação da literatura, utilizou-se como base de taxa de desempenho um valor de 75% para o sistema de geração em estudo, visto que apresenta características semelhantes. Com estas premissas pode-se obter com base na equação 5 o valor da potência de pico gerado para atender as necessidades do local em estudo.

$$P_{FV}(kWp) = \frac{(E/TD)}{HSP_{MA}}$$

$$P_{FV} = \frac{(303,88/0,75)}{4,66} = 86,94 \text{ kWp}$$

Na seção 2.8.3 deste trabalho foram descritos os procedimentos para acesso a rede sendo que no caso de consumidores do Grupo A, a geração deve se manter em níveis menores ou iguais a demanda contratada para a edificação. Como a demanda contratada é de 85 kW e a geração foi dimensionada em 86,94 kWp, em caso de implementação deste projeto, seria necessária uma reavaliação da demanda contratada junto a concessionária para valores maiores ou iguais aos estimados para o sistema de geração proposto.

#### 3.1.4 Dimensionamento dos Módulos para o Arranjo Fotovoltaico

De posse dos dados equivalentes ao consumo e também da potência gerada necessária para a demanda da unidade consumidora, escolhe-se o módulo fotovoltaico que atenda às necessidades de geração e que possua melhor custo benefício para ser adotado como referência neste estudo. A tabela 7 fornece dados de vida útil, eficiência, preço e custo benefício para painéis individuais de mesma potência de diferentes fabricantes para uma melhor comparação entre os modelos.

**Tabela 7 – Comparativo de características entre painéis fotovoltaicos**

Fabricante	CANADIAN CS6-U-330P	BYD 330P6C-36	DAH DHP72-330
Vida Útil (Anos)	25	25	25
Potência (Wp)	330	330	330
Eficiência (%)	16,97	17,02	17,0
Preço (R\$)	575,67	855,00	785,00
Custo Benefício (R\$/Wp)	1,74	2,59	2,38
Site de Referência	Minha Casa Solar	Casa do Microinversor	Casa do Microinversor

**Fonte: Autoria Própria**

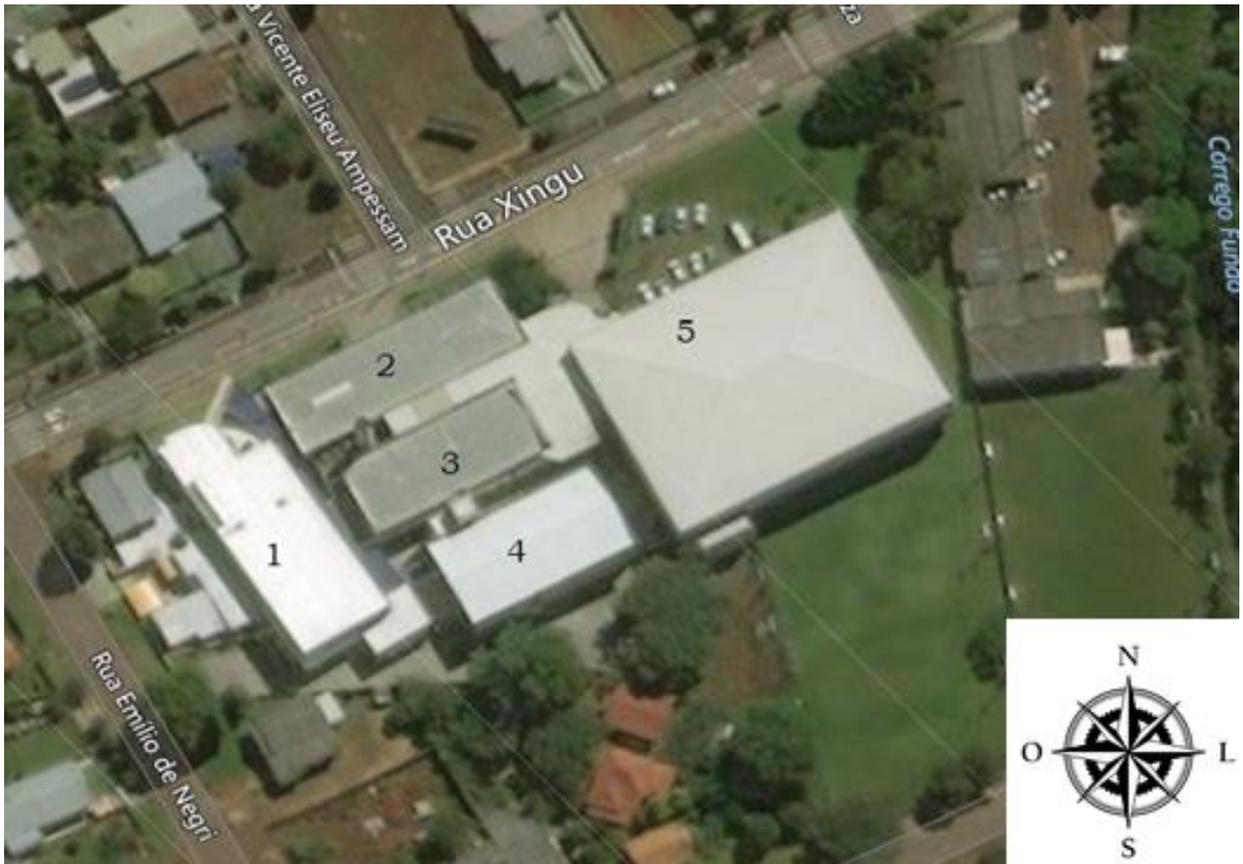
Com base no valor do custo benefício obtido, percebe-se na tabela 7, que o painel fotovoltaico que apresenta maior valor para este índice é o painel CANADIAN CS6-U-330P, sendo este um modelo que possui certificação pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), possui ainda garantia de 25 anos para a saída de potência linear na geração. As especificações técnicas dos painéis utilizados para comparação entre diferentes fabricantes, podem ser verificadas nos datasheets presentes no ANEXO D, ANEXO E e ANEXO F.

Utilizando o painel CANADIAN CS6-U-330P, pode-se dimensionar a quantidade de módulos necessários para composição do arranjo fotovoltaico proposto para o consumidor em estudo utilizando a equação 7.

$$\text{Número de Módulos} = \frac{P_{FV}}{\text{Potência do Módulo}} \quad (7)$$

$$\text{Número de Módulos} = \frac{86,94kWp}{0,33kWp} \cong 263 \text{ Módulos}$$

As dimensões do módulo escolhido para o projeto são especificadas de acordo com o catalogo do fabricante. Cada módulo fotovoltaico possui uma largura de 0,992 metros e comprimento de 1,996 metros, com isso a área individual é de 1,98m<sup>2</sup>. Com esta área unitária e com o total de 263 unidades necessárias, a área total aproximada da ocupação dos módulos é de 521m<sup>2</sup>.



**Figura 23 – Área de cobertura disponíveis para instalação dos módulos fotovoltaicos.**

**Fonte: ATLAS DE ENERGIA SOLAR (2018)**

A imagem aérea do local representado pela figura 24, possibilita a identificação de cinco áreas de cobertura disponíveis e que podem ser usadas para alocação dos módulos de geração. Com uma área de cobertura acima de  $3.000\text{m}^2$ , e com a capacidade requerida para o projeto sendo bem inferior em relação as áreas disponíveis, pode-se em caso de aprovação da viabilidade e implantação, ser escolhido o melhor ponto de instalação levando em consideração as variáveis que influenciam na eficiência de geração e a proximidade ao ponto de conexão com a rede.

Percebe-se uma proximidade da direção da estrutura do local em estudo com o norte geográfico e as condições favoráveis para instalação em qualquer uma das áreas disponíveis.

### 3.1.5 Dimensionamento do Inversor de Frequência

O Fator de Dimensionamento de Inversores (FDI) faz uma consideração entre a potência nominal em corrente alternada do inversor ( $P_{Nca}$ ) e a potência de pico do gerador foto voltaico ( $P_{FV}$ ). A potência do gerador e do inversor devem ser ajustadas de modo que o FDI do inversor tenha a melhor relação custo/benefício. (CEPEL, 2014).

As concessionárias de energia possuem inversores homologados para atendimento as suas especificações, sendo que a lista de inversores se encontram em site das concessionárias.

De acordo com Santos *et al.* (2006), a potência nominal do inversor deve ser escolhida dentro de uma faixa de valores, tendo como base a potência nominal do sistema fotovoltaico, sendo assim uma especificação pode ser feita pela equação 8.

$$0,7 \times P_{FV} \leq FDI \leq 1,2 \times P_{FV} \quad (8)$$

Onde:

$P_{FV}$  (kWp) é a Potência de pico do gerador fotovoltaico;

FDI é o Fator de Dimensionamento de Inversores;

Com o valor obtido para a potência do sistema de geração e com base nos critérios de avaliação para obtenção do FDI, chega-se a faixa de potência nominal adequada para cada inversor utilizado no sistema de geração.

De acordo com GODOI (2018), em instalações com inversor centralizado para todos os painéis, o inversor é conectado a um grande número de módulos fotovoltaicos, este modo de ligação possibilita a conexão de módulos em paralelo permitindo o aumento de corrente no sistema. A principal vantagem é a redução de gastos, pois nesta configuração se utiliza um número reduzido de inversores. A desvantagem deste modo de ligação ocorre com a confiabilidade, pois se o inversor central falhar, o sistema todo deixa de gerar energia. Além disso o sistema com inversor centralizado não permitem um MPPT eficiente, uma vez que o ponto de máxima não é independente para cada string.

É possível a configuração dos inversores em subgrupos de painéis ligados a cada inversor, utilizando equipamentos de menor potência em relação aos inversores

centrais. Possuem a vantagem de ter maior confiabilidade para o sistema, pois se algum inversor falhar não prejudicará todo o sistema. A desvantagem é o aumento do número de inversores, que gera aumento no custo (GODOI, 2018).

Optou-se para este projeto pela criação de subsistemas de geração, sendo a divisão do sistema em quatro subsistemas com quatro inversores de potência compatível, enquadrando-se na faixa de potência recomendada conforme a equação 8.

$$14,86kW \leq FDI \leq 25,48kW$$

O objetivo da divisão em subsistemas proporciona maior confiabilidade e segurança, uma vez que se houver algum tipo de problema ou manutenção em um dos inversores, os outros dois continuam em funcionamento e não comprometem a geração de energia de forma integral, caso este que seria impossível com o uso de um único inversor com o valor total da potência determinada para o sistema.

Adotou-se por conveniência e de acordo com conhecimentos práticos de instaladores de sistemas fotovoltaicos o modelo de inversor solar *RENOVIGI* RENO-20K-LV (20KW), TRIFÁSICO, 220V, 2 MPPs. Para este modelo as principais características elétricas do inversor podem ser analisadas no *datasheet* do inversor no ANEXO G.

Uma vez que o sistema de geração proposto possui uma potência de 86,94 kWp, e dividindo este sistema em 4 subsistemas, então cada um destes subsistemas teria uma potência fotovoltaica de 21,73 kWp. Utilizando inversores de potência de saída em corrente alternada ( $P_{Nca}$ ) determinada conforme o modelo escolhido, para esta aplicação pode-se com auxílio da equação 9 demonstrar o FDI de cada inversor para seus devidos subsistemas de geração.

$$FDI = \frac{P_{Nca}}{P_{FV}} = \frac{20kW}{21,73kWp} \cong 0,92 \quad (9)$$

Considerando que o FDI calculado ficou dentro da faixa de valores estipulada pela equação 8 pode-se considerar que o dimensionamento do inversor está em conformidade.

Para dimensionamento da tensão de entrada do inversor considera-se a soma das tensões dos módulos associados em série de cada sub-grupo pertencente ao inversor. Uma vez que esta tensão sofre variações de acordo com a temperatura, as condições extremas de inverno e verão precisam ser levadas em consideração no dimensionamento. A máxima tensão de entrada nunca deve ser ultrapassada, sendo este um dos maiores riscos de se danificar o equipamento. (CEPEL, 2014).

Outra possibilidade a ser observada é se o fabricante indica o número máximo de células fotovoltaicas em paralelo que podem ser ligadas ao equipamento.

### 3.1.6 Orçamento do sistema de geração fotovoltaico proposto

Para a determinação do valor investido inicialmente na implantação do projeto, foram feitos orçamentos dos itens principais em sites especializados, também como valor total do projeto foram requisitados três orçamentos de diferentes empresas atuantes no ramo de vendas e instalação de sistemas de geração fotovoltaica na região Sudoeste do Paraná, sendo uma empresa de Pato Branco-PR, uma empresa de Palmas-PR, e outra empresa de Coronel Vivida-PR.

As empresas requisitadas, estão em plena atuação no mercado de implantação de sistemas de geração solar e possuem know-how na área de energias renováveis, para estimar os custos necessários para implantação do sistema de geração projetado para este trabalho.

Conforme os orçamentos obtidos por empresas de venda e instalação de equipamentos para geração fotovoltaica na região onde este estudo foi aplicado, pode-se a partir dos valores obtidos, determinar a viabilidade de implantação do sistema. Para a análise de viabilidade considera-se o orçamento mais elevado, pois a partir deste os demais apresentariam viabilidade financeira maior devido ao menor investimento inicial.

A seguir pode-se verificar com auxílio das tabelas (8), (9), e (10) os valores repassados pelas empresas para a implantação do sistema de geração projetado neste trabalho, levando em consideração marcas e modelos estipulados. Os orçamentos estão presentes também nos ANEXO I, ANEXO J e ANEXO K respectivamente.

**Tabela 8 - Orçamento para o sistema fotovoltaico fornecidos pela empresa de Palmas - PR**

ITEM	DESCRIÇÃO	QUANT.
1	Inversor fotovoltaico ( <i>RENOVIGI</i> RENO-20K-LV (20kW), trifásico, 220V)	4
2	Painel Fotovoltaico CANADIAN CS6-U-330P – com estruturas para fixação em telhado;	263
3	Sistema de aterramento CC/CA (cabo de cobre nú 35mm <sup>2</sup> , conectores e caixas de inspeção).	1
4	Sistema de proteção CC/CA (dispositivo de proteção contra surto , disjuntores e fusíveis).	1
5	Projeto elétrico de minigeração distribuída.	1
6	Mão de obra (Montagem, comissionamento e Start-up);	1
7	Monitoramento remoto ( <i>notebook/celular</i> );	1
8	Contratos, homologação, testes, substituição do medidor e liberação da geração distribuída.	1
Investimento em equipamentos para gerador solar 86,94kWp + projeto e instalação		<b>R\$ 300.230,00</b>

**Fonte: Autoria Própria**

Para a segunda empresa, foram repassadas as mesmas especificações de equipamentos e mão de obra feitos para a primeira empresa na tabela 8. Na sequencia a tabela 9 possui as descrições dos itens e o valor de investimento para realização do projeto se este fosse implantado pela empresa de Coronel Vivida.

**Tabela 9 - Orçamento para o sistema fotovoltaico fornecidos pela Empresa de Coronel Vivida-PR**

ITEM	DESCRIÇÃO	QUANT.
1	Inversor fotovoltaico ( <i>RENOVIGI</i> RENO-20K-LV (20kW), trifásico, 220V)	4
2	Painel Fotovoltaico CANADIAN CS6-U-330P – com estruturas para fixação em telhado;	263
3	Sistema de aterramento CC/CA	1
4	Sistema de proteção CC/CA	1
5	Projeto elétrico e estrutural.	1
6	Mão de obra especializada;	1
7	Trâmite do processo de solicitação de acesso e efetiva conexão do sistema fotovoltaico à rede COPEL, encaminhando soluções de pendências e solicitando vistorias e informações, relativas a unidade CONSUMIDORA.	1
Investimento em equipamentos para gerador solar 86,94kWp + projeto e instalação		<b>R\$ 346.237,00</b>

**Fonte: Autoria Própria**

A seguir na tabela 10 são apresentados os valores repassados pelo orçamento dado pela empresa de Pato Branco, a qual percebe-se um valor menor que as demais empresas pesquisadas.

**Tabela 10 - Orçamento para o sistema fotovoltaico fornecidos pela Empresa de Pato Branco-PR**

ITEM	DESCRIÇÃO	QUANT.
1	Inversor fotovoltaico ( <i>RENOVIGI</i> RENO-20K-LV (20kW), trifásico, 220V)	4
2	Painel Fotovoltaico CANADIAN CS6-U-330P – com estruturas para fixação em telhado;	263
3	Sistema de aterramento CC/CA (cabo de cobre nú 35mm <sup>2</sup> , conectores e caixas de inspeção).	1
4	Sistema de proteção CC/CA (dispositivo de proteção contra surto , disjuntores e fusíveis).	1
5	Projeto elétrico de minigeração distribuída.	1
6	Mão de obra (Montagem, comissionamento e Start-up);	1
7	Monitoramento remoto ( <i>notebook/celular</i> );	1
8	Contratos, homologação, testes, substituição do medidor e liberação da geração distribuída.	1
Investimento em equipamentos para gerador solar 86,94kWp + projeto e instalação		<b>R\$ 284.000,00</b>

**Fonte: Autoria Própria**

### 3.2 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO

Mesmo tendo evidenciados os benefícios de implantação de um sistema de geração fotovoltaica para o local proposto, é necessário ainda um estudo de viabilidade financeira para o projeto.

Neste estudo serão consideradas as ferramentas de análise apresentadas na seção 2.9.2, e serão ainda considerados os valores da energia consumida e tarifas cobradas pela concessionária, possibilitando com isso, a avaliação de seu impacto no tempo de retorno do investimento no projeto. Considera-se ainda os custos com manutenção e substituição de equipamentos no período de análise e as influências destes custos na viabilidade financeira do projeto.

### 3.2.1 Inflação do Custo da Eletricidade

Após análise histórica das tarifas elétricas da concessionária de energia local, aplicadas a clientes finais, a sua constante evolução torna-se evidente. Com respeito a isso percebe-se às notórias evoluções de um ano para o outro e à média de evolução ao longo do tempo em termos percentuais. Considerou-se como base de evolução para os valores referentes a cobrança da energia elétrica, uma média dos acréscimos anuais feitas pela concessionaria conforme pode-se verificar na tabela 11, sendo esta média igual a 7,04% ao ano. A aplicação desta taxa terá repercussões na previsão de viabilidade econômica em análise.

**Tabela 11 – Histórico de reajuste tarifário da COPEL entre os anos de 2010 e 2019**

<b>Resolução</b>	<b>Ano</b>	<b>Variação percentual</b>
2559 / 2019	2019	+3,41%
2402 / 2018	2018	+15,99%
2255 / 2017	2017	+5,85%
2096 / 2016	2016	-12,87%
1897 / 2015	2015	+15,32%
1858 / 2015	2015	+36,79%
1763 / 2014	2014	+24,86%
-1565 / 2013	2013	+9,55%
1431 / 2013	2013	-19,28%
1296 / 2012	2012	-0,65%
1158 / 2011	2011	+2,99%
1015 / 2010	2010	+2,46%
<b>Média Anual</b>		<b>+7,04%</b>

**Fonte: COPEL (2019)**

A literatura apresenta possibilidade de vida útil de até 40 anos com rendimento de aproximadamente 80%, porém estabeleceu-se uma baixa no rendimento do sistema para 85% ao final dos 25 anos de análise.

Distribuindo essa queda de rendimento ao longo dos 25 anos, estimou-se uma redução de aproximadamente 0,6% ao ano, sendo esta taxa debitada da inflação anual estimada para a energia elétrica cobrada pela concessionária.

Com isso considera-se como taxa de inflação anual o valor de 6,44% para aplicação no estudo de viabilidade econômica.

### 3.2.2 Energia Gerada pelo Sistema Proposto

A energia a ser gerada pelo sistema proposto deixa de ser pago à concessionária. Pelo levantamento da média do consumo mensal em horário de ponta dado pela tabela 7, obteve-se um total de 9.116,50 kWh, suprindo desta forma através do sistema fotovoltaico a energia consumida para esse período.

Com base no valor cobrado pela concessionária, verificou-se que na fatura de energia do mês de junho de 2019, o valor de cada kWh consumido nos horários fora de ponta ao qual o sistema foi proposto era de R\$ 0,518.

Desta forma adotou-se uma referência total de R\$ 4.722,35 mensais que deixam de ser pagos à concessionária após implantação do sistema de geração proposto. Constitui-se então o valor anual de economia, como sendo de R\$ 56.668,16.

Para consideração na análise de viabilidade de investimento utilizou-se como base o valor médio pago no último ano pela energia consumida. Dados os valores mensais de consumo obteve-se a média mensal de consumo de R\$10.521,47.

Esta média quando considerada para o período de um ano, obtem-se um valor de R\$126.257,61 de consumo médio anual, conforme fatura de energia constante no ANEXO H.

Os valores de consumo referentes ao último ano podem ser verificados na tabela 12.

**Tabela 12 – Histórico de Consumo de Energia em R\$/mês**

<b>MÊS / ANO</b>	<b>R\$ por Mês</b>
Junho/2019	9.663,26
Maio/2019	9.736,67
Abril/2019	11.928,96
Março/2019	10.223,32
Fevereiro/2019	11.989,56
Janeiro/2019	7.392,59
Dezembro/2018	13.380,68
Novembro/2018	11.235,54
Outubro/2018	9.639,98
Setembro/2018	10.052,85

**Continua**

**Tabela 13 – Histórico de Consumo de Energia em R\$/mês**

	<b>Conclusão</b>
Agosto/2018	11.655,77
Julho/2018	9.358,43
<b>Média Mensal R\$</b>	<b>R\$10.521,47</b>
<b>Média Anual R\$</b>	<b>R\$126.257,61</b>

Fonte: Autoria Própria

### 3.2.3 Custos de Substituição de Inversores

O fabricante dos módulos fotovoltaicos estima uma vida útil de aproximadamente vinte e cinco anos com rendimento acima de 85%, já o fabricante dos inversores escolhidos estima que o equipamento possui vida útil de aproximadamente dez anos. Com isso na avaliação de viabilidade para um horizonte de vinte e cinco anos estima-se a utilização de pelo menos oito inversores, sendo que quatro deles na implantação do sistema e os outros quatro como substituição.

Os inversores destinados a substituição podem ter seus valores obtidos no valor presente mesmo sendo utilizados somente após dez anos de implantação do sistema. O valor destes inversores foi feito com base em orçamento de fornecedor especializado através de consulta via site conforme ANEXO L. O valor unitário destes inversores em agosto de 2019 foi cotado em R\$ 18.500,00. A equação 10 traz o valor dos inversores reservas para o valor presente.

$$VP = \frac{VF}{(1+TMA)^J} = \frac{18500}{(1+6,5)^{10}} = R\$ 8.976,08 \quad (10)$$

Onde:

VP é o Valor Presente para cada unidade de inversor reserva;

VF é o Valor Futuro;

TMA é a Taxa Mínima de Atratividade;

J é o Período de tempo;

Como serão necessários quatro inversores para substituição no período de avaliação considera-se então um adicional de R\$ 35.904,32 ao investimento inicial utilizado como base para o estudo de viabilidade.

#### 3.2.4 Custos de Manutenção do Sistema de Geração

Considerando a tecnologia fotovoltaica atual que apresenta valores de garantia consideráveis, entre os 10 e 15 anos, vida útil entre os 20 e os 25 anos, os cuidados a serem considerados com a manutenção não representam despesas significativas. Em termos de manutenção, para uma rentabilidade máxima e uma minimização da degradação dos painéis, é essencial uma limpeza periódica dos mesmos e evitar o sombreamento. Mesmo com estas premissas considerou-se um custo de manutenção estimado em R\$ 3.000,00 anuais para o sistema proposto.

#### 3.2.5 Custo da Demanda Contratada

Como consumidor do grupo A de acordo com a classificação, o local em estudo precisa de contratação de demanda junto a concessionária de energia. Esta demanda será cobrada mensalmente durante todo o período de análise de viabilidade. O valor correspondente a demanda contratada pode ser verificada na fatura de energia do local em estudo, chegando-se a um valor contratado de 85kW.

Uma vez determinado o valor de demanda contratada e baseando-se no custo do kW junto a concessionaria para o caso de tarifação isenta de ICMS (Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços) de R\$ 15,58 pode-se chegar ao valor mensal pago pela demanda contratada de aproximadamente R\$ 1.324,30, e um valor anual pago pela demanda contratada de R\$ 15.891,60.

#### 3.2.6 Custo Devido a Bandeira Tarifária na Conta de Energia

Como percebido na seção 2.8.2, o valor referente as bandeiras tarifárias são atribuídas as faturas de energia conforme as condições de geração de energia elétrica nacional. Uma vez que parte da energia será gerada pelo sistema proposto, os custos

referentes a bandeira tarifária sobre este montante, podem ser considerados como entradas de valor.

A tabela 13 mostra um histórico do último ano referente ao acionamento das bandeiras tarifárias nas contas de energia no país. O valor médio mensal das bandeiras de R\$ 0,017 para cada kWh de energia consumida, foi utilizado como base para análise de viabilidade considerando este sobre a quantidade de energia gerada pelo sistema proposto.

Tendo como base o total 9.116,50 kWh de média mensal para os horários fora de ponta, a ser gerado pelo sistema proposto e a média mensal das bandeiras tarifárias de R\$ 0,017 para cada kWh, com a multiplicação destes valores chega-se ao total de R\$ 154,98 por mês, resultando em um valor anual de R\$ 1.859,76 que deixaria de ser pago a concessionária de energia. Este valor foi adicionado ao valor economizado anualmente na fatura de energia e contabilizado juntamente com a inflação estimada da energia ao longo do período de avaliação de viabilidade.

**Tabela 14 – Histórico das Bandeiras Tarifárias**

(Continua)

<b>BANDEIRA</b>	<b>MÊS / ANO</b>	<b>R\$ por kWh</b>
Vermelha P1	Agosto/2019	0,040
Amarela	Julho/2019	0,015
Verde	Junho/2019	
Amarela	Maior/2019	0,015
Verde	Abril/2019	
Verde	Março/2019	
Verde	Fevereiro/2019	
Verde	Janeiro/2019	
Verde	Dezembro/2018	
Amarela	Novembro/2018	0,015
Vermelha P2	Outubro/2018	0,060
Vermelha P2	Setembro/2018	0,060
<b>Média Mensal R\$ / kWh</b>		<b>0,017</b>

Fonte: ANEEL (2019)

### 3.2.7 Custo Devido Consumo de Energia no Horário de Ponta

Constituiu-se um sistema de geração proposto para atendimento do consumo no horário fora de ponta, como o sistema proposto não gera energia no horário de ponta, o consumo neste posto tarifário irá permanecer. Este consumo tem valor médio mensal em kWh demonstrado na tabela 6, tratando-se de um valor igual a 1.778,25 kWh. Identificaram-se nas faturas de energia utilizadas para este trabalho, um valor médio de R\$ 1,97 para cada kWh consumido no horário de ponta, com isso, chega-se ao valor total de R\$ 3.503,15 mensalmente pagos pelo consumo no horário de ponta. Anualmente considerou-se então um total de R\$ 42.037,83. Pondera-se ainda para cada ano da análise de viabilidade o adicional dado pela inflação média anual da energia estimado na seção 3.2.1.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ANÁLISE DE VIABILIDADE DO SISTEMA PROPOSTO

Como já detalhado na seção anterior pode-se a partir deste momento com base nos dados levantados estimar os resultados que seriam obtidos para o projeto em caso de implantação do mesmo.

As análises de viabilidade financeiras foram feitas com base em duas situações.

No primeiro caso considerou-se o orçamento de maior valor e pode-se a partir dos resultados obter uma avaliação de forma mais pessimista em relação aos indicadores de viabilidade financeira existentes.

Em uma segunda avaliação considerou-se os valores de dados para análise idênticos ao da primeira situação com uma exceção, usando o valor do orçamento mais baixo para implementação do projeto, levando assim a resultados mais otimistas possíveis em caso de implementação.

#### 4.1.1 Estudo de Viabilidade para Orçamento de Maior Valor

Para esta primeira análise considerou-se o orçamento de maior valor sendo este de R\$ 346.237,00 e somou-se ainda a este orçamento, o valor estimado para substituição dos inversores calculado na seção 3.2.3. Com isso o investimento inicial para esta primeira análise passa a ser de R\$ 382.141,32.

Percebe-se com auxílio das tabelas 14 e 15 que, baseando-se no VPL deste projeto para esta primeira análise, é possível identificar sua viabilidade econômica sendo que para esta situação, este projeto é capaz de gerar receitas superiores aos custos presentes para sua implantação. A análise de dados do último ano indica que, se houvesse investimento neste projeto traria como resultado líquido em termos de valores monetários de hoje o equivalente VPL obtido com valor de R\$1.093.929,64. Existe com isso uma característica de geração de caixa e baseando-se neste indicador financeiro torna o projeto viável economicamente.

A obtenção do VPL foi feita através da fórmula direta do EXCEL, que relaciona o valor do investimento inicial e o fluxo de caixa, presentes na tabela 15. A obtenção do VPL poderia ainda ser realizada de forma manual através da equação 6.

Outro indicador financeiro previsto na análise de viabilidade econômica foi a TIR, indicador este que oportuniza a comparação entre a aplicação neste projeto ou a aplicação em outros investimentos, tendo como taxa o valor da TMA.

Conforme definição informada na seção 2.9.2.4, a TIR é a taxa de juros que anula o VPL do fluxo de caixa de um investimento, com a utilização do EXCEL, baseando-se na equação 3, para os valores de investimento inicial e fluxo de caixa presentes na tabela 15 obteve-se um resultado de 23,31% para a TIR, sendo superior a TMA estipulada.

Este valor estimado para a TIR, traz ao projeto maior confiança na viabilidade de implantação pois, mesmo havendo variações não estimadas no valor da energia elétrica cobrado pela concessionária, mudanças em tarifações presentes ou implementadas ainda seriam absorvidos e não tornariam inviável sua execução. Tendo como base o valor obtido para a TIR, percebe-se a viabilidade da implantação deste projeto de acordo com as premissas mencionadas em seções anteriores.

O IBC citado na seção 2.9.2.3, foi obtido nesta análise pela divisão do VPL em relação ao valor do investimento inicial presentes na tabela 15, o IBC obtido durante o estudo de viabilidade leva a um valor estimado de aproximadamente 2,86 unidades monetárias de retorno para cada unidade investida no projeto. Com este valor obtido pode-se perceber que há uma indicação, conforme mencionado na seção 2.9.2.3 que este projeto seria aceitável considerando as taxas de juros e prazos estipulados.

A seção 2.9.2.4 informa conforme a literatura a consideração de que, se  $IBC > 1$ ;  $VPL > 0$ ;  $TIR > TMA$ , o projeto pode ser considerado viável. Com isso pode-se pelos índices obtidos, considerar que há uma viabilidade para implantação do projeto proposto.

Uma das etapas da análise de viabilidade consiste em obter o tempo de retorno necessário para que haja a recuperação do valor investido. A tabela 14 fornece os parâmetros necessários para a obtenção do tempo de retorno do capital a ser

investido em caso de implementação do projeto proposto neste trabalho. Não considerou-se os eventuais créditos de energia que junto à concessionária por eventual baixa no consumo de energia utilizada pela unidade consumidora.

**Tabela 15 – Parâmetros para Análise de Viabilidade Econômica com Orçamento de Maior Valor.**

INVESTIMENTOS		SAÍDAS				
Período	Instalação do Sistema	Consumo Horário de Ponta	Manutenção do Sistema + Iluminação Pública	Demanda Contratada	Total	TMA % 6,5%
0	-R\$ 382.141,32					INFLAÇÃO 6,44%
1		R\$ 42.037,83	R\$ 1.000,00	R\$ 15.891,60	R\$ 58.929,43	
2		R\$ 44.745,07	R\$ 4.000,00	R\$ 16.915,02	R\$ 65.660,09	
3		R\$ 47.626,65	R\$ 4.000,00	R\$ 18.004,35	R\$ 69.630,99	
4		R\$ 50.693,80	R\$ 4.000,00	R\$ 19.163,83	R\$ 73.857,63	
5		R\$ 53.958,49	R\$ 4.000,00	R\$ 20.397,98	R\$ 78.356,46	
6		R\$ 57.433,41	R\$ 4.000,00	R\$ 21.711,61	R\$ 83.145,02	
7		R\$ 61.132,12	R\$ 4.000,00	R\$ 23.109,83	R\$ 88.241,96	
8		R\$ 65.069,03	R\$ 4.000,00	R\$ 24.598,11	R\$ 93.667,14	
9		R\$ 69.259,48	R\$ 4.000,00	R\$ 26.182,23	R\$ 99.441,70	
10		R\$ 73.719,79	R\$ 4.000,00	R\$ 27.868,36	R\$ 105.588,15	
11		R\$ 78.467,34	R\$ 4.000,00	R\$ 29.663,08	R\$ 112.130,43	
12		R\$ 83.520,64	R\$ 4.000,00	R\$ 31.573,39	R\$ 119.094,03	
13		R\$ 88.899,37	R\$ 4.000,00	R\$ 33.606,71	R\$ 126.506,08	
14		R\$ 94.624,49	R\$ 4.000,00	R\$ 35.770,98	R\$ 134.395,47	
15		R\$ 100.718,31	R\$ 4.000,00	R\$ 38.074,63	R\$ 142.792,94	
16		R\$ 107.204,56	R\$ 4.000,00	R\$ 40.526,64	R\$ 151.731,21	
17		R\$ 114.108,54	R\$ 4.000,00	R\$ 43.136,56	R\$ 161.245,10	
18		R\$ 121.457,13	R\$ 4.000,00	R\$ 45.914,55	R\$ 171.371,68	
19		R\$ 129.278,97	R\$ 4.000,00	R\$ 48.871,45	R\$ 182.150,42	
20		R\$ 137.604,53	R\$ 4.000,00	R\$ 52.018,77	R\$ 193.623,30	
21		R\$ 146.466,27	R\$ 4.000,00	R\$ 55.368,78	R\$ 205.835,04	
22		R\$ 155.898,69	R\$ 4.000,00	R\$ 58.934,53	R\$ 218.833,22	
23		R\$ 165.938,57	R\$ 4.000,00	R\$ 62.729,91	R\$ 232.668,48	
24		R\$ 176.625,01	R\$ 4.000,00	R\$ 66.769,72	R\$ 247.394,73	
25		R\$ 187.999,66	R\$ 4.000,00	R\$ 71.069,69	R\$ 263.069,35	

**Fonte: Autoria Própria**

Uma vez considerados os parâmetros para análise de viabilidade, pode-se pela obtenção do payback descontado avaliar o tempo necessário para obtenção do retorno do investimento e início de formação de caixa para o projeto proposto.

Conforme a tabela 15, com o valor do payback para o período zero correspondente ao investimento inicial e considerando os valores presentes, obteve-se o valor de cada período para a coluna de payback descontado.

Percebe-se que, para um horizonte de 25 períodos, o tempo estimado de retorno do investimento inicial é de aproximadamente 7,3 anos, ou seja, após um

período de aproximadamente 7 anos e 4 meses o investimento inicial é zerado e passa-se a um fluxo positivo de caixa.

Este período considera os valores de retorno anual para este investimento. Essa análise leva a um tempo de geração de caixa pelo projeto de pelo menos mais 17 anos e 5 meses após a recuperação do capital investido.

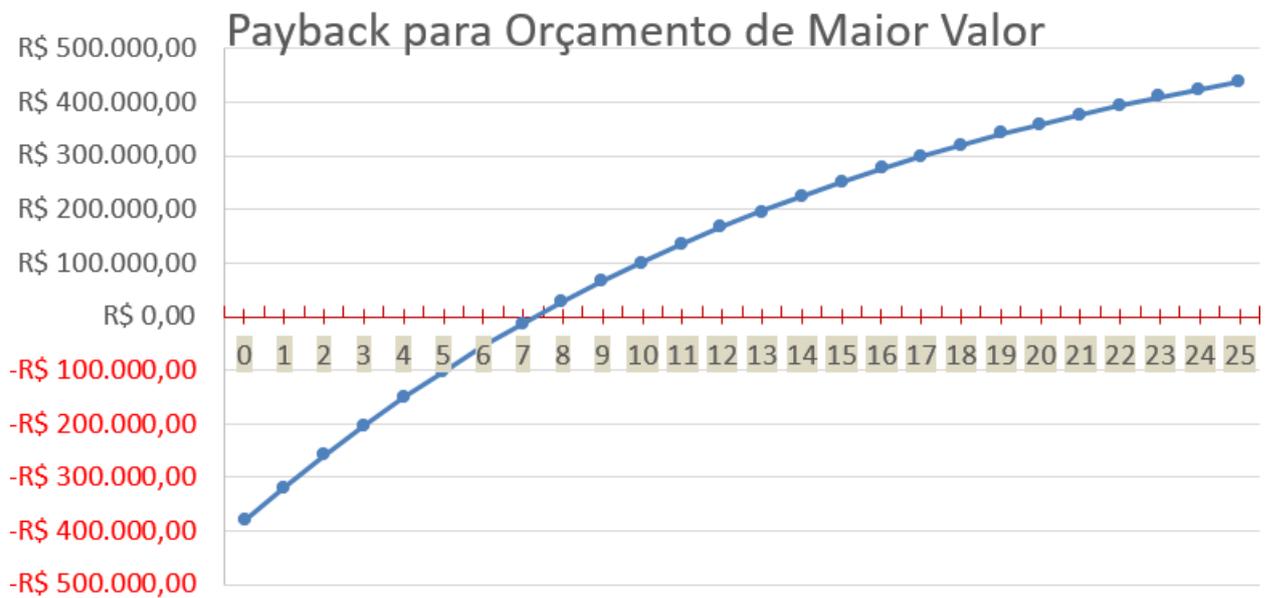
**Tabela 16 – Payback para o Sistema Fotovoltaico Proposto com Orçamento de Maior Valor**

	VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)	INFLAÇÃO ESTIMADA NA ENERGIA	TMA	IBC	TIR
	R\$1.093.929,64	6,44%	6,50%	2,86	23,31%
PERÍODO	TOTAL ENTRADAS	TOTAL SAIDAS	FLUXO DE CAIXA (CF)	VALOR PRESENTE (VP)	PAY-BACK DESCONTADO
0			-R\$382.141,32	-R\$382.141,32	-R\$382.141,32
1	R\$126.257,61	R\$58.929,43	R\$67.328,18	R\$63.218,95	-R\$318.922,37
2	R\$134.388,60	R\$65.660,09	R\$68.728,51	R\$59.360,51	-R\$259.561,86
3	R\$143.043,23	R\$69.630,99	R\$73.412,23	R\$55.737,57	-R\$203.824,28
4	R\$152.255,21	R\$73.857,63	R\$78.397,58	R\$52.335,75	-R\$151.488,54
5	R\$162.060,45	R\$78.356,46	R\$83.703,98	R\$49.141,55	-R\$102.346,99
6	R\$172.497,14	R\$87.260,76	R\$89.352,12	R\$46.142,30	-R\$56.204,69
7	R\$183.605,95	R\$83.145,02	R\$95.364,00	R\$43.326,10	-R\$12.878,59
8	R\$195.430,18	R\$93.667,14	R\$101.763,04	R\$40.681,79	R\$27.803,20
9	R\$208.015,88	R\$99.441,70	R\$108.574,18	R\$38.198,86	R\$66.002,06
10	R\$221.412,10	R\$105.588,15	R\$115.823,95	R\$35.867,47	R\$101.869,54
11	R\$235.671,04	R\$112.130,43	R\$123.540,62	R\$33.678,38	R\$135.547,91
12	R\$250.848,26	R\$119.094,03	R\$131.754,23	R\$31.622,89	R\$167.170,81
13	R\$267.002,89	R\$126.506,08	R\$140.496,80	R\$29.692,86	R\$196.863,66
14	R\$284.197,87	R\$134.395,47	R\$149.802,40	R\$27.880,62	R\$224.744,28
15	R\$302.500,21	R\$142.792,94	R\$159.707,27	R\$26.178,98	R\$250.923,26
16	R\$321.981,23	R\$151.731,21	R\$170.250,02	R\$24.581,20	R\$275.504,47
17	R\$342.716,82	R\$161.245,10	R\$181.471,72	R\$23.080,94	R\$298.585,41
18	R\$364.787,78	R\$171.371,68	R\$193.416,10	R\$21.672,25	R\$320.257,65
19	R\$388.280,12	R\$182.150,42	R\$206.129,70	R\$20.349,53	R\$340.607,18
20	R\$413.285,35	R\$193.623,30	R\$219.662,05	R\$19.107,54	R\$359.714,72
21	R\$439.900,93	R\$205.835,04	R\$234.065,89	R\$17.941,35	R\$377.656,07
22	R\$468.230,55	R\$218.833,22	R\$249.397,33	R\$16.846,34	R\$394.502,41
23	R\$498.384,60	R\$232.668,48	R\$265.716,12	R\$15.818,16	R\$410.320,56
24	R\$530.480,57	R\$247.394,73	R\$283.085,84	R\$14.852,73	R\$425.173,29
25	R\$564.643,52	R\$263.069,35	R\$301.574,17	R\$13.946,23	R\$439.119,52

Fonte: Autoria Própria

Graficamente é possível perceber de forma mais clara, o período onde o retorno do investimento passa a ter um valor positivo, indicando com isso o número de períodos necessários para obtenção do retorno do investimento no projeto proposto. O gráfico presente na figura 25 proporciona tal entendimento, este gráfico tem como base a tabela 15, relacionando a coluna do número de períodos com a coluna do Pay-back descontado.

**Figura 24 – Payback para Orçamento de Maior Valor.**



Fonte: Autoria Própria

#### 4.1.2 Estudo de Viabilidade para Orçamento de Menor Valor

Como mais um recurso, realizou-se ainda o estudo de viabilidade considerando-se que o projeto poderia ser implementado considerando a situação de orçamento com valor mais baixo obtido. Essa consideração serve como base para uma situação mais otimista possível considerando apenas os orçamentos de diferentes valores e mantendo os mesmos índices de parametrização utilizados na tabela 14 com exceção do valor de investimento inicial.

O orçamento considerado mais baixo apresentado, foi o correspondente a empresa de Pato Branco sendo o valor deste orçamento de R\$ 284.000,00 e

somando-se ao orçamento o valor estimado de investimento na substituição dos inversores calculados na seção 3.2.3, chega-se a um valor de investimento inicial de R\$ 319.904,32. Este valor foi utilizado como base para que, junto com os demais parâmetros fossem encontrados os índices de análise de viabilidade necessários para uma segunda avaliação de viabilidade de implantação do sistema de geração proposto.

**Tabela 17 – Parâmetros para Análise de Viabilidade Econômica com Orçamento de Menor Valor.**

INVESTIMENTOS		SAÍDAS				TMA % 6,5%
Período	Instalação do Sistema	Consumo Horário de Ponta	Manutenção do Sistema + Iluminação Pública	Demanda Contratada	Total	
0	-R\$ 319.904,32					INFLAÇÃO 6,44%
1		R\$ 42.037,83	R\$ 1.000,00	R\$ 15.891,60	R\$ 58.929,43	
2		R\$ 44.745,07	R\$ 4.000,00	R\$ 16.915,02	R\$ 65.660,09	
3		R\$ 47.626,65	R\$ 4.000,00	R\$ 18.004,35	R\$ 69.630,99	
4		R\$ 50.693,80	R\$ 4.000,00	R\$ 19.163,83	R\$ 73.857,63	
5		R\$ 53.958,49	R\$ 4.000,00	R\$ 20.397,98	R\$ 78.356,46	
6		R\$ 57.433,41	R\$ 4.000,00	R\$ 21.711,61	R\$ 83.145,02	
7		R\$ 61.132,12	R\$ 4.000,00	R\$ 23.109,83	R\$ 88.241,96	
8		R\$ 65.069,03	R\$ 4.000,00	R\$ 24.598,11	R\$ 93.667,14	
9		R\$ 69.259,48	R\$ 4.000,00	R\$ 26.182,23	R\$ 99.441,70	
10		R\$ 73.719,79	R\$ 4.000,00	R\$ 27.868,36	R\$ 105.588,15	
11		R\$ 78.467,34	R\$ 4.000,00	R\$ 29.663,08	R\$ 112.130,43	
12		R\$ 83.520,64	R\$ 4.000,00	R\$ 31.573,39	R\$ 119.094,03	
13		R\$ 88.899,37	R\$ 4.000,00	R\$ 33.606,71	R\$ 126.506,08	
14		R\$ 94.624,49	R\$ 4.000,00	R\$ 35.770,98	R\$ 134.395,47	
15		R\$ 100.718,31	R\$ 4.000,00	R\$ 38.074,63	R\$ 142.792,94	
16		R\$ 107.204,56	R\$ 4.000,00	R\$ 40.526,64	R\$ 151.731,21	
17		R\$ 114.108,54	R\$ 4.000,00	R\$ 43.136,56	R\$ 161.245,10	
18		R\$ 121.457,13	R\$ 4.000,00	R\$ 45.914,55	R\$ 171.371,68	
19		R\$ 129.278,97	R\$ 4.000,00	R\$ 48.871,45	R\$ 182.150,42	
20		R\$ 137.604,53	R\$ 4.000,00	R\$ 52.018,77	R\$ 193.623,30	
21		R\$ 146.466,27	R\$ 4.000,00	R\$ 55.368,78	R\$ 205.835,04	
22		R\$ 155.898,69	R\$ 4.000,00	R\$ 58.934,53	R\$ 218.833,22	
23		R\$ 165.938,57	R\$ 4.000,00	R\$ 62.729,91	R\$ 232.668,48	
24		R\$ 176.625,01	R\$ 4.000,00	R\$ 66.769,72	R\$ 247.394,73	
25		R\$ 187.999,66	R\$ 4.000,00	R\$ 71.069,69	R\$ 263.069,35	

Fonte: Autoria Própria

A obtenção do VPL nesta etapa segue o mesmo princípio utilizado para o orçamento de maior valor. A tabela 17 proporciona a visibilidade dos dados utilizados para obtenção do VPL. Percebe-se que há um incremento no valor obtido em relação ao caso anterior passando neste caso a um valor de R\$1.152.368,13. Este valor estabelece uma relação ainda mais convincente na viabilidade e capacidade do sistema proposto de gerar receitas superiores aos investimentos iniciais necessários.

Outro índice obtido que também obteve melhoras pela redução no valor do investimento inicial foi a TIR, passando de 23,31% na análise com maior orçamento para os atuais 26,73%. A melhoria neste índice proporciona maior confiança na opção pelo investimento no projeto proposto com possibilidades ainda menores de que variações financeiras possam tornar o projeto inviável.

O IBC percebido na tabela 17 demonstra que neste caso cada unidade monetária investida no projeto proposto, teria um retorno de 3,60 unidades monetárias em caso de implementação. Este valor é ainda maior que o obtido na tabela 16, demonstrando que, com vistas a este índice, o projeto proposto teria sua viabilidade financeira comprovada.

Novamente recorre-se a seção 2.9.2.4 que proporciona de acordo com a literatura a consideração de que, se  $IBC > 1$ ;  $VPL > 0$ ;  $TIR > TMA$ , o projeto pode ser considerado viável. Pelas características dos índices obtidos pode-se considerar que há viabilidade para implantação do projeto proposto.

Com a necessidade de menor investimento inicial e trabalhando com as mesmas taxas e períodos do caso anterior, a tabela 17 proporciona a visibilidade do tempo de retorno do investimento para o estudo com orçamento de menor valor. O payback descontado percebido neste caso é reduzido para um tempo de aproximadamente 5 anos e 10 mês.

Este período de retorno proporciona um ganho de pelo menos 1 ano e 6 meses de geração de caixa em relação ao estudo feito com orçamento de maior valor. Um payback ainda menor proporciona maior segurança para o estudo e proporciona maior solidez para o investimento com retorno financeiro e em tempo de retorno considerado baixo em comparação ao tempo de vida útil do sistema.

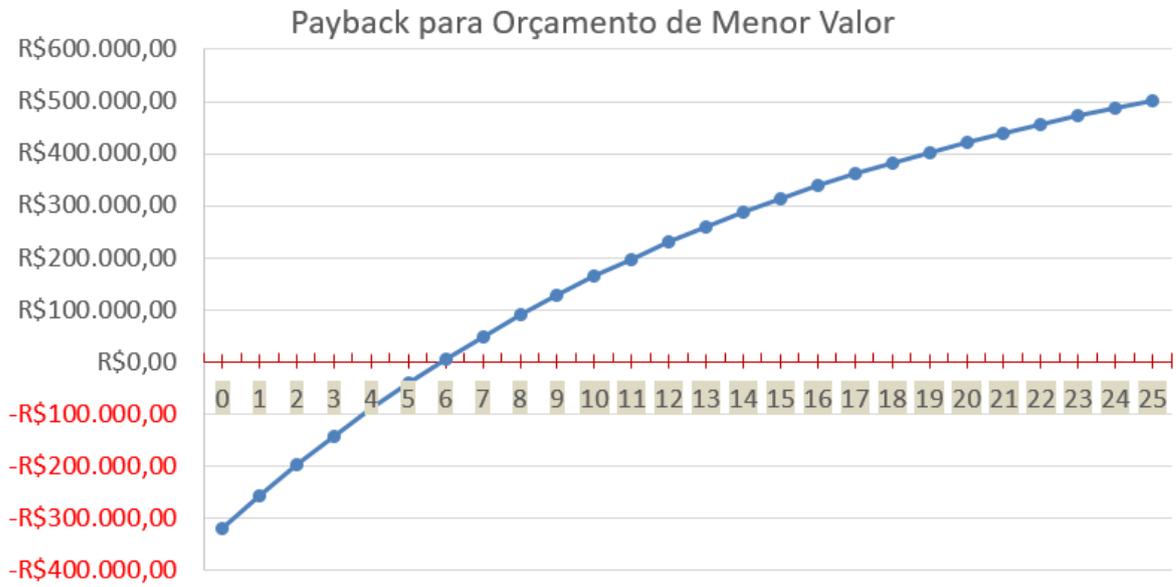
**Tabela 18 – Payback para o Sistema Fotovoltaico Proposto com Orçamento de Menor Valor**

	Valor Presente Líquido (VPL)	Inflação Estimada Na Energia	TMA	IBC	TIR
	R\$1.152.368,13	6,44%	6,50%	3,60	26,73%
PERÍODO	TOTAL ENTRADAS	TOTAL SAIDAS	FLUXO DE CAIXA (CF)	VALOR PRESENTE (VP)	PAY-BACK DESCONTADO
0			-R\$ 319.904,32	-R\$ 319.904,32	-R\$ 319.904,32
1	R\$126.257,61	R\$58.929,43	R\$67.328,18	R\$63.218,95	-R\$256.685,37
2	R\$134.388,60	R\$65.660,09	R\$68.728,51	R\$59.360,51	-R\$197.324,86
3	R\$143.043,23	R\$69.630,99	R\$73.412,23	R\$55.737,57	-R\$141.587,28
4	R\$152.255,21	R\$73.857,63	R\$78.397,58	R\$52.335,75	-R\$89.251,54
5	R\$162.060,45	R\$78.356,46	R\$83.703,98	R\$49.141,55	-R\$40.109,99
6	R\$172.497,14	R\$83.145,02	R\$89.352,12	R\$46.142,30	R\$6.032,31
7	R\$183.605,95	R\$88.241,96	R\$95.364,00	R\$43.326,10	R\$49.358,41
8	R\$195.430,18	R\$93.667,14	R\$101.763,04	R\$40.681,79	R\$90.040,20
9	R\$208.015,88	R\$99.441,70	R\$108.574,18	R\$38.198,86	R\$128.239,06
10	R\$221.412,10	R\$105.588,15	R\$115.823,95	R\$35.867,47	R\$164.106,54
11	R\$235.671,04	R\$112.130,43	R\$123.540,62	R\$33.678,38	R\$197.784,91
12	R\$250.848,26	R\$119.094,03	R\$131.754,23	R\$31.622,89	R\$229.407,81
13	R\$267.002,89	R\$126.506,08	R\$140.496,80	R\$29.692,86	R\$259.100,66
14	R\$284.197,87	R\$134.395,47	R\$149.802,40	R\$27.880,62	R\$286.981,28
15	R\$302.500,21	R\$142.792,94	R\$159.707,27	R\$26.178,98	R\$313.160,26
16	R\$321.981,23	R\$151.731,21	R\$170.250,02	R\$24.581,20	R\$337.741,47
17	R\$342.716,82	R\$161.245,10	R\$181.471,72	R\$23.080,94	R\$360.822,41
18	R\$364.787,78	R\$171.371,68	R\$193.416,10	R\$21.672,25	R\$382.494,65
19	R\$388.280,12	R\$182.150,42	R\$206.129,70	R\$20.349,53	R\$402.844,18
20	R\$413.285,35	R\$193.623,30	R\$219.662,05	R\$19.107,54	R\$421.951,72
21	R\$439.900,93	R\$205.835,04	R\$234.065,89	R\$17.941,35	R\$439.893,07
22	R\$468.230,55	R\$218.833,22	R\$249.397,33	R\$16.846,34	R\$456.739,41
23	R\$498.384,60	R\$232.668,48	R\$265.716,12	R\$15.818,16	R\$472.557,56
24	R\$530.480,57	R\$247.394,73	R\$283.085,84	R\$14.852,73	R\$487.410,29
25	R\$564.643,52	R\$263.069,35	R\$301.574,17	R\$13.946,23	R\$501.356,52

**Fonte: Autoria Própria**

Novamente pode-se recorrer ao auxílio gráfico para perceber de forma mais clara, o período onde o payback passa a ter um valor positivo, indicando com isso o número de períodos necessários para obtenção do retorno do investimento no projeto proposto. O gráfico presente na figura 26 proporciona tal entendimento.

**Figura 25 – Payback para Orçamento de Menor Valor.**



**Fonte: Autoria Própria**

## 5. CONCLUSÃO

Para a finalização deste trabalho, foram realizados estudos dos principais elementos pertencentes a um sistema de geração e ainda a viabilidade técnica e financeira, para a região em que o sistema será instalado. A viabilidade de implantação foi feita com base em dados históricos do consumo de energia, índices de irradiação solar local e ainda as políticas de incentivo fiscal e tarifas existentes. Outros fatores avaliados para a análise foram os custos de demanda contratada e reajustes tarifários previstos para o período, com base no histórico do reajuste aplicado pela concessionária no último ano e custos de manutenção do sistema.

Para o desenvolvimento deste estudo foi utilizado o menor índice de irradiação disponibilizado pelo software da COPEL resultando em uma média anual de 4,66 Kwh/m<sup>2</sup> no local em estudo. Este índice proporcionou alta confiabilidade nos valores obtidos durante a análise de viabilidade.

A avaliação foi baseada em duas situações entre os orçamentos obtidos, uma avaliação com o orçamento de menor valor totalizando R\$ 284.000,00 de investimento e outra com o orçamento de maior valor totalizando R\$ 382.141,32 de investimento. Percebeu-se que mesmo no caso mais crítico, o estudo proporciona com auxílio das ferramentas de análise utilizadas, índices que demonstram viabilidade para sua implantação.

O payback obtido para o orçamento de maior valor foi de um período próximo de 7,3 anos, sendo este considerado atraente para o investimento proposto, uma vez que permite uma formação de caixa de pelo menos 17 anos, após percebido o período de retorno financeiro.

As técnicas de análise utilizadas forneceram valores que puderam ser analisados para comprovação da viabilidade de implantação do sistema proposto. Índices como VPL demonstraram que este projeto seria capaz de gerar receitas superiores aos custos presentes para sua implantação mesmo para a situação com maior valor de orçamento. A análise de dados indica que, se houvesse investimento neste projeto, teria como resultado líquido em termos de valores monetários de hoje

o equivalente VPL obtido com valor de R\$1.152.368,13, proporcionando com isso uma característica de geração de caixa tornando o projeto viável economicamente.

Outro indicador financeiro utilizado analisado foi a TIR, qual oportunizou a comparação entre a aplicação neste projeto ou a aplicação em outros investimentos, tendo como taxa o valor da TMA, sendo que para este índice obteve-se um resultado de 23,31% no orçamento de maior valor e 26,73% para o orçamento de menor valor, superiores a taxa mínima de atratividade estipulada em 6,5%. Isso proporcionou maior confiança na viabilidade de implantação pois, mesmo havendo variações não estimadas no valor da energia elétrica, mudanças em tarifações presentes ou futuras não tornariam inviável sua execução.

O IBC percebido demonstrou que, cada unidade monetária investida no projeto proposto, teria um retorno de 2,86 unidades monetárias para o orçamento de maior valor e 3,60 unidades monetárias para o orçamento de menor valor, em caso de implementação, demonstrando que o projeto proposto teria sua viabilidade financeira comprovada.

A literatura fornece a consideração de que, se  $IBC > 1$ ;  $VPL > 0$ ;  $TIR > TMA$ , o projeto pode ser considerado viável. Com isso conclui-se que, pelos índices obtidos, há uma viabilidade para implantação do projeto proposto.

Este trabalho oportuniza a futuros alunos o estudo de ferramentas de análise de viabilidade técnica e financeira para a implementação de sistemas de geração fotovoltaicos. Um estudo mais detalhado e com emprego de novas tecnologias que estão sendo desenvolvidas e aplicadas em módulos fotovoltaicos pode ser realizado em trabalhos futuros.

A possibilidade de acompanhamento e implementação deste estudo pode ser uma oportunidade para futuros alunos adquirirem maiores conhecimentos sobre este tipo de sistema de geração de energia.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Eliane et al. **Energia solar fotovoltaica: revisão bibliográfica**. Belo Horizonte:[sn], 2016.

ALVES, D. L. **Geração Solar Fotovoltaica: Conceitos básicos**. Rio Grande do Norte: IFRN, 2016. Disponível em:<<https://docente.ifrn.edu.br/dennysalves/disciplinas/energia-solar-fv/>> Acesso em 12 de março de 2019.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Geração Distribuída**. Disponível em <[http://www.aneel.gov.br/informacoestecnicas//asset\\_publisher/CegkWaVJWF5E/](http://www.aneel.gov.br/informacoestecnicas//asset_publisher/CegkWaVJWF5E/)> Acesso em 15 de fevereiro 2019.

AMBIENTE ENERGIA. **Nova Célula solar tem eficiência de 44,5%, a maior do mundo**. Disponível em: <<https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2017/07/nova-celula-solar-tem-eficiencia-de-445-maior-mundo/32187>>. Acesso em: 15 de outubro de 2018.

ATLAS DE ENERGIA SOLAR. **Mapa Interativo**. Disponível em <<http://atlassolarparana.com/>> Acesso em 15 de julho 2019.

BARBIERI, José Carlos; ÁLVARES, Antônio Carlos Teixeira; MACHLINE, Claude. **Taxa Interna de Retorno: controvérsias e interpretações**. Revista GEPROS, n.4, p. 131, 2007.

BLUESOL – **Energia Solar Industrial: Economia de 59% [Estudo de Caso]**. Disponível em <<https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-industrial/>>. Acesso em 16 de julho de 2019.

BRITO, Moacyr Aureliano Gomes de. **Inversores integrados monofásicos e trifásicos para aplicações fotovoltaicas: técnicas para obtenção de mppt, detecção e proteção de ilhamento, sincronização e paralelismo com a rede de distribuição de energia elétrica**. 2013. 220 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2013. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/100343>>.

CANAL SOLAR – **Entendendo as curvas IV e PV dos módulos fotovoltaicos**. Disponível em: < <http://canalsolar.com.br/index.php/artigos/item/59-entendendo-as-curvas-iv-e-pv-dos-modulos-fotovoltaicos>>. Acesso em 30 de abril de 2019.

CARNEIRO, Joaquim AO. **Módulos fotovoltaicos: Características e associações**. 2010.

CASAROTTO FILHO, N & KOPITCKE, B.H., **Análise de Investimentos**. 9ª ed. Editora Atlas. São Paulo, 2000.

COPEL – Companhia Paranaense de Energia Elétrica – **Tarifas de Energia da Copel**. Disponível em: <<https://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e%2Fb2f4a2f0687eb6cf03257488005939b9>>. Acesso em 30 de julho de 2019.

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=publicacoes&task=livro&cid=481>>. Acesso em 30 de janeiro de 2019.

DA SILVEIRA, Douglas Gustavo; BARTZ, Daniel. **Análise da viabilidade financeira da abertura de uma fábrica de ataúdes em Santa Cruz do Sul**. Disponível em <[http://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:wtJISSInLQsJ:scholar.google.com/+AN%C3%81LISE+DA+VIABILIDADE+FINANCEIRA+DA+ABERTURA+DE+UMA+F%C3%81BRICA+DE+ATA%C3%9ADES+EM+SANTA+CRUZ+DO+SUL&hl=pt-BR&as\\_sdt=0,5](http://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:wtJISSInLQsJ:scholar.google.com/+AN%C3%81LISE+DA+VIABILIDADE+FINANCEIRA+DA+ABERTURA+DE+UMA+F%C3%81BRICA+DE+ATA%C3%9ADES+EM+SANTA+CRUZ+DO+SUL&hl=pt-BR&as_sdt=0,5)> Acesso em 15 de julho 2019.

DE MELO, FRANCISCA D.C. **Instalador de Sistemas Fotovoltaicos**. Brasília, 2018.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2018: Ano base 2017**. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>>. Acesso em: 10 de setembro 2018.

ENERGIA SOLAR. **Definição de Watt-Pico**. Disponível em: < <https://pt.solar->

[energia.net/definicoes/watt-peak.html](http://energia.net/definicoes/watt-peak.html)>. Acesso em: 10 de agosto 2019.

FADIGAS, EAFA. Energia solar fotovoltaica: fundamentos, conversão e viabilidade técnico-econômica. **Grupo de Energia Escola Politécnica Universidade de São Paulo**, p. 32, 2012.

FREITAS, Susana Sofia Alves. **Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos**. 2008. Tese de Doutorado. Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e de Gestão.

GODOI, Rodolfo Rodrigues de et al. **Análise Comparativa de Desempenho de Inversor String e Microinversor**. 2018.

HOFIERKA, J. & SÚRI, M. **The solar radiation model for open source GIS: implementation and applications**. In: Proceedings of the Open source GIS – Grass users conference 2002 – Trento, Italy, 11-13 September 2002. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.19.9831&rep=rep1&type=pdf>> Acesso em 25 de fevereiro de 2018.

HELIOTEC EQUIPAMENTOS DIDÁTICOS. **Declinação Magnética**. Disponível em <[http://www.heliodon.com.br/calcular\\_declinacao\\_2.html](http://www.heliodon.com.br/calcular_declinacao_2.html)> Acesso em 15 de agosto de 2019.

IMAX ENERGIA. **Qual a vida útil de um painel solar? Entenda e faça as contas**. Disponível em: <<http://blog.imaxenergia.com.br/qual-a-vida-util-de-um-painel-solar-entenda-e-faca-as-contas/>> Acesso em 25 de agosto de 2018.

LIMA, Adriano Araújo de et al. **Uma metodologia para determinação do ponto econômico de substituição de equipamentos de transporte**. 2002.

MOREIRA, Fábio Miguel Brites. **Sistema fotovoltaicos**. 2016. Tese de Doutorado.

NAKABAYASHI, Renny Kunizo. **Microgeração fotovoltaica no Brasil: condições atuais e perspectivas futuras**. 2014. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ORTEGA, Lisbeth Lúcia Martinez. **Conversão fotovoltaica: comparação de modelos de desempenho**. Rio de Janeiro: PUC, 2013. 116 p. Dissertação

(Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para qualidade e inovação), Faculdade de Metrologia, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2013.

PARANA PORTAL. **Paraná terá isenção de ICMS para “energia caseira”**. Disponível em: < <https://paranaportal.uol.com.br/cidades/426-parana-isencao-icms-energia-caseira/>> Acesso em 25 de agosto de 2018.

PEREIRA, E B *et al.* **Atlas brasileiro de energia solar**. 2ª. Ed. São José dos Campos, 2017.

PINHO, João T.; GALDINO, Marco A.; Grupo de Trabalho de Energia Solar (GTES). CEPEL - GTES. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2014.

PORTAL SOLAR. **Tipos de Painel Solar Fotovoltaico**. Disponível em: < <https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>> Acesso em 10 de setembro de 2018.

REN21. **RENEWABLES 2018: global status report**. Paris, 2018. Disponível em:<[http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652\\_GSR2018\\_FullReport\\_web\\_final\\_.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652_GSR2018_FullReport_web_final_.pdf)>. Acesso em 14 de fevereiro de 2018.

RÜTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos - O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligadas à Rede Elétrica Pública**. LABSOLAR Florianópolis: UFSC. ISBN 85-87583-04-2. 2004. 114p.

SANTOS, Afonso Henrique Moreira *et al.* **Conservação de Energia Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações**. 3. ed. Itajubá: Eletrobrás / Procel Educação, 2006.

SEGUEL, Júlio Igor López. Projeto de um sistema fotovoltaico autônomo de suprimento de energia usando técnica MPPT e controle digital. **Master Degree Dissertation-Research Focus: Power Electronics, PPGEE-UFMG**, 2009.

SENDERSKI, André M. **Estudo de Viabilidade Técnico-financeira de Geração Distribuída por Painéis Fotovoltaicos**. Monografia de Graduação, 51 p. UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. Ponta Grossa, 2018.

SOLAR BRASIL. **Efeitos do Sombreamento em Módulos Solares**. Disponível em: < <http://www.solarbrasil.com.br/blog-da-energia-solar/145-efeito-do-sombreamento-em-modulos-solares-fotovoltaicos-e-consequencias-para-o-arranjo-solar-em-sistemas-de-geracao-de-energia-solar-fotovoltaica-parte-i>> Acesso em 10 de agosto de 2019.

SOLARGIS. **Mapas de recursos solares e dados GIS para mais de 200 países**. Disponível em: < <https://solargis.com/maps-and-gis-data/overview/>> Acesso em 10 de fevereiro de 2019.

SOLARVOLT. **Painel Solar: Conheça os modelos e vantagens**. Disponível em: <<https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/tipos-de-painel-fotovoltaico/>> Acesso em 15 de fevereiro de 2019.

SOUZA, A & CLEMENTE, A. **Decisões Financeiras e Análise de Investimentos – Fundamentos, Técnicas e Aplicações**. 3ª ed. Editora Atlas. São Paulo, 2008.

STROM BRASIL. **Orientação Solar**. Disponível em: < <http://www.strombrasil.com.br/orientacao-solar/>> Acesso em 10 de abril de 2019.

SVIECH, Vinicius; MANTOVAN, Edson Ademir. **Análise de investimentos: controvérsias na utilização da TIR e VPL na comparação de projetos**. Percurso, v. 1, n. 13, p. 270-298, 2013.

TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, E. B.; URBANETZ JR, J.; PEREIRA, S. V.; GONCALVES, A. R.; LIMA, F. J. L.; COSTA, R. S., ALVES, A. R. **"Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná"**. 1a Edição. Curitiba: UTFPR, 2017.

TOLEDO, Ariane Araújo. **Análise de modelo de investimento do projeto de um sistema de energia solar fotovoltaica**. 2016.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. **Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil**. v. 26, n. 74, p. 247-260, 2012.

UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Utfpr, Inpe e Itaipu lançam atlas de energia solar do Paraná. Disponível em: <<http://portal.utfpr.edu.br/noticias/reitoria/divulgacao-cientifica/utfpr-inpe-e-itaipu-lancam-atlas-de-energia-solar-do-parana>> acesso em 15 de setembro de 2018.

URBANETZ JUNIOR, Jair. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbana: Sua Influência na Qualidade da Energia Elétrica e Análise dos Parâmetros que Possam Afetar a Conectividade**. 2010. 189 p. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis.

VCSOLAR. **Painel Solar Fotovoltaico – Tudo sobre o Gerador de Energia Solar**. Disponível em: < <https://voce solar.com.br/painel-solar-fotovoltaico/>>. Acesso em: 10 de julho de 2019.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 2ª ed. Editora Érica, São Paulo, 2015.

WR PRATES. **O que é TMA (Taxa Mínima de Atratividade)?** Disponível em: < <https://www.wrprates.com/o-que-e-tma-taxa-minima-de-atratividade/>>. Acesso em: 23 de setembro de 2019.

WA SOLAR. **Energia solar fotovoltaica – conceitos e aplicações**. Disponível em: <<https://phys.org/news/2015-06-renewable-energy.html>>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2019.

WGSOL. **O efeito fotovoltaico – O sol fabricando eletricidade**. Disponível em: <<https://wgsol.com.br/o-efeito-fotovoltaico-o-sol-fabricando-eletricidade/>>. Acesso em: 10 de março de 2019.

ZILLES, R. et al. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. Editora Oficina de Textos. São Paulo, 2012.

## ANEXOS

ANEXO A - FORMULÁRIO DE SOLICITAÇÃO DE ACESSO PARA MICROGERAÇÃO  
DISTRIBUÍDA COM POTÊNCIA IGUAL OU INFERIOR A 10KW

1 - Identificação da Unidade Consumidora - UC		
Código da UC:	Classe:	
Titular da UC:		
Rua/Av.:	Nº:	CEP:
Bairro:	Cidade:	
E-mail:		
Telefone:	Celular:	
CNPJ/CPF:		
2- Dados da Unidade Consumidora		
Carga instalada (kW):	Tensão de atendimento (V):	
Tipo de conexão: <input type="checkbox"/> monofásica <input type="checkbox"/> bifásica <input type="checkbox"/> trifásica		
3 - Dados da Geração		
Potência instalada de geração (kW):		
Tipo da Fonte de Geração:		
<input type="checkbox"/> Hidráulica <input type="checkbox"/> Solar <input type="checkbox"/> Eólica <input type="checkbox"/> Biomassa <input type="checkbox"/> Cogeração Qualificada		
Outra (especificar):		
4 - Documentação a Ser Anexada		
<input type="checkbox"/> 1. ART do Responsável Técnico pelo projeto elétrico e instalação do sistema de microgeração <input type="checkbox"/> 2. Diagrama unifilar contemplando Geração/Proteção(inversor, se for o caso)/Medição e memorial descritivo da instalação. <input type="checkbox"/> 3. Certificado de conformidade do(s) inversor(es) ou número de registro da concessão do Inmetro do(s) inversor(es) para a tensão nominal de conexão com a rede. <input type="checkbox"/> 4. Dados necessários para registro da central geradora conforme disponível no site da ANEEL: <a href="http://www.aneel.gov.br/scg">www.aneel.gov.br/scg</a> <input type="checkbox"/> 5. Lista de unidades consumidoras participantes do sistema de compensação (se houver) indicando a porcentagem de rateio dos créditos e o enquadramento conforme incisos VI a VIII do art. 2º da Resolução Normativa nº 482/2012 <input type="checkbox"/> 6. Cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes (se houver) <input type="checkbox"/> 7. Documento que comprove o reconhecimento, pela ANEEL, da cogeração qualificada (se houver)		
5 - Contato na Distribuidora (preenchido pela Distribuidora)		
Responsável/Área:		
Endereço:		
Telefone:		
E-mail:		
6 - Solicitante		
Nome/Procurador Legal:		
Telefone:		
E-mail:		
Local	Data	Assinatura do Responsável

ANEXO B - FORMULÁRIO DE SOLICITAÇÃO DE ACESSO PARA MICROGERAÇÃO  
DISTRIBUÍDA COM POTÊNCIA SUPERIOR A 10KW

1 - Identificação da Unidade Consumidora - UC		
Código da UC:	Classe:	
Titular da UC:		
Rua/Av.:	Nº:	CEP:
Bairro:	Cidade:	
E-mail:		
Telefone: ( )	Celular: ( )	
CNPJ/CPF:		
2 - Dados da Unidade Consumidora		
Potência instalada (kW):	Tensão de atendimento (V):	
Tipo de conexão:	<input type="checkbox"/> monofásica <input type="checkbox"/> bifásica <input type="checkbox"/> trifásica	
Tipo de ramal:	<input type="checkbox"/> aéreo <input type="checkbox"/> subterrâneo	
3 - Dados da Geração		
Potência instalada de geração (kW):		
Tipo da Fonte de Geração:		
<input type="checkbox"/> Hidráulica <input type="checkbox"/> Solar <input type="checkbox"/> Eólica <input type="checkbox"/> Biomassa <input type="checkbox"/> Cogeração Qualificada		
Outra (especificar):		
4 - Documentação a Ser Anexada		
<input type="checkbox"/> 1. ART do Responsável Técnico pelo projeto elétrico e instalação do sistema de microgeração <input type="checkbox"/> 2. Projeto elétrico das instalações de conexão, memorial descritivo <input type="checkbox"/> 3. Diagrama unifilar e de blocos do sistema de geração, carga e proteção <input type="checkbox"/> 4. Certificado de conformidade do(s) inversor(es) ou número de registro da concessão do Inmetro do(s) inversor(es) para a tensão nominal de conexão com a rede. <input type="checkbox"/> 5. Dados necessários ao registro da central geradora conforme disponível no site da ANEEL: <a href="http://www.aneel.gov.br/scg">www.aneel.gov.br/scg</a> <input type="checkbox"/> 6. Lista de unidades consumidoras participantes do sistema de compensação (se houver) indicando a porcentagem de rateio dos créditos e o enquadramento conforme incisos VI a VIII do art. 2º da Resolução Normativa nº 482/2012 <input type="checkbox"/> 7. Cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes (se houver) <input type="checkbox"/> 8. Documento que comprove o reconhecimento, pela ANEEL, da cogeração qualificada (se houver)		
5 - Contato na Distribuidora (preenchido pela Distribuidora)		
Responsável/Área:		
Endereço:		
Telefone:		
E-mail:		
Solicitante		
Nome/Procurador Legal:		
Telefone:		
E-mail:		
	/	/
Local	Data	Assinatura do Responsável

# ANEXO C - FORMULÁRIO DE SOLICITAÇÃO DE ACESSO PARA MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA



## FORMULÁRIO DE SOLICITAÇÃO DE ACESSO PARA MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA

1 - Identificação da Unidade Consumidora - UC	
Código da UC:	Grupo B <input type="checkbox"/> Grupo A <input type="checkbox"/> Classe: _____
Titular da UC :	
Rua/Av.:	Nº: _____ CEP: _____
Bairro:	Cidade: _____
E-mail: _____	
Telefone:	Celular: _____
CNPJ/CPF: _____	
2 - Dados da Unidade Consumidora	
Localização em coordenadas: Latitude:	Longitude: _____
Potência instalada (kW):	Tensão de atendimento (V): _____
Tipo de conexão: monofásica <input type="checkbox"/> bifásica <input type="checkbox"/> trifásica <input type="checkbox"/>	
Transformador particular (kVA): 75 <input type="checkbox"/> 112,5 <input type="checkbox"/> 225 <input type="checkbox"/> outro: _____	
Tipo de instalação: Posto de transformação <input type="checkbox"/> cabina <input type="checkbox"/> subestação <input type="checkbox"/>	
Tipo de ligação do transformador: _____	
Impedância percentual do transformador: _____	
Tipo de ramal: aéreo <input type="checkbox"/> subterrâneo <input type="checkbox"/>	
3 - Dados da Geração	
Potência instalada de geração (kW): _____	
Tipo da Fonte de Geração:	
Hidráulica <input type="checkbox"/> Solar <input type="checkbox"/> Eólica <input type="checkbox"/> Biomassa <input type="checkbox"/> Cogeração Qualificada <input type="checkbox"/>	
Outra (especificar): _____	
4 - Documentação a Ser Anexada	
<input type="checkbox"/> 1. ART do Responsável Técnico pelo projeto elétrico e instalação do sistema de minigeração <input type="checkbox"/> 2. Projeto elétrico das instalações de conexão, memorial descritivo <input type="checkbox"/> 3. Estágio atual do empreendimento, cronograma de implantação e expansão <input type="checkbox"/> 4. Diagrama unifilar e de blocos do sistema de geração, carga e proteção <input type="checkbox"/> 5. Certificado de conformidade do(s) inversor(es) ou número de registro da concessão do Inmetro do(s) inversor(es) para a tensão nominal de conexão com a rede. <input type="checkbox"/> 6. Dados necessários ao registro da central geradora conforme disponível no site da ANEEL: <a href="http://www.aneel.gov.br/scg">www.aneel.gov.br/scg</a> <input type="checkbox"/> 7. Lista de unidades consumidoras participantes do sistema de compensação (se houver) indicando a porcentagem de rateio dos créditos e o enquadramento conforme incisos VI a VIII do art. 2º da Resolução Normativa nº 482/2012 <input type="checkbox"/> 8. Cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes (se houver) <input type="checkbox"/> 9. Documento que comprove o reconhecimento, pela ANEEL, da cogeração qualificada (se houver)	
5 - Contato na Distribuidora (preenchido pela Distribuidora)	
Responsável/Área: _____	
Endereço: _____	
Telefone: _____	
E-mail: _____	
6 - Solicitante	
Nome/Procurador Legal: _____	
Telefone: _____	
E-mail: _____	
_____	_____/_____/_____ Local Data Assinatura do Responsável

ANEXO D – DATASHEET PAINEL SOLAR BYD

# P6C-36-SÉRIE-5BB

**156.75P**



- 

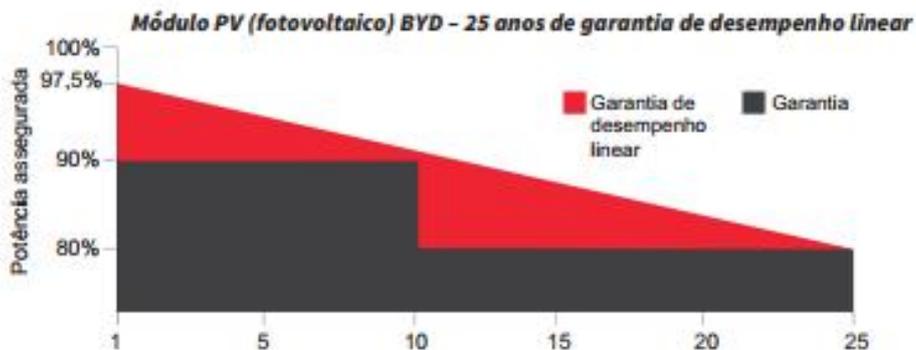
**19,2%** Eficiência celular média de até 19,2%  
Excelente desempenho óptico
- 

**0-5w** Tolerância positiva de 0 ~ 5W  
Confiabilidade do desempenho de saída
- 

**10 Anos** 10 anos de garantia para o produto  
25 anos de garantia de desempenho linear
- 

**Rede** Sistemas residenciais para telhados  
Sistemas comerciais *on-grid* (ligados à rede) e *off-grid* (fora de rede)  
Redes de serviços *on-grid* (ligadas à rede) e *off-grid* (fora de rede)
- 

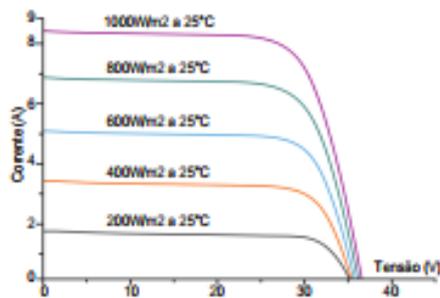
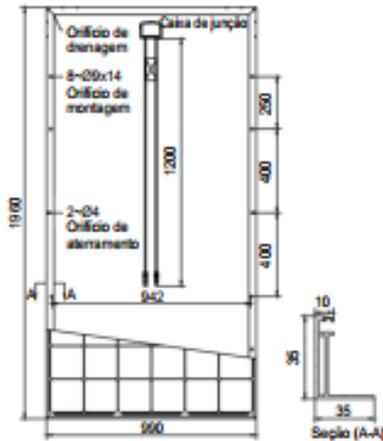
**Certificação** ISO 9001:2015; ISO 14001:2015



# P6C-36-SÉRIE-5BB

## 310 – 340W

### 156.75P



#### FICHA TÉCNICA

Célula	Policristalinas 156,75 x 156,75 mm (6,17 polegadas)
Número de células	72 (6 x 12) unidades
Dimensão do módulo	1960 x 990 x 35 mm (77,24 x 39,0 x 1,38 polegadas)
Peso	22,1 kg (48,62 Lb)
Vidro frontal	Vidro temperado de 3,2 mm com revestimento de AR
Estrutura	Liga de alumínio anodizado
Caixa de junção	IP67
Conector	IP67
Diodos bypass	3 unidades
Tipo de conector	Compatível com MC4
Área de seção do cabo	4 mm <sup>2</sup> (0,0062 Sq in)
Comprimento do cabo	2 x 1200 mm (2 x 47,2 polegadas)

#### COEFICIENTES DE TEMPERATURA

Condições nominais de temperatura de funcionamento da célula (NOCT)	45°C±2
Coefficiente de temperatura da corrente de curto-circuito	0,07%/°C
Coefficiente de temperatura da tensão de circuito aberto	-0,31%/°C
Coefficiente de temperatura de potência de pico	-0,39%/°C

#### INFORMAÇÕES SOBRE A EMBALAGEM

Embalagem	40' HC
Unidades / paleta	28
Paleta / contêiner	22
Unidades / contêiner	660

#### ESPECIFICAÇÕES ELÉTRICAS - BYD P6C-36-SÉRIE-5BB

Tipo de módulo	310P6C-36	315P6C-36	320P6C-36	325P6C-36	330P6C-36	335P6C-36	340P6C-36
Tensão de circuito aberto (Voc)	45,79V	46,09V	46,39V	46,69V	46,98V	47,28V	47,58V
Tensão máxima de funcionamento (Vmp)	36,38V	36,58V	36,78V	36,98V	37,16V	37,35V	37,53V
Corrente de curto-circuito (Isc)	8,99A	9,07A	9,15A	9,23A	9,31A	9,39A	9,47A
Corrente de potência de pico (Imp)	8,52A	8,61A	8,70A	8,79A	8,88A	8,97A	9,06A
Potência máxima em STC (Pmax)	310 Wp	315 Wp	320 Wp	325 Wp	330 Wp	335 Wp	340 Wp
Eficiência do módulo	15,9%	16,2%	16,4%	16,7%	17,0%	17,2%	17,5%
Temperatura de operação	-40°C – 85°C						
Valor nominal da corrente máxima do fusível	15A						
Tensão máxima do sistema	1000 VCC						
Tolerância de saída de potência	0 – 5 W						
Classe de aplicação	Classe A						

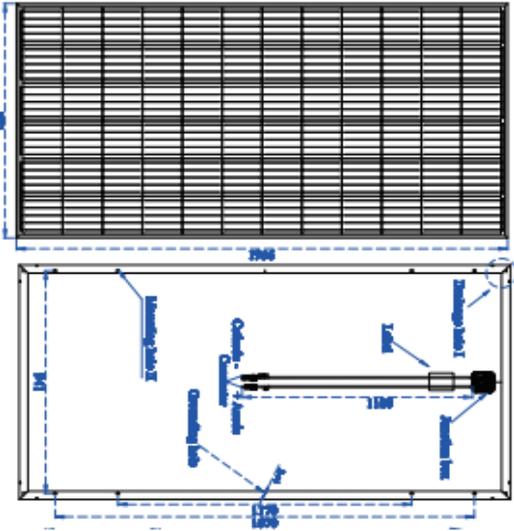
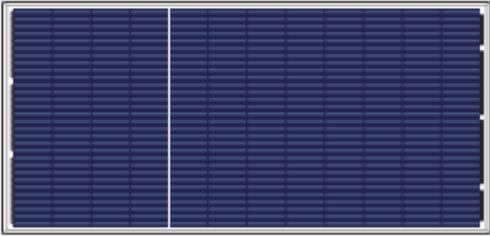
Valores em condições de teste normalizadas: STC: IRRADIAÇÃO de 1000W/m<sup>2</sup>, temperatura do módulo de 25°C, AM (massa de ar) = 1,5. Redução média de eficiência de 4,5% a 200 W/m<sup>2</sup>.

ANEXO E – DATASHEET PAINEL SOLAR DAH DHP-72

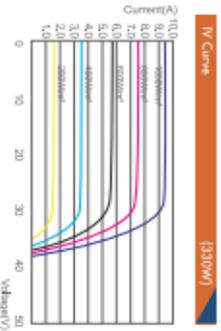
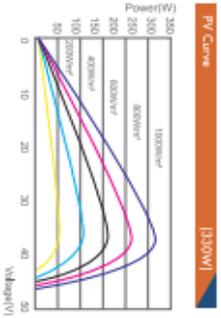
**DHP72** (588)

**315W-330W**

Poly crystalline PV Module



**Function parameter**



**Mechanical Specification**

Cells Type	Poly 156.75x156.75mm		
Weight	22.5kg		
Dimension (LxWxT)	1936x991x40mm		
Output Cables	TUV, Length:900mm, 4.0mm²		
No. of Cells	72 (6x12)		
Front Glass	3.2mm High Transmission, Low Iron Tempered Glass		
Frame	Anodized Aluminium		
Junction box	IP67, 3 Bypass Diodes		
Connector	MC4 or MC4 Compatible		

**Packing Configuration**

Container	20GP	40GP	40HC
PCS per pallet	27	27	27
PIU per container	10	24	24
PCS per container	270	648	696

**Operating Parameters**

Maximum system voltage	DC1000V
Operating Temperature (°C)	-40 ~ +85°C
Maximum series fuse rating	15A
Snow load/frontside	5400N/m
Wind load, backside	2400N/m
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45°C±2°C
Application level	Class A

**Electrical Characteristics (Standard Test Conditions)**

Module Type	DHP72-315	DHP72-320	DHP72-325	DHP72-330
Maximum Power(Pmax)	315W	320W	325W	330W
Open-circuit Voltage (Voc)	45.6V	45.8V	45.9V	46.1V
Maximum Power Voltage (Vmp)	36.9V	37.1V	37.2V	37.3V
Short-circuit Current (Isc)	9.00A	9.10A	9.25A	9.38A
Maximum Power Current(Imp)	8.54A	8.63A	8.76A	8.85A
Module Efficiency(%)	16.25%	16.51%	16.77%	17.02%

Power Tolerance	0 ~ +5W
Temperature Coefficient of Isc	0.05%/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.33%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.41%/°C
Standard Test Environment	Irradiance 1000w/m², Ambient temperature 25°C, Spectrum AM1.5

**Electrical Characteristics (Noct)**

Module Type	DHP72-315	DHP72-320	DHP72-325	DHP72-330
Maximum Power(Pmax)	234W	238W	242W	246W
Open-circuit Voltage (Voc)	42.6V	42.5V	42.6V	42.7V
Maximum Power Voltage (Vmp)	34.3V	34.4V	34.5V	34.6V

## ANEXO F – DATASHEET PAINEL SOLAR CANADIAN CS6-U-330P



## MAXPOWER CS6U-315 | 320 | 325 | 330P

Os novos módulos policristalinos MAXPOWER da Canadian Solar usam a mais recente tecnologia inovadora de célula de cinco barras, aumentando a saída de potência do módulo e a confiabilidade do sistema.

### PRINCIPAIS RECURSOS



Confiabilidade aprimorada com a tecnologia de célula de 5 barras



Eficiência da célula de até 18,8%



Excepcional desempenho de baixa irradiação: 96%



Caixa de derivação IP67, resistência de longo prazo ao clima



Carga de neve pesada até 5.400 Pa, carga de vento até 2.400 Pa

25  
anos

de garantia de saída de potência linear

10  
anos

de garantia do produto em materiais e mão de obra

### CERTIFICADOS DE SISTEMA DE GESTÃO\*

ISO 9001:2008/Sistema de gestão da qualidade  
ISO/TS 16949:2009/O sistema de gestão de qualidade do setor automotivo  
ISO 14001:2004/Padrões para sistema de gestão ambiental  
OHSAS 18001:2007/Padrões internacionais para saúde e segurança no trabalho

### CERTIFICADOS DO PRODUTO\*

IEC 61215/IEC 61730: VDE/CE  
UL 1703: CSA/IEC 61701 ED2: VDE/IEC 62716: VDE/Take-e-way



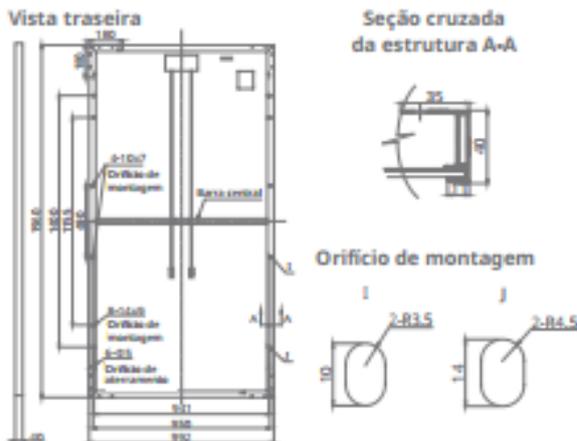
\* As exigências de certificação são diferentes em cada mercado, portanto solicite a seu representante de vendas local da Canadian Solar os certificados válidos para os produtos na região em que eles serão usados.

A CANADIAN SOLAR INC. está comprometida a fornecer produtos solares, soluções de sistemas solares e serviços de alta qualidade para clientes em todo o mundo. Como desenvolvedora de projetos fotovoltaicos e fabricante líder de módulos solares com mais de 15 GW instalados em todo o mundo desde 2001, a Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) é uma das empresas de energia solar mais lucrativas do mundo.

### CANADIAN SOLAR INC.

2430 Camino Ramon, Suite 240 San Ramon, CA, USA 94583-4385, [www.canadiansolar.com](http://www.canadiansolar.com), [sales.us@canadiansolar.com](mailto:sales.us@canadiansolar.com)

## DESENHOS DE ENGENHARIA (mm)



## DADOS ELÉTRICOS/STC\*

CS6U	315P	320P	325P	330P
Potência nominal máx. (P <sub>máx</sub> )	315 W	320 W	325 W	330 W
Tensão operacional ideal (V <sub>mp</sub> )	36,6 V	36,8 V	37,0 V	37,2 V
Corrente operacional ideal (I <sub>mp</sub> )	8,61 A	8,69 A	8,78 A	8,88 A
Tensão de circuito aberto (V <sub>oc</sub> )	45,1 V	45,3 V	45,5 V	45,6 V
Corrente de curto-circuito (I <sub>sc</sub> )	9,18 A	9,26 A	9,34 A	9,45 A
Eficiência do módulo	16,20%	16,46%	16,72%	16,97%
Temperatura operacional	+40 °C – +85 °C			
Tensão máxima do sistema	1.000 V (IEC) ou 1.000 V (UL)			
Desempenho do módulo	TIPO 1 (UL 1703) ou			
contra incêndio	CLASSE C (IEC 61730)			
Classificação máx. de fusíveis da série	15 A			
Classificação da aplicação	Classe A			
Tolerância de potência	0 – + 5 W			

\* Sob condições de teste padrão (STC) de irradiação de 1.000 W/m<sup>2</sup>, espectro AM de 1,5 e temperatura de célula de 25 °C.

## DADOS ELÉTRICOS/NOCT\*

CS6U	315P	320P	325P	330P
Potência nominal máx. (P <sub>máx</sub> )	228 W	232 W	236 W	239 W
Tensão operacional ideal (V <sub>mp</sub> )	33,4 V	33,6 V	33,7 V	33,9 V
Corrente operacional ideal (I <sub>mp</sub> )	6,84 A	6,91 A	6,98 A	7,05 A
Tensão de circuito aberto (V <sub>oc</sub> )	41,5 V	41,6 V	41,8 V	41,9 V
Corrente de curto-circuito (I <sub>sc</sub> )	7,44 A	7,50 A	7,57 A	7,66 A

\* Sob temperatura operacional normal da célula (NOCT), irradiação de 800 W/m<sup>2</sup>, espectro AM de 1,5, temperatura ambiente de 20 °C, velocidade do vento de 1 m/s.

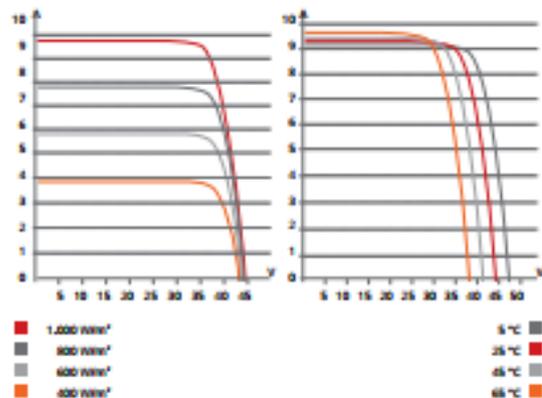
## DESEMPENHO A BAIXA IRRADIAÇÃO

Desempenho excepcional em ambientes de baixa irradiação, eficiência média relativa de 96% a partir de uma irradiação de 1.000 W/m<sup>2</sup> a 200 W/m<sup>2</sup> (AM 1,5, 25 °C).

A especificação e os principais recursos descritos nesta ficha técnica podem ser um pouco diferentes e não estão garantidos. Devido à contínua inovação, pesquisa e melhoria de produtos, a Canadian Solar Inc. reserva-se o direito de fazer modificações nas informações descritas neste documento a qualquer momento e sem aviso prévio. Sempre adquira a versão mais recente da ficha técnica, que deve ser devidamente incorporada ao contrato legal firmado pelas partes regulamentando todas as transações relativas à compra e à venda dos produtos aqui descritos.

Atenção: Apenas para uso profissional. A instalação e o manuseio de módulos fotovoltaicos requerem habilidades profissionais. Apenas profissionais qualificados devem realizá-los. Leia as instruções de segurança e instalação antes de usar os módulos.

## CS6U-320P | CURVAS I-V



## DADOS MECÂNICOS

Especificação	Dados
Tipo de célula	Policristalino, 6 polegadas
Organização das células	72 (6 × 12)
Dimensões	1.960 × 992 × 40 mm (77,2 × 39,1 × 1,57 pol.)
Peso	22,4 kg (49,4 lb)
Tampa dianteira	Vidro temperado de 3,2 mm
Material da estrutura	Liga de alumínio anodizado
Caixa de derivação	IP67, 3 diodos
Cabo	4 mm <sup>2</sup> (IEC) ou 4 mm <sup>2</sup> e 12 AWG 1.000 V (UL), 1.160 mm (45,7 pol.)
Conectores	T4 (IEC/UL)
Por palete	26 peças
Por contêiner (40' HQ)	624 peças

## CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA

Especificação	Dados
Coefficiente de temperatura (P <sub>máx</sub> )	-0,41%/°C
Coefficiente de temperatura (V <sub>oc</sub> )	-0,31%/°C
Coefficiente de temperatura (I <sub>sc</sub> )	0,053%/°C
Temperatura operacional nominal da célula	45±2 °C

## SEÇÃO DO PARCEIRO



ANEXO G - INVERSOR RENOVIGI RENO – 30K – LV



**RENOVIGI**  
ENERGIA SOLAR

**INVERSOR ON-GRID TRIFÁSICO**  
RENO-20K-LV  
RENO-30K-LV

**NOSSOS INVERSORES SÃO AJUSTADOS DE ACORDO COM AS NORMAS BRASILEIRAS**

**Inteligente**  
Ventilador redundante

**WiFi**  
Monitoramento em tempo real

**IP65**

**220V**  
Trifásico

**CARACTERÍSTICAS**

- Trifásico;
- Eficiência máxima;
- Algoritmo MPPT de alta precisão;
- Visualmente agradável em qualquer ambiente;
- Monitoramento WiFi;
- Ventilação forçada inteligente;
- Totalmente protegido contra poeira e jatos d'água.

**DADOS TÉCNICOS**

Modelo de Inversor	RENO-30K-LV	RENO-20K-LV
<b>Entrada (CC)</b>		
Potência máxima CC (W)	36000	24000
Tensão máxima CC (V)	1100	1000
Faixa de tensão MPPT (V)	200/850	200/800
Máxima corrente de entrada por MPPT (A)	28.5+28.5	20+20
Tensão de partida (V)	350	350
Número MPPT/Strings por MPPT	2/3	2/2
<b>Saída (CA)</b>		
Potência nominal CA (W)	30000	20000
Tensão nominal CA (V)	220	220
Potência aparente VA (W)	30000	20000
Faixa de tensão de operação por fase (V)	101-140	101-140
Frequência de rede CA (Hz)	60	60
Corrente máxima de saída (A)	78.8	52.5
Fator de potência (cos φ), ajustável	0.8...1...0.8	0.8...1...0.8
Harmônicas	<3%	<3%
<b>Eficiência</b>		
Máxima eficiência	97,0%	97%
Euro eficiência	96,5%	96,5%
MPPT eficiência	>99,5%	99,9%
<b>Dados gerais</b>		
Dimensões	630W*700H357D	530L*700A*356,5D
Peso (kg)	63	58,2
Temperatura ambiente (°C)	-25 ~ 80	-25~ 60
Grau de proteção (de acordo com IEC 60529)	IP65	IP65
Consumo interno (noite) (W)	< 1	< 1
Topologia	Sem transformador	Sem transformador
Tipo de resfriamento	Ventilador	Ventilador
Ruído (dBA)	<60	<60
Garantia (anos)	12	12



**Garantia de 12 anos**  
Direto com a Renovigi.  
Você não depende do fabricante.

Disponível na  

**WiFi**

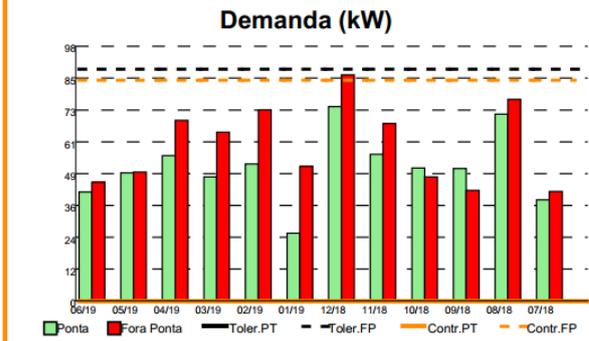
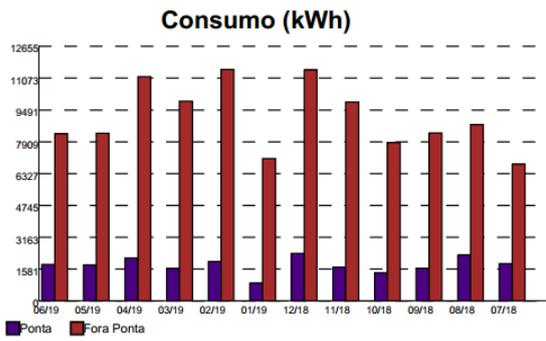


## ANEXO H - TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA DA UNIDADE CONSUMIDORA

		Copel Distribuição S.A. Rua José Izidoro Biazetto, 158 - Curitiba-PR - 81 200-240 CNPJ 04.368.898/0001-06 - IE: 90.233.073-99 IM: 423.992-4	página 1 / 2 	<a href="http://www.copel.com">www.copel.com</a>																																																									
<div style="border: 2px solid red; width: 300px; height: 60px;"></div>		<b>Mês de referência</b> <b>Junho/2019</b>	<b>N° de Identificação</b> <div style="border: 1px solid red; width: 100px; height: 20px;"></div>																																																										
		<b>Vencimento</b> <b>20/07/2019</b>	<b>VALOR</b> <b>R\$ 9.663,26</b>																																																										
FAT-01-20197850731394-60																																																													
<b>Valores Faturados</b>																																																													
<b>NOTA FISCAL/CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA N° 085.117.437 - SÉRIE B</b>																																																													
Emitida em 26/06/2019																																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Produto Descrição</th> <th>Un.</th> <th>Grandezas Faturadas</th> <th>Valor Unitário</th> <th>Valor Total</th> <th>Base de Cálculo</th> <th>Aliq. ICMS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ENERGIA ELET CONSUMO PTA</td> <td>kWh</td> <td>1806,00</td> <td>1,975969</td> <td>3.568,60</td> <td>3.568,60</td> <td>29,00</td> </tr> <tr> <td>ENERGIA ELET CONSUMO F PTA</td> <td>kWh</td> <td>8312,00</td> <td>0,517917</td> <td>4.304,93</td> <td>4.304,93</td> <td>29,00</td> </tr> <tr> <td>ENERGIA REAT EXC F PONTA</td> <td>kWh</td> <td>6,00</td> <td>0,443333</td> <td>2,66</td> <td>2,66</td> <td>29,00</td> </tr> <tr> <td>DEMANDA</td> <td>kW</td> <td>45,70</td> <td>22,564551</td> <td>1.031,20</td> <td>1.031,20</td> <td>29,00</td> </tr> <tr> <td>DEMANDA ISENTA ICMS</td> <td>kW</td> <td>39,30</td> <td>15,581170</td> <td>612,34</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>ENERGIA CONS. B.AMARELA</td> <td>kWh</td> <td></td> <td></td> <td>60,80</td> <td>60,80</td> <td>29,00</td> </tr> <tr> <td colspan="4">CONT ILUMIN PUBLICA MUNICIPIO</td> <td>82,73</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Produto Descrição	Un.	Grandezas Faturadas	Valor Unitário	Valor Total	Base de Cálculo	Aliq. ICMS	ENERGIA ELET CONSUMO PTA	kWh	1806,00	1,975969	3.568,60	3.568,60	29,00	ENERGIA ELET CONSUMO F PTA	kWh	8312,00	0,517917	4.304,93	4.304,93	29,00	ENERGIA REAT EXC F PONTA	kWh	6,00	0,443333	2,66	2,66	29,00	DEMANDA	kW	45,70	22,564551	1.031,20	1.031,20	29,00	DEMANDA ISENTA ICMS	kW	39,30	15,581170	612,34	0,00	0,00	ENERGIA CONS. B.AMARELA	kWh			60,80	60,80	29,00	CONT ILUMIN PUBLICA MUNICIPIO				82,73							
Produto Descrição	Un.	Grandezas Faturadas	Valor Unitário	Valor Total	Base de Cálculo	Aliq. ICMS																																																							
ENERGIA ELET CONSUMO PTA	kWh	1806,00	1,975969	3.568,60	3.568,60	29,00																																																							
ENERGIA ELET CONSUMO F PTA	kWh	8312,00	0,517917	4.304,93	4.304,93	29,00																																																							
ENERGIA REAT EXC F PONTA	kWh	6,00	0,443333	2,66	2,66	29,00																																																							
DEMANDA	kW	45,70	22,564551	1.031,20	1.031,20	29,00																																																							
DEMANDA ISENTA ICMS	kW	39,30	15,581170	612,34	0,00	0,00																																																							
ENERGIA CONS. B.AMARELA	kWh			60,80	60,80	29,00																																																							
CONT ILUMIN PUBLICA MUNICIPIO				82,73																																																									
<table border="1"> <tr> <td>Base de Cálculo do ICMS</td> <td>Valor ICMS</td> <td>Valor Total da Nota Fiscal</td> </tr> <tr> <td>8.968,19</td> <td>2.600,77</td> <td>9.663,26</td> </tr> </table>	Base de Cálculo do ICMS	Valor ICMS	Valor Total da Nota Fiscal	8.968,19	2.600,77	9.663,26	Reservado ao Fisco: 1060.965E.CCDE.C9AA.9480.92A1.56D8.53C8																																																						
Base de Cálculo do ICMS	Valor ICMS	Valor Total da Nota Fiscal																																																											
8.968,19	2.600,77	9.663,26																																																											

		Copel Distribuição S.A. Rua José Izidoro Biazetto, 158 - Curitiba-PR - 81 200-240 CNPJ 04.368.898/0001-06 - IE: 90.233.073-99 IM: 423.992-4	página 1 / 2 	<a href="http://www.copel.com">www.copel.com</a>																																																																																		
<div style="border: 2px solid red; width: 280px; height: 50px;"></div>		<b>Mês de referência</b> <b>Junho/2019</b>	<b>N° de Identificação</b> <div style="border: 1px solid red; width: 100px; height: 20px;"></div>																																																																																			
		<b>Vencimento</b> <b>20/07/2019</b>	<b>VALOR</b> <b>R\$ 9.663,26</b>																																																																																			
FAT-01-20197850731394-60																																																																																						
<b>EXTRATO DE FATURAMENTO - TARIFA HORARIA VERDE</b>																																																																																						
Emitida em 25/06/2019																																																																																						
<b>Informações Técnicas</b>																																																																																						
<b>Mês/Ano Consumo/Usado do Sistema:</b> 06/2019 Data Provável Apresent 10/07/2019 Data Real Leit Atual 21/06/2019 Data Real Leit Anterior 21/05/2019 Data Provável Prox Leitura 23/07/2019	<b>Comerc/Outras Ativ de Ensino N Esp</b> Perdas de Transformação: 2.5% Rel. Transform. Corrente: 200/5 Rel. Transform. Potencial: 000000/000	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO</th> </tr> <tr> <th>SAG 1681HD</th> <th>kW</th> <th>kWh</th> <th>kvarh</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Medidor</td> <td>0031605963</td> <td>0031605963</td> <td>0031605963</td> </tr> <tr> <td>Constante</td> <td>0.04800</td> <td>0.01200</td> <td>0.01200</td> </tr> <tr> <td>Constante Excedente Reativo kW/kWh</td> <td></td> <td></td> <td>0.01200</td> </tr> </tbody> </table>			EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO				SAG 1681HD	kW	kWh	kvarh	Medidor	0031605963	0031605963	0031605963	Constante	0.04800	0.01200	0.01200	Constante Excedente Reativo kW/kWh			0.01200																																																														
EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO																																																																																						
SAG 1681HD	kW	kWh	kvarh																																																																																			
Medidor	0031605963	0031605963	0031605963																																																																																			
Constante	0.04800	0.01200	0.01200																																																																																			
Constante Excedente Reativo kW/kWh			0.01200																																																																																			
<b>Grandezas e Valores para Faturamento</b>																																																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Produto</th> <th>Leitura Anterior</th> <th>Leitura Atual</th> <th>Medido</th> <th>Contratado</th> <th>Faturado</th> <th>Tarifa</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ENERGIA ELET CONSUMO PTA</td> <td>14294471</td> <td>14441367</td> <td>1806,00</td> <td></td> <td>1806,00</td> <td>1,975969</td> <td>3.568,60</td> </tr> <tr> <td>ENERGIA ELET CONSUMO F PTA</td> <td>61867407</td> <td>62543215</td> <td>8312,00</td> <td></td> <td>8312,00</td> <td>0,517917</td> <td>4.304,93</td> </tr> <tr> <td>ENERGIA REAT EXC F PONTA</td> <td>54490</td> <td>55013</td> <td>6,00</td> <td></td> <td>6,00</td> <td>0,443333</td> <td>2,66</td> </tr> <tr> <td>DEMANDA</td> <td>1008</td> <td>929</td> <td>45,70</td> <td>85,00</td> <td>45,70</td> <td>22,564551</td> <td>1.031,20</td> </tr> <tr> <td>DEMANDA ISENTA ICMS</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>39,30</td> <td>15,581170</td> <td>612,34</td> </tr> <tr> <td>ENERGIA CONS. B.AMARELA</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>60,80</td> </tr> <tr> <td>ENERGIA ELETRICA CONSUMO</td> <td>76161878</td> <td>76984582</td> <td>10119,00</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ENERGIA REAT EXC PONTA</td> <td>5421</td> <td>5421</td> <td>0,00</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ENER. REAT. INDUTIVA</td> <td>7391235</td> <td>7404496</td> <td>163,00</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Produto	Leitura Anterior	Leitura Atual	Medido	Contratado	Faturado	Tarifa	Total	ENERGIA ELET CONSUMO PTA	14294471	14441367	1806,00		1806,00	1,975969	3.568,60	ENERGIA ELET CONSUMO F PTA	61867407	62543215	8312,00		8312,00	0,517917	4.304,93	ENERGIA REAT EXC F PONTA	54490	55013	6,00		6,00	0,443333	2,66	DEMANDA	1008	929	45,70	85,00	45,70	22,564551	1.031,20	DEMANDA ISENTA ICMS					39,30	15,581170	612,34	ENERGIA CONS. B.AMARELA							60,80	ENERGIA ELETRICA CONSUMO	76161878	76984582	10119,00					ENERGIA REAT EXC PONTA	5421	5421	0,00					ENER. REAT. INDUTIVA	7391235	7404496	163,00										
Produto	Leitura Anterior	Leitura Atual	Medido	Contratado	Faturado	Tarifa	Total																																																																															
ENERGIA ELET CONSUMO PTA	14294471	14441367	1806,00		1806,00	1,975969	3.568,60																																																																															
ENERGIA ELET CONSUMO F PTA	61867407	62543215	8312,00		8312,00	0,517917	4.304,93																																																																															
ENERGIA REAT EXC F PONTA	54490	55013	6,00		6,00	0,443333	2,66																																																																															
DEMANDA	1008	929	45,70	85,00	45,70	22,564551	1.031,20																																																																															
DEMANDA ISENTA ICMS					39,30	15,581170	612,34																																																																															
ENERGIA CONS. B.AMARELA							60,80																																																																															
ENERGIA ELETRICA CONSUMO	76161878	76984582	10119,00																																																																																			
ENERGIA REAT EXC PONTA	5421	5421	0,00																																																																																			
ENER. REAT. INDUTIVA	7391235	7404496	163,00																																																																																			

**Histórico de Consumo e Pagamentos**



Mês/Ano	Valor da Fatura	Data de Vencimento	Data de Pagamento	Consumo Ponta	Consumo Fora Pta.	Demanda Ponta	Demanda Fora Pta.	Dem.Cont. Ponta	Dem.Cont. Fora Pta.	Dem.Tol. Ponta	Dem.Tol. Fora Pta.
06/2019	9.663,26	20/07/2019		1806	8312	41.91	45.7	0	85	0	89.25
05/2019	9.736,67	20/06/2019	17/06/2019	1790	8339	49.29	49.59	0	85	0	89.25
04/2019	11.928,96	20/05/2019	17/05/2019	2139	11146	55.98	69.47	0	85	0	89.25
03/2019	10.223,32	20/04/2019	08/04/2019	1605	9925	47.77	64.94	0	85	0	89.25
02/2019	11.989,56	20/03/2019	11/03/2019	1954	11505	52.69	73.55	0	85	0	89.25
01/2019	7.392,59	20/02/2019	18/02/2019	874	7073	26.07	51.8	0	85	0	89.25
12/2018	13.380,68	20/01/2019	21/01/2019	2366	11488	74.78	87.08	0	85	0	89.25
11/2018	11.235,54	20/12/2018	17/12/2018	1673	9890	56.43	68.24	0	85	0	89.25
10/2018	9.639,98	20/11/2018	12/11/2018	1392	7862	51.11	47.77	0	85	0	89.25
09/2018	10.052,85	20/10/2018	15/10/2018	1623	8344	50.97	42.6	0	85	0	89.25
08/2018	11.655,77	20/09/2018	17/09/2018	2269	8759	71.93	77.58	0	85	0	89.25
07/2018	9.358,43	20/08/2018	20/08/2018	1848	6795	38.96	42.16	0	85	0	89.25

ANEXO I - ORÇAMENTO PARA O SISTEMA FOTOVOLTAICO FORNECIDO PELA  
EMPRESA DE PALMAS – PR



**Engp - Serviços de Engenharia Elétrica: Projetos, Consultoria,  
Instalações e Manutenção Elétrica Industrial.**

Rua Benjamin Constant – 316- Palmas – PR.

ITEM	DESCRIÇÃO	QUANT.
1	Inversor fotovoltaico ( <i>RENOVIGI</i> RENO-20K-LV (20kW), trifásico, 220V, 2 MPPTs)	4
2	Painel Fotovoltaico CANADIAN CS6-U-330P – com estruturas para fixação em telhado;	263
3	Sistema de aterramento CC/CA ( cabo de cobre nú 35mm <sup>2</sup> , conectores e caixas de inspeção).	1
4	Sistema de proteção CC/CA ( dispositivo de proteção contra surto , disjuntores e fusíveis).	1
5	Projeto elétrico de minigeração distribuída.	1
6	Mão de obra (Montagem, comissionamento e Start-up);	1
7	Monitoramento remoto ( <i>notebook/celular</i> );	1
8	Contratos, homologação, testes, substituição do medidor e liberação da geração distribuída	1

Sistema de geração Fotovoltaica para 86,94 kWp

Investimento:..... R\$ 300.230,00

## ANEXO J - ORÇAMENTO PARA O SISTEMA FOTOVOLTAICO FORNECIDO PELA EMPRESA DE CORONEL VIVIDA – PR



TMG - ENERGIA, AUTOMAÇÃO E  
TECNOLOGIA.

Rua Santa Catarina, 920  
Coronel Vívda - PR  
Fone: (46) 99985-9532 whatsapp  
E-mail: [tmg-eng@hotmail.com](mailto:tmg-eng@hotmail.com)

Para: Sr. Juarez A. Antunes – Pato Branco - PR

Orçamento N°: 67 - 19

**Serviço:** Sistema Fotovoltaico 86,94 Kwp conectado à rede.

### 1.0 Proposta Comercial:

Qtd	Descrição	Valor (Total)
1	<p>Projeto e Instalação de um Kit de Geração Fotovoltaica de 86,94 Kwp composto por:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 4 Inversores Renovigi RENO 20K -L-V – TRIFÁSICO 220V</li> <li>- 258 Painel Solar CANADIAN SOLAR MODELO CS6-U-330P;</li> <li>- Estrutura de fixação para instalação em telhado;</li> <li>- Sistema de aterramento CC/CA;</li> <li>- Sistema de proteção CC/CA;</li> <li>- Projeto elétrico e estrutural;</li> <li>- Mão de obra especializada;</li> <li>-Trâmite do processo de solicitação de acesso e efetiva conexão do sistema fotovoltaico à rede COPEL, encaminhando soluções de pendências e solicitando vistorias e informações, relativas a unidade CONSUMIDORA.</li> </ul>	R\$341.237,00

#### Itens Inclusos na Proposta.

Frete Grátis, direto ao cliente;  
Garantia de Painéis Solares e Inversores (direto com o fabricante);

#### Itens Excluídos da proposta.

Adequações civis solicitadas pela COPEL;  
Ampliações elétricas solicitadas pela COPEL, troca de padrão, e ramal de energia;  
Reforço na Estrutura do local aonde serão instalados os Painéis/Módulos Solar;

#### 2.0 Condições de Pagamento:

À Vista;

#### 3.0 Validade da Proposta:

15 (Quinze) dias.

#### 4.0 Prazo de Homologação

30 dias após a liberação da COPEL

ANEXO K - ORÇAMENTO PARA O SISTEMA FOTOVOLTAICO FORNECIDO PELA EMPRESA DE PATO BRANCO – PR



# Proposta Comercial

**Energia limpa, rentável e ilimitada**

Siga o exemplo de centenas de pessoas e faça o melhor investimento do mercado

**MAIS DE 600**  
SISTEMAS INSTALADOS PELO BRASIL



**PARCELE SEU SISTEMA DE ENERGIA SOLAR EM**

**10x SEM JUROS**



# Juarez Antunes

Pato Branco - PR  
16 de outubro de 2019  
46 3224-2179



## Gerador Fotovoltaico – 87,04 kWp

### Descrição

<b>POTÊNCIA TOTAL:</b>	87,04 kWp
<b>PRODUÇÃO ENERGIA MÉDIA:</b>	10.655 kWh
<b>AUTOCONSUMO INSTANTÂNEO DA PRODUÇÃO:</b>	5.327 kWh/mês
<b>PRODUÇÃO INJETADA NA REDE:</b>	5.327 kWh/mês
<b>ÁREA TOTAL UTILIZADA:</b>	509,44 m <sup>2</sup>

### Preço do Gerador

**PREÇO DO GERADOR INSTALADO: R\$ 284.342,81**

PREÇO POR kWp: R\$ 3.266,81

### Viabilidade

#### DADOS ECONÔMICOS DO SISTEMA:

VALOR DO kWh – AUTOCONSUMO:	R\$ 0,80
VALOR DO kWh – CRÉDITO:	R\$ 0,73
DEGRADAÇÃO ANUAL GERAÇÃO ENERGIA:	0,80%
REAJUSTE ANUAL DA ENERGIA:	5,00%

#### VIABILIDADE DO INVESTIMENTO:

TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO:	2 Anos e 11 meses
ECONOMIA TOTAL EM 25 ANOS:	R\$ 4.150.816,80
ECONOMIA TOTAL PRIMEIRO ANO:	R\$ 97.685
RENDIMENTO DO INVESTIMENTO:	2,86 % a.m.

### Pagamento

<b>VALOR TOTAL:</b>	<b>R\$ 284.342,81</b>
<b>10 PARCELAS SEM JUROS DE:</b>	R\$ 28.434,28
<b>VALOR TOTAL À VISTA NO PEDIDO:</b>	5% de desconto
<b>VALOR TOTAL À VISTA ENTREGA EQUIPAMENTO:</b>	3% de desconto
<b>FINANCIAMENTO PRÉ-APROVADO:</b>	SEM ENTRADA
36 PARCELAS DE:	R\$ 10.888,58
48 PARCELAS DE:	R\$ 8.523,10
60 PARCELAS DE:	R\$ 7.373,03

### Validade da Proposta

**15 dias após sua emissão**

## ANEXO L - ORÇAMENTO PARA INVERSOR DE FREQUENCIA UTILIZADO NO SISTEMA DE GERAÇÃO PROPOSTO

**ENSEC**<sup>®</sup>  
Energia Solar do Futuro

"Inversor Trifásico Renovigi ST 20000 TL / 20kW" foi adicionado no seu carrinho. CONTINUAR COMPRANDO

	PRODUTO	PREÇO	QUANTIDADE	TOTAL
 	Inversor Trifásico Renovigi ST 20000 TL / 20kW	R\$18.500,00	-   1   +	R\$18.500,00

APLICAR CUPOMATUALIZAR CARRINHO