

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM BIOENERGIA

**ANÁLISE ECONÔMICA E AMBIENTAL DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS NA REGIÃO
DE MARINGÁ - PR**

Lucas Delapria Dias Dos Santos

Maringá – PR
2020

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

S237a

Santos, Lucas Delapria Dias dos

Análise econômica e ambiental de sistemas fotovoltaicos em edificações residenciais na região de Maringá - PR / Lucas Delapria Dias dos Santos. -- Maringá, PR, 2020.
114 f.: il. color., figs., tabs., maps.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Antônio da Silva Sá Ravagnani.

Coorientadora: Profa. Dra. Camila de Brito Miranda Faia.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, 2020.

1. Energia solar. 2. Energia renovável. 3. Energia solar fotovoltaica - Análise econômica. 4. Energia solar fotovoltaica - Análise ambiental. 5. Edificações residenciais - Maringá (PR) - Energia solar fotovoltaica. I. Ravagnani, Mauro Antônio da Silva Sá, orient. II. Faia, Camila de Brito Miranda, coorient. III. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Tecnologia. Departamento de Engenharia Química. Programa de Pós-Graduação em Bioenergia. IV. Título.

CDD 23.ed. 621.312

Elaine Cristina Soares Lira - CRB-9/1202

LUCAS DELAPRIA DIAS DOS SANTOS

**ANÁLISE ECONÔMICA E AMBIENTAL DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS NA REGIÃO
DE MARINGÁ - PR**

Dissertação submetida à Universidade Estadual de Maringá como requisito parcial exigido pelo Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, para obtenção do título de Mestre em Bioenergia.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Antônio da Silva Sá Ravagnani

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Camila de Brito Miranda Faia

**Maringá – PR
2020**


LUCAS DELAPRIA DIAS DOS SANTOS

**SIMULAÇÕES DE CONTROLES CLÁSSICOS PARA A
ESTABILIZAÇÃO DE TEMPERATURA EM UMA ESTUFA TÉRMICA**

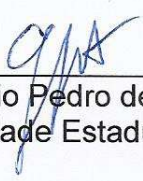
Relatório final, apresentado a
Universidade Estadual de Maringá, como
parte das exigências para a obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Maringá, 01 de dezembro de 2017.

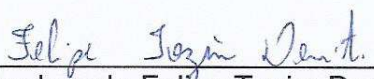
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Camila de Brito Miranda Faia (orientadora)
Universidade Estadual de Maringá



Prof. Me. Gláucio Pedro de Alcântara (membro)
Universidade Estadual de Maringá



Pós-Graduando Felipe Tozim Demiti (membro)
Universidade Estadual de Maringá

AGRADECIMENTOS

A minha família por todo o amor, dedicação e ensinamento. Eles estiveram presentes em todas as etapas vencidas em minha vida e sempre me ajudaram nos momentos de dificuldade.

Aos professores e funcionários do programa de Bioenergia – UEM, por todo incentivo, paciência e apoio durante o período de estudo.

Agradeço a empresa que trabalhei, Platão Energia, pelo incentivo aos estudos e por conceder dados teóricos para a realização dessa dissertação.

Agradeço ao meu orientador, professor doutor Mauro Antônio da Silva Sá Ravagnani, por ter aceitado me orientar e por todo apoio e ajuda durante o programa, e também a professora doutora Camila de Brito Miranda, pela orientação neste trabalho, pela ajuda, paciência e disposição durante o ano.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

Nos últimos anos, com o aumento populacional e com o desenvolvimento tecnológico e industrial, a diversificação da matriz elétrica tem se tornado prioridade. Devido a preocupações ambientais, o uso de sistemas solares fotovoltaicos tornou-se uma opção de geração de energia limpa. Esses sistemas possibilitam uma geração descentralizada e de fácil integração aos meios urbanos. Neste trabalho foi analisada a inserção de cinco sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica pública e integrados em edifícios residenciais na região de Maringá, Paraná. Os dados de geração de energia elétrica de cada um dos sistemas estudados foram coletados ao longo de um ano. Esses dados foram adquiridos por meio dos inversores, equipamentos responsáveis por transformar a corrente contínua proveniente dos módulos solares em corrente alternada. Por meio da geração de energia elétrica das residências, realizou-se estudos para estimar a radiação solar na cidade de Maringá, além de uma análise da economia proporcionada pelo sistema fotovoltaico a cada uma das residências. Por fim, foram estudados os benefícios ambientais decorrentes da utilização de uma energia limpa. Foi definido, através de métodos matemáticos, a quantidade de CO₂ poupado por kWh gerado e a quantidade de árvores que deveriam ser plantadas para realizar a fixação desse gás, caso estivesse sendo liberado para a atmosfera. Observou-se que Maringá possui um nível de radiação solar maior que a média paranaense, o que propicia a instalação do sistema fotovoltaico na região. Os cinco sistemas estudados apresentaram bom desempenho na geração de energia elétrica, e mostram que o retorno do investimento pode ocorrer em até 5 anos.

Palavras-chave: energia solar, energia renovável, geração de energia.

ABSTRACT

In recent years, with population growth and technological and industrial development, diversification of the electrical matrix has become a priority. Due to environmental concerns, the use of solar photovoltaic systems has become a clean power generation option. These systems enable decentralized generation and easy integration into urban areas. This work analyzed the insertion of five photovoltaic systems connected to the public grid and integrated in residential buildings in the region of Maringá, Paraná. Over the course of a year, the electricity generated by each of the chosen systems was collected and analyzed. The power generation data, acquired through the inverters, equipment responsible for transforming the direct current from the solar modules in alternating current. Through the generation of electricity from the homes, studies were conducted to estimate solar radiation in the city of Maringá, as well as an analysis of the financial savings provided by the photovoltaic system to each of the homes. Finally, the environmental benefits resulting from the use of clean energy were studied. The mathematical methods defined the amount of CO₂ saved per kWh generated and the amount of trees that should be planted to fix this gas, if released to the atmosphere. The five study systems performed well in power generation, and show that the return on investment can occur within 5 years.

Keywords: solar energy, renewable energy, power generation.

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIações E SIGLAS

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
AM	Massa de ar
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanço Energético Nacional
BJT	<i>Bipolar Junction Transistor</i>
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CNPJ	Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CONFAZ	Conselho Nacional de Políticas Fazendárias
COPEL	Companhia Paranaense de Energia Elétrica
CPF	Cadastro da Pessoa Física
CTS	Condições de teste de Standard
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GEE	Gases do Efeito Estufa
GTO	<i>Gate Turn-Off Thyristor</i>
ICMS	Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IGBT	<i>Insulated Gate Bipolar Transistor</i>
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IMA	Incremento Médio Anual
I_{MP}	Corrente de Potência Máxima
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
I_{sc}	Corrente de Curto Circuito
MME	Ministério de Minas e Energia
MOSFET	<i>Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor</i>
MPP	Máxima Potência
NBR	Norma Brasileira
ONU	Organização das Nações Unidas
ONS	Contribuição para o Operador Nacional do Sistema Elétrico
PCH	Pequena Central Hidroelétrica

P_{MP}	Potência Máxima
PIS	Programa de Integração Social
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
REN	Rede Energética Nacional
SCR	<i>Silicon Controlled Rectifier</i>
SNI	Sistema Interligado Nacional
STC	Condições Padrão de Referência para Ensaio
TE	Tarifa Energética
T&D	Transmissão e Distribuição
TFSEE	Taxa de fiscalização dos Serviços de energia elétrica
TUSD	Tarifa sobre o Uso do Sistema de Distribuição
TRIAC	<i>Triode for Alternating Current</i>
UEM	Universidade Estadual de Maringá
V_{CC}	Tensão de Corrente Contínua
V_{MP}	Tensão Máxima de Potência
V_{OC}	Tensão de Circuito Aberto
W_p	Watt-pico

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Perspectiva da população mundial.....	13
Figura 2: Irradiação média global no Brasil e na Europa.....	15
Figura 3: Matriz elétrica brasileira.....	19
Figura 4: Matriz elétrica mundial.....	19
Figura 5: Potência instalada (MW) de geração distribuída fotovoltaica no Brasil	20
Figura 6: Evolução da potência instalada (MW) em micro e mini geração distribuída por tipo de fonte.....	21
Figura 7: Comparação do uso de fontes renováveis e não renováveis entre o Brasil e o mundo.....	22
Figura 8: Variação da declinação solar ao longo do ano.....	30
Figura 9: Fotoperíodo x latitude.....	31
Figura 10: Irradiação solar terrestre x latitude.....	33
Figura 11: Seção transversal de uma célula fotovoltaica.....	36
Figura 12: Circuito elétrico equivalente da célula fotovoltaica.....	37
Figura 13: Símbolo do módulo fotovoltaico.....	38
Figura 14: Curva característica da célula fotovoltaica de silício.....	38
Figura 15: Balanço energético de uma célula solar cristalina (%).	39
Figura 16: Forma típica da curva característica I x V de uma célula de silício cristalina	40
Figura 17: Tensão de circuito aberto e corrente de curto-circuito em função da irradiância.....	41
Figura 18: Ligação de três módulos fotovoltaicos em série.....	42
Figura 19: Ligação de três módulos fotovoltaicos em paralelo.....	43
Figura 20: Ligação de três módulos fotovoltaicos em paralelo, com fileiras em série.....	43
Figura 21: Efeito do aumento da temperatura em módulos de silício cristalino.....	44
Figura 22: Circuito de ponte completa.....	45
Figura 23: Sinal de onda quadrada.....	46
Figura 24: Sinal de onda senoidal aproximada por pulsos.....	46
Figura 25: Inversor solar.....	47
Figura 26: Estrutura de fixação para módulos fotovoltaicos em telhado cerâmico..	48

Figura 27: Estrutura de um sistema fotovoltaico <i>On-Grid</i>	51
Figura 28: Medidor unidimensional em (A) e bidimensional em (B).	52
Figura 29: Fluxograma para a escolha das edificações com instalações.....	58
Figura 30: Fluxograma da análise de resultados.....	59
Figura 31: Comparação da irradiação mensal líquida de Angström-Prescott para Maringá com dados oficiais da Copel e do Atlas Brasil - Paraná.	82
Figura 32: Comparação da irradiação mensal líquida de Maringá com Curitiba e Sertanópolis.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Fator de Emissão de 2018 para o Paraná	24
Tabela 2: Reajustes da tarifa energética residencial nos últimos 11 anos no Paraná.	57
Tabela 3: Características do sistema A.	61
Tabela 4: Características do sistema B.	61
Tabela 5: Características do sistema C.	62
Tabela 6: Características do sistema D.	62
Tabela 7: Características do sistema E.	63
Tabela 8: R\$/kWh nos meses de análise.....	65
Tabela 9: Método de Angström-Prescott aplicado em Maringá.	67
Tabela 10: Geração de energia elétrica (kWh) mensal dos sistemas A, B, C, D e E.	69
Tabela 11: Economia financeira referente ao sistema A.....	70
Tabela 12: Economia financeira referente ao sistema B.....	70
Tabela 13: Economia financeira referente ao sistema C.	71
Tabela 14: Economia financeira referente ao sistema D.	71
Tabela 15: Economia financeira referente ao sistema E.....	72
Tabela 16: CO ₂ poupado pelos sistemas estudados.	73
Tabela 17: Número de árvores necessárias para realizar a fixação do CO ₂	73
Tabela 18: Comparação da estimativa de geração com a geração real do sistema A.	74
Tabela 19: Comparação da estimativa de geração com a geração real do sistema B.	74
Tabela 20: Comparação da estimativa de geração com a geração real do sistema C.	75
Tabela 21: Comparação da estimativa de geração com a geração real do sistema D.	75
Tabela 22: Comparação da estimativa de geração com a geração real do sistema E.	76
Tabela 23: Comparação da irradiação mensal líquida de Angström-Prescott para Maringá com dados oficiais da Copel e do Atlas Brasil.....	77

Tabela 24: Irradiação média de Curitiba e Sertanópolis, dados oficiais da Copel. ...	78
Tabela 25: Compilação dos resultados encontrados.	79
Tabela 26: Geração de energia elétrica (kWh) do sistema A.....	95
Tabela 27: Geração de energia elétrica (kWh) do sistema B.....	96
Tabela 28: Geração de energia elétrica (kWh) do sistema C.....	97
Tabela 29: Geração de energia elétrica (kWh) do sistema D.....	98
Tabela 30: Geração de energia elétrica (kWh) do sistema E.....	99
Tabela 31: Radiação diária em Maringá pelo método de angstrom-prescott para Janeiro.....	100
Tabela 32: Radiação diária em Maringá pelo método de angstrom-prescott para Fevereiro.	101
Tabela 33: Radiação diária em Maringá pelo método de angstrom-prescott para Março.	102
Tabela 34: Radiação diária em Maringá pelo método de angstrom-prescott para Abril.	103
Tabela 35: Radiação diária em Maringá pelo método de angstrom-prescott para Maio.	104
Tabela 36: Radiação diária em Maringá pelo método de angstrom-prescott para Junho.....	105
Tabela 37: Radiação diária em Maringá pelo método de angstrom-prescott para Julho.	106
Tabela 38: Radiação diária em Maringá pelo método de angstrom-prescott para Agosto.	107
Tabela 39: Radiação diária em Maringá pelo método de angstrom-prescott para Setembro.....	108
Tabela 40: Radiação diária em Maringá pelo método de angstrom-prescott para Outubro.....	109
Tabela 41: Tabela 44: Radiação diária em Maringá pelo método de angstrom-prescott para Novembro.....	110
Tabela 42: Radiação diária em Maringá pelo método de angstrom-prescott para Dezembro.....	111

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Justificativa.....	16
1.2 Objetivo	16
1.3 Estrutura do trabalho.....	17
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1 Matriz Elétrica Brasileira.....	18
2.2 Benefícios ambientais da energia solar	22
2.2.1 Emissão de CO ₂ associada ao consumo de energia elétrica no Paraná	23
2.2.2 Fixação do Dióxido de Carbono.....	25
2.3 Energia Solar	27
2.3.1 Radiação Solar	28
2.3.1.1 Determinação da Irradiância Solar	29
2.4 Equipamentos e Instalação do Sistema Fotovoltaico	33
2.4.1 Módulos Fotovoltaicos	33
2.4.1.1 Características Elétricas das Células Fotovoltaicas	35
2.4.1.2 Característica Elétrica dos Módulos Solares Cristalinos	39
2.4.1.3 Tipos de Conexão dos Módulos	41
2.4.2 Inversores de Energia	45
2.4.3 Estrutura de Suporte.....	48
2.4.4 Equipamentos de Proteção.....	49
2.5 Funcionamento do Sistema Fotovoltaico <i>On-Grid</i>	50
2.6 Disponibilidade da Rede Elétrica.....	52
2.7 Geração Distribuída no Brasil	53
2.7.1 Tributação no Paraná.....	54
2.7.2 Tarifação no Paraná e em Maringá.....	55
3. METODOLOGIA	58
3.1 Considerações Gerais.....	59
3.2 Softwares Utilizados.....	60
3.3 Caracterização das Edificações	61
3.4 Dados de Geração de Energia Elétrica	64

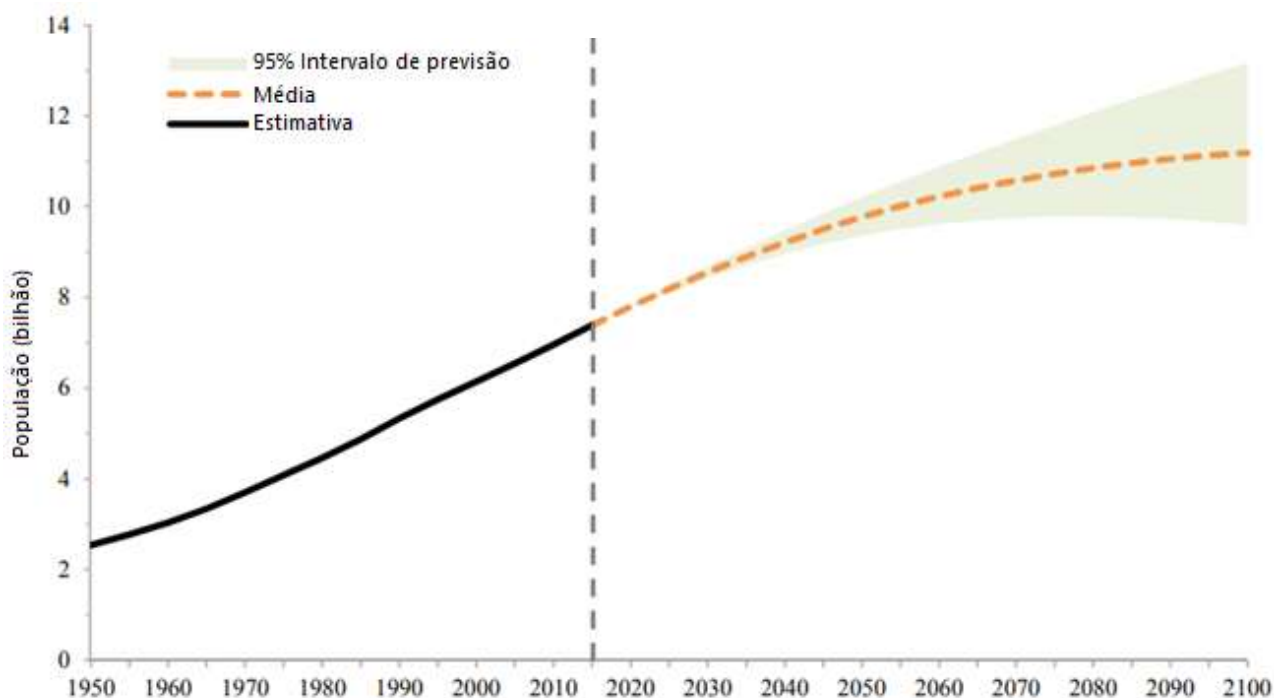
3.5 Determinação do Preço do kWh/mês.....	64
3.6 Determinação da Economia Financeira	65
3.7 Determinação dos Benefícios Ambientais.....	65
3.7.1 Quantidade de CO ₂ Poupado	66
3.7.2 Número de árvores para a fixação do CO ₂	66
3.8 Determinação da Radiação Solar	66
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	69
4.1 Dados de Geração de Energia Elétrica	69
4.2 Viabilidade Econômica	70
4.3 Viabilidade Ambiental.....	72
4.4 Comparação da Geração Estimada com a Geração Relatada	74
4.5 Comparação da Radiação Solar de Angstrom-Prescott com Atlas Brasil	76
4.6 Discussão.....	78
5. CONCLUSÕES	85
REFERÊNCIAS.....	88
APENDICE A – Tabelas de geração de energia elétrica (kWh)	95
APENDICE B – Radiação Diária em Maringá Pelo Método de Angstrom-Prescott	100
ANEXO A – Valores de PIS/PASEP e COFINS cobrados pela COPEL	113
ANEXO B – Resoluções referentes aos aumentos tarifários da energia elétrica no Paraná.....	114

1. INTRODUÇÃO

A matriz elétrica brasileira é composta por diversas fontes primárias. Dentre elas, pode-se citar o petróleo, o gás natural, o carvão mineral, o urânio, as energias hidráulica, solar e eólica, além da energia proveniente da biomassa. Pode-se dizer que quase todas as fontes de energia são formas indiretas de energia solar. Sendo assim, a radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de energia elétrica.

Apesar dessa diversidade de fontes de geração de eletricidade, quando se trata da matriz energética, os combustíveis fósseis e esgotáveis prevalecem sobre os outros tipos de fontes de geração. Além disso, o mundo tem vivenciado um aumento da demanda energética, provocado principalmente pelo crescimento populacional e pelo desenvolvimento tecnológico e industrial. Segundo a Organização das Nações Unidas, a população mundial era de 7,6 bilhões, devendo atingir cerca de 9,5 bilhões até 2050, conforme ilustrado na Figura 1 (ONU, 2017).

Figura 1: Perspectiva da população mundial



Fonte: Adaptado de ONU, 2017.

Diante dessas adversidades do setor energético, buscam-se alternativas para minimizar os impactos ao meio ambiente e garantir o fornecimento adequado de energia a toda a população. Nesse sentido, estudos são conduzidos na busca por fontes alternativas de energia, propondo o uso de tecnologias diferenciadas, com baixo impacto à natureza.

A queima de combustíveis fósseis, provenientes de fontes esgotáveis causa um grande impacto negativo no meio ambiente. Durante a combustão, ocorre a emissão de gases do efeito estufa (GEE), como o dióxido de carbono (CO₂) e o metano (CH₄). Dessa forma, tem-se buscado cada vez mais a utilização de fontes renováveis e primárias de energia, como a energia solar (FLIZIKOWSKI *et al*,2013).

A energia solar fotovoltaica tem apresentado um efetivo crescimento mundial nas últimas décadas, devido à possibilidade da geração de energia elétrica de forma distribuída, não necessitando, por tanto, de extensas linhas de transmissão e distribuição. Além disso, é possível a instalação de sistemas de diferentes potências, que são facilmente integradas em edificações no meio urbano, sem necessidades de áreas extras para a sua instalação (RUTHER, 2004).

No Brasil, a energia solar deve alcançar cerca de 7 GW de potência instalada até 2026. As novas fontes de energia, como por exemplo, a solar e a eólica, estão ganhando cada vez mais espaço, uma vez que houve melhoria nas tecnologias envolvidas, reduzindo os custos dos materiais e da mão de obra. A tecnologia utilizada para a conversão de energia solar através de células fotovoltaicas, por exemplo, registrou uma grande redução de preços, tendo se tornado 80 % mais barata do que era há 10 anos (MME, 2017).

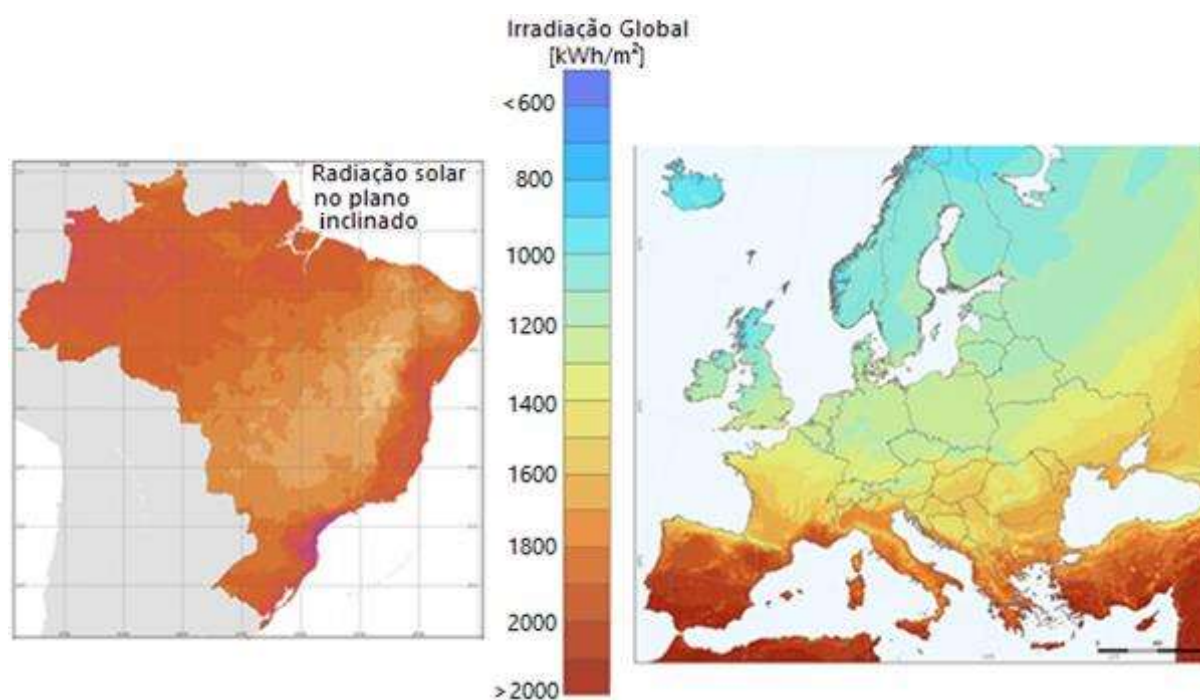
Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar (ABSOLAR, 2018), o país alcançou em dezembro de 2017 o seu primeiro 1 GW de potência instalada. A potência é suficiente para abastecer 500 mil residências e atender o consumo de 2 milhões de brasileiros. O resultado também coloca o Brasil entre os 30 países do mundo, de 195, que possuem mais de 1 GW de fonte solar.

O Brasil também se destaca quando se trata de geração de energia elétrica como um todo, sendo 74 % da energia consumida no país proveniente de fontes renováveis, ao passo que a média mundial é de 23,8 % (MME, 2017). A Geração de energia de forma renovável no Brasil ainda pode crescer. Segundo o Atlas Solarimétrico do Brasil (2000), as áreas localizadas no nordeste brasileiro têm valores

de radiação média diária e anual semelhantes a regiões desérticas. Além disso, as cartas de radiação solar total diária mostram que a radiação solar no Brasil varia entre 8 a 22 MJ/m²dia.

Segundo Ruther (2004), seriam necessários apenas 0,045 % da área total do território nacional, ou seja, 3.844 km², em painéis fotovoltaicos para gerar a energia consumida no Brasil em 2010, que foi de 455,7 TWh. A radiação solar incidente no Brasil apresenta uma boa uniformidade, com níveis nacionais de irradiância solar global muito maiores que os de países que fazem uso da tecnologia solar fotovoltaica para geração de energia elétrica em grande escala, como a Alemanha. A Figura 2 mostra a radiação solar no Brasil em comparação com países europeus. Observa-se que o país inteiro possui condições favoráveis para instalações de sistemas fotovoltaicos, ao contrário de outros países da Europa.

Figura 2: Irradiação média global no Brasil e na Europa



Fonte: Adaptado de Atlas Solarimétrico do Brasil (2000).

No Brasil, a principal fonte de geração de energia elétrica são as usinas hidrelétricas. Entretanto, a disponibilidade de bacias hidrográficas próximas aos grandes centros consumidores é reduzida. Dessa forma, a geração de eletricidade

próxima ao ponto de consumo tende a ser um importante aliado para a redução de perdas que ocorrem nas linhas de transmissão.

1.1 Justificativa

Apesar da utilização da energia solar fotovoltaica como fonte de geração de energia elétrica ainda não ser difundida em larga escala no Brasil, é relevante destacar o potencial de desenvolvimento do país nesta modalidade de geração distribuída, graças aos altos índices de incidência de radiação solar (ATLAS BRASIL, 2017).

A energia fotovoltaica se caracteriza como uma alternativa aos sistemas energéticos convencionais por ser um modo de geração de energia limpa, renovável e ainda com a vantagem de possibilitar a produção de energia no próprio local de consumo. Portanto, estudos que envolvam o uso de sistemas fotovoltaicos são cada vez mais necessários (GARCIA *et al*, 2018).

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é demonstrar a viabilidade econômica do uso do sistema fotovoltaico, tendo como base 5 residências conectados à rede elétrica pública (*On-Grid*) localizadas no meio urbano de Maringá, Paraná. Para isto, foi feita uma análise da economia financeira gerada por cada um dos 5 sistemas ao longo de um ano, levando em consideração as alterações tributárias no preço da energia elétrica fornecida pela Copel (Companhia Paranaense de Energia Elétrica).

Os objetivos específicos são:

- Analisar a viabilidade ambiental do sistema fotovoltaico, por meio da quantificação da emissão evitada de CO₂ para a atmosfera.
- Utilizar o *software* SOLergo® para estimar a quantidade de energia (kWh) que o sistema fotovoltaico deve gerar a fim de atender a demanda necessária. Em seguida, comparar os valores com o que de fato o sistema solar gerou. Os dados da geração real foram obtidos através da plataforma Solarweb®, *software* diretamente conectado ao sistema fotovoltaico.
- Utilizar o método de Angström-Prescott, proposto em 1924, para determinar a radiação solar líquida na cidade de Maringá, Paraná e, posteriormente,

comparar com os dados de radiação média paranaense divulgados pelo Atlas Brasil (2017) e com os dados de radiação média de Maringá, divulgados pela Copel (2018).

1.3 Estrutura do trabalho

Neste trabalho apresenta-se o funcionamento e a conversão de energia solar em eletricidade e como utilizar um sistema solar fotovoltaico para atender a demanda energética requerida por uma residência e a viabilidade de implantação desse sistema na região de Maringá.

Dessa forma, essa dissertação está dividida em 5 capítulos. No primeiro capítulo é feita uma apresentação e contextualização do tema proposto. Também são apresentados a justificativa, a relevância e os objetivos que direcionaram o desenvolvimento deste trabalho.

O segundo capítulo expõe os conceitos teóricos e básicos sobre a energia solar. É feita uma apresentação de como se caracteriza a matriz elétrica brasileira, e contém uma explanação dos equipamentos utilizados em um sistema solar fotovoltaico, como funciona uma célula solar e qual é a legislação vigente para geração distribuída no Paraná. Além disso, este capítulo contém também os métodos científicos que serão utilizados no estudo de viabilidade do sistema fotovoltaico.

O Capítulo 3 apresenta a metodologia e os materiais utilizados na dissertação. Constrói-se a linha geral de desenvolvimento do trabalho e os métodos utilizados para atingir cada etapa exposta nos objetivos. Também são citados as fontes do levantamento de dados e o tratamento aplicado às várias etapas do trabalho.

O Capítulo 4 contempla os resultados provenientes do desenvolvimento do trabalho e discussões.

Por fim, no Capítulo 5 apresentam-se as conclusões da dissertação e as sugestões para trabalhos futuros. Nesta etapa são expostos os objetivos atingidos e as conclusões pertinentes ao tema, identificando as limitações do trabalho e apresentando as sugestões para estudos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

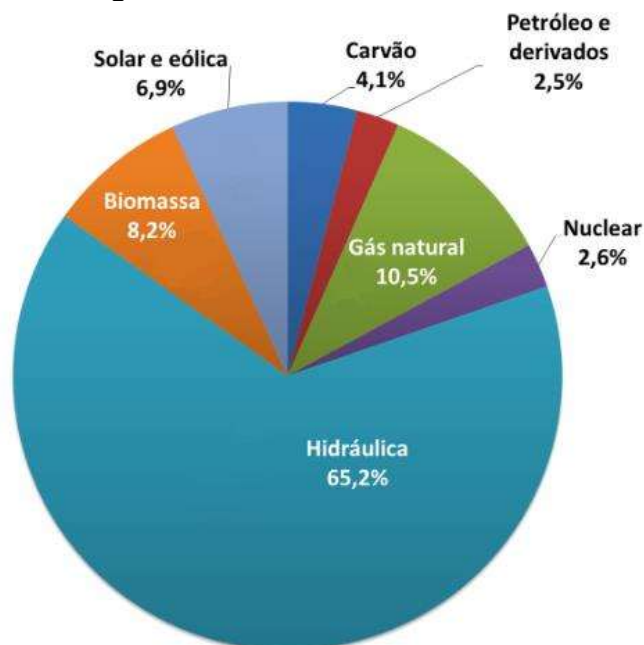
Este capítulo contém informações sobre os cálculos desenvolvidos e os equipamentos utilizados para alcançar os objetivos propostos. Além disso, apresenta autores e trabalhos relevantes e necessários para a compreensão da metodologia.

2.1 Matriz Elétrica Brasileira

O Brasil faz parte do grupo de países em que a produção de eletricidade é proveniente, na sua maior parte, de usinas hidroelétricas. Essas usinas correspondem a 75 % da potência instalada no país e geraram, em 2017, 65,2 % da energia elétrica requerida no Sistema Interligado Nacional – SNI, sendo que ainda há uma parcela significativa de potencial a ser aproveitado (EPE, 2018).

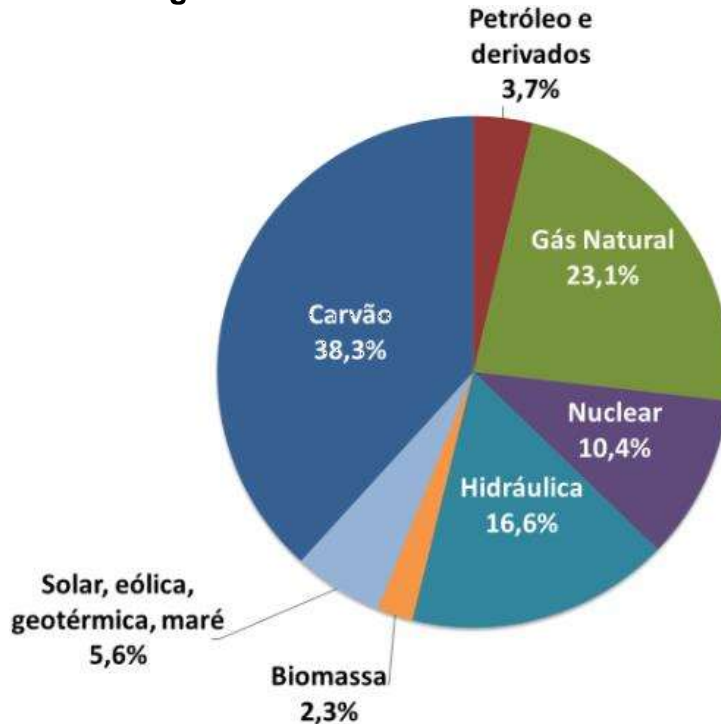
Além disso, o Brasil também possui um grande potencial de exploração de Urânio para utilização em novas usinas nucleares. No entanto, o processo é mais complexo devido às questões ambientais, altos custos de investimento e a importação de tecnologia, atrasando, dessa forma, a construção de novas usinas nucleares (BEN, 2018).

A Figura 3 ilustra a matriz elétrica brasileira em 2017, na qual fontes renováveis, como a solar e a eólica, foram responsáveis por 6,9 % da contribuição de energia anual. Em contrapartida, a geração de energia elétrica no mundo é baseada, principalmente, em combustíveis fósseis como carvão, óleo e gás natural, queimados em termelétricas.

Figura 3: Matriz elétrica brasileira

Fonte: BEN, 2018.

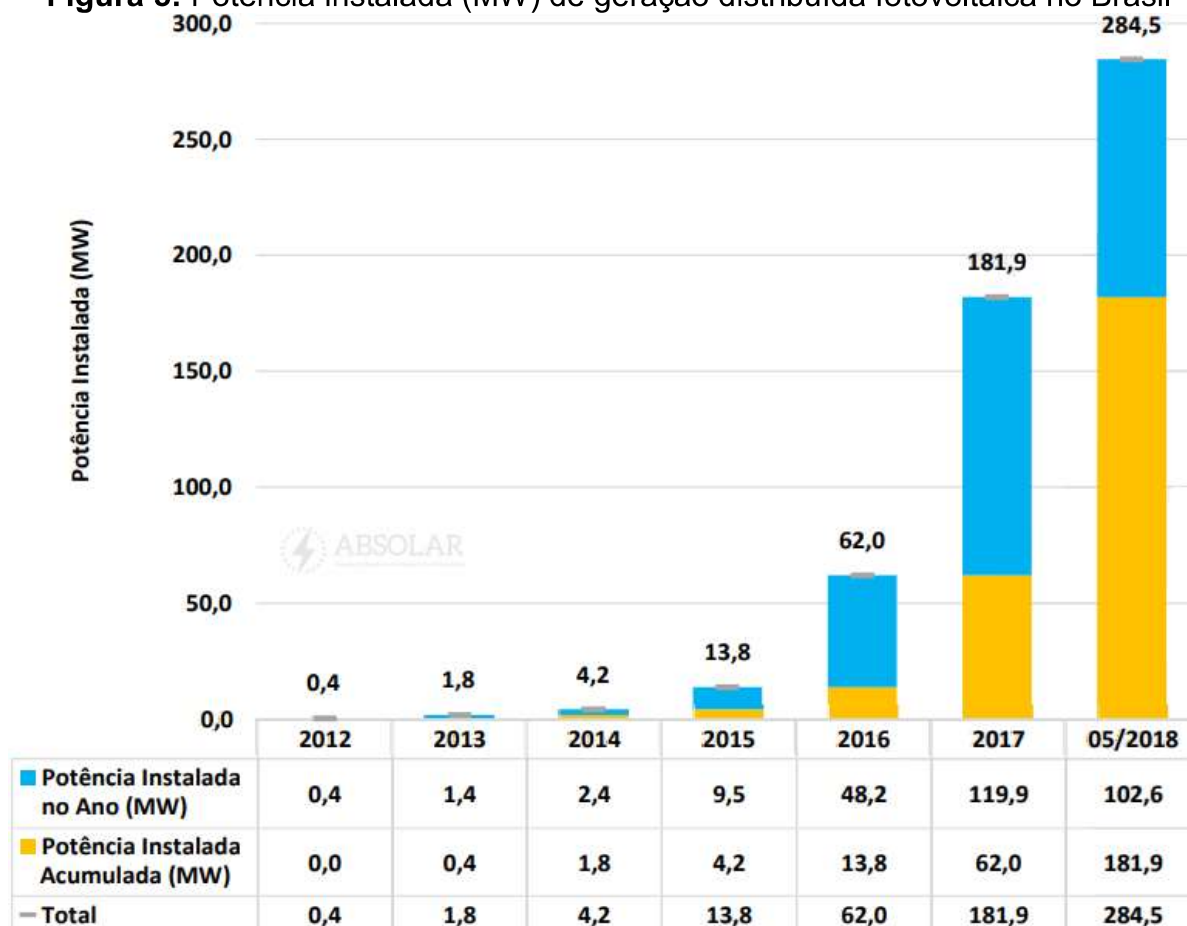
Na Figura 4, observa-se que fontes de geração de eletricidade através de usinas solares e eólicas representam 5,6 %.

Figura 4: Matriz elétrica mundial

Fonte: BEN, 2018.

A Figura 5 destaca o crescimento da energia solar no Brasil desde 2012. O levantamento contempla instalações homologadas (ou seja, em funcionamento) até junho de 2018. Nessa data, a potência de sistemas solares instaladas nas residências e comércios brasileiros já ultrapassava 284 MW.

Figura 5: Potência instalada (MW) de geração distribuída fotovoltaica no Brasil

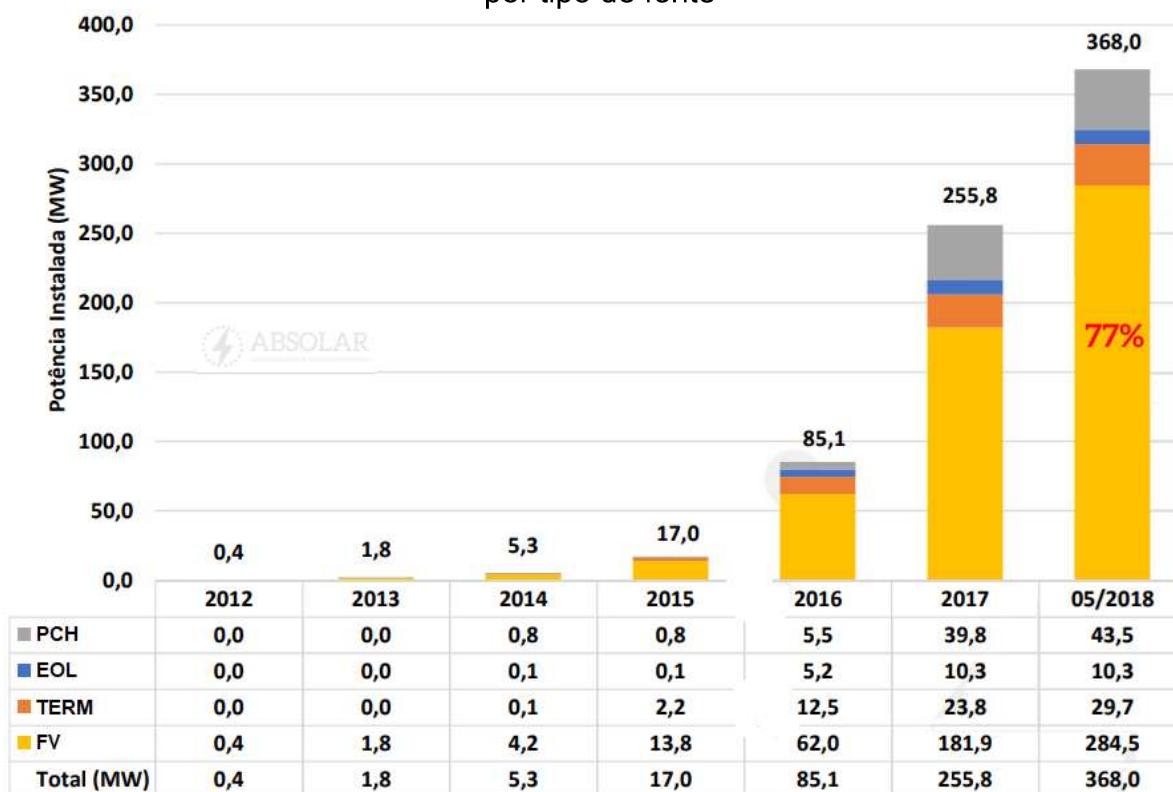


Fonte: ANEEL/ABSOLAR, 2018.

Um auxílio ao desenvolvimento das energias alternativas no país foi a criação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) em 2002. Por meio da Lei 10.438 de abril de 2002, o governo buscou apoiar o desenvolvimento das fontes alternativas, garantindo a compra desta energia por 20 anos. O foco deste programa foi a implantação de 3.300 MW de potência instalada na rede nacional, sendo 1.100 MW provenientes de energia eólica e solar, outra quantidade igual de usinas de biomassa e outra de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) (ABSOLAR, 2018). A Figura 6 mostra o crescimento da potência instalada por

fontes renováveis, desde 2012. Atribui-se parte do crescimento às políticas de incentivo ao uso de fontes limpas na geração de energia.

Figura 6: Evolução da potência instalada (MW) em micro e mini geração distribuída por tipo de fonte

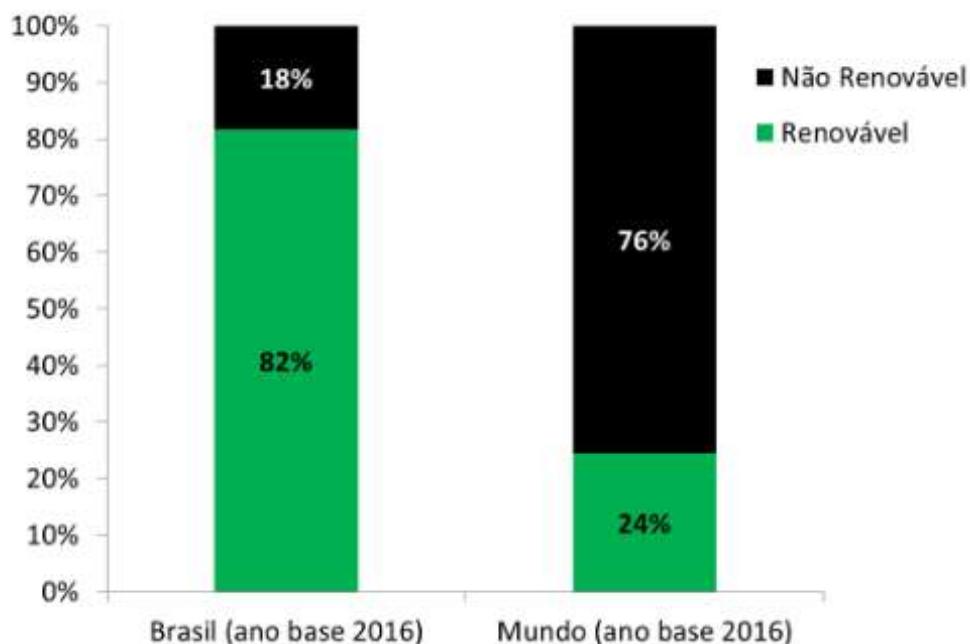


Fonte: ANEEL/ABSOLAR, 2018.

De acordo com o a Figura 6, a geração de energia através de sistemas fotovoltaicos (FV) é a que mais cresceu desde 2012, chegando a 284,5 MW de potência instalada no último levantamento realizado em 2018. As pequenas centrais hidrelétricas (PCH) foram a segunda fonte de geração de energia elétrica que mais se desenvolveu, seguida pelas termoeletricas (TERM) e pela energia eólica (EOL). Por fim, tem-se as termoeletricas e a energia eólica.

Comparando o consumo de energia elétrica proveniente de fontes renováveis e não renováveis no Brasil e no mundo, observa-se que a matriz elétrica brasileira é mais renovável do que a mundial, como mostrado na Figura 7.

Figura 7: Comparação do uso de fontes renováveis e não renováveis entre o Brasil e o mundo



Fonte: BEN, 2018.

Além disso, a Figura 7 ratifica, portanto, o fato de que a matriz elétrica brasileira é baseada em fontes renováveis de energia, ao contrário da matriz elétrica mundial. Além de possuírem menores custos de operação, as usinas que geram energia a partir de fontes renováveis em geral emitem bem menos gases de efeito estufa.

2.2 Benefícios ambientais da energia solar

A implantação do sistema solar fotovoltaico em residências e comércios traz uma série de vantagens para o meio ambiente, como o uso de uma energia limpa e renovável, que não emite CO₂ no meio ambiente, por exemplo. Este tópico aborda alguns desses benefícios, trazendo métodos matemáticos para quantificar esses métodos.

Segundo Pereira *et al.* (2006), o aproveitamento da energia solar é vantajoso em todo o território, mesmo nas regiões com menos radiação solar. Dessa forma, Abiko *et al.* (2010) sustentavam que os projetos habitacionais deviam estar focados na busca de soluções para evitar ou minimizar os gastos com desmatamento ambiental, fornecendo alternativas ao uso do chuveiro elétrico com aquecimento de água e diminuindo gastos energéticos.

Algumas das vantagens do sistema solar, segundo Tsuruda *et al.* (2017), são: redução no consumo da energia elétrica fornecida pela distribuidora ou companhia responsável, e redução na demanda no horário de ponta do sistema, conscientização dos consumidores sobre a importância da utilização de fontes renováveis de energia e economia.

Através dos métodos matemáticos propostos por Sanquetta *et al.* (2017) e Carvalho (2007), é possível calcular quantos quilos de CO₂ deixaram de ser emitidos pelo sistema fotovoltaico e quantas árvores teriam que ser plantadas para fazer a fixação desses GEE.

2.2.1 Emissão de CO₂ associado ao consumo de energia elétrica no Paraná

De acordo com Sanquetta *et al.* (2017), O Paraná é o estado brasileiro que mais gera energia elétrica, sendo responsável por aproximadamente 17 % da produção nacional. Além disso, o estado também é grande consumidor de energia elétrica, participando com 6,22 % na escala nacional. A geração de energia elétrica é responsável pela emissão de gases do efeito estufa (GEE), dentre os quais, o dióxido de carbono (CO₂) é o mais expressivo. Em seu trabalho, Sanquetta *et al.* (2017) concluíram que as emissões de CO₂ associadas ao consumo de energia elétrica no estado triplicarão em 5 anos. Sendo assim, há necessidade de reforçar a participação de energias renováveis para frear essa tendência nos próximos anos.

A pesquisa realizada por Sanquetta *et al.* (2017) foi embasada em dados do Anuário Brasileiro de Energia 2015 e de fatores de emissão do Sistema Interligado Nacional (SIN), e estabelece uma relação matemática para determinar quantos quilos de CO₂ estão sendo emitidos pela indústria energética do Paraná.

Para o cálculo das emissões de CO₂ do setor energético, utilizou-se a Equação (1). Nesta equação, ECO_2 é a emissão anual em toneladas de CO₂; C representa o consumo de energia elétrica em MWhano⁻¹ e FE é o fator de emissão médio, dado em tCO₂.(MWh/ano)⁻¹.

$$ECO_2 = C * FE \quad (1)$$

O *FE* para energia elétrica têm como objetivo estimar a quantidade de CO₂ associada à geração de energia elétrica. Ele calcula a média das emissões da geração, levando em consideração todas as usinas que estão gerando energia (MCTIC, 2018). O fator de emissão mês a mês de 2018 está exibido na Tabela 1.

Tabela 1: Fator de Emissão de 2018 para o Paraná

Mês (2018)	FE (tCO ₂ /MWh)
Janeiro	0,0640
Fevereiro	0,0608
Março	0,0635
Abril	0,0523
Maior	0,0607
Junho	0,0915
Julho	0,1076
Agosto	0,1181
Setembro	0,1182
Outubro	0,0802
Novembro	0,0366
Dezembro	0,0394
Média anual	0,0740

Fonte: MCTIC (2018).

Os impactos ao meio ambiente e às comunidades humanas são provocados tanto pela produção quanto pelo consumo de energia. Os impactos causados pelas hidrelétricas incluem emissões de GEE pela decomposição de árvores mortas por inundação, a perda direta de vegetação pela sua supressão para limpeza do reservatório, efeitos sobre os povos indígenas e demais comunidades ribeirinhas, entre outros (FEARNSIDE, 2006; SOUZA; RAVENACAÑETE, 2015). Dentre os impactos ambientais mais significativos, se destacam as alterações climáticas. E quando se considera o ciclo de vida da geração hidrelétrica, esses impactos podem ser muito maiores (PIEKARSKI *et al.*, 2013).

O Estado do Paraná vem ampliando a sua geração de energia, utilizando fontes alternativas como oleaginosas e dejetos em usinas de biogás, e também investigando o potencial de microalgas para produção energética, entre outras. Em termos de energia elétrica, ainda predomina largamente a energia hidráulica, notadamente pela

grande produção da Usina de Itaipu. A principal fonte geradora de energia elétrica do Paraná (e do Brasil) continuará a ser a hidráulica, mesmo que os maiores potenciais remanescentes estejam localizados em regiões com fortes restrições ambientais (ROCHA, 2014).

2.2.2 Fixação do CO₂

O CO₂ é o gás que mais contribui para a intensificação do efeito estufa. A maior contribuição na formação do CO₂ é dada pela queima de combustíveis. Carvalho (2007) explica que as concentrações de CO₂ nos últimos mil anos foram estudadas e estimadas através de análises das bolhas de ar aprisionadas em blocos de gelo, no Antártida. Com este estudo, constatou-se um rápido aumento na concentração de CO₂ desde o início da industrialização, sobretudo a partir da utilização dos combustíveis fósseis.

Em 1997, a Convenção das Nações Unidas sobre mudanças climáticas definiu sequestro de carbono como a preservação da vegetação nativa ou reflorestamento onde, por meio da fotossíntese, ocorre a absorção do gás carbônico da atmosfera, de modo a manter o estoque de carbono nos ecossistemas terrestres e estabilizar a concentração de gases. Embora este conceito tenha sido lançado desde o princípio da convenção do clima, teve sua consagração somente a partir da Conferência de Kyoto, em 1997, quando foram aprovados os mecanismos de flexibilização que incorporariam o sequestro florestal do carbono (UNFCCC, 2001).

O sistema fotovoltaico, ao proporcionar o uso de energia elétrica gerada a partir da radiação solar, evita que a energia consumida seja proveniente de fontes de geração não renováveis ou poluentes. Dessa forma, quanto maior o número de instalações residenciais abastecidas por geradores solares, menos energia deverá ser gerada a partir de hidrelétricas e termoeletricas, reduzindo a emissão de GEE.

Por meio da Equação (2), utilizada por Flizikowski *et al.* (2013), é possível calcular o número de árvores a serem plantadas para realizar a fixação do CO₂ que é liberado pelo consumo de energia elétrica no Paraná. Nessa equação, N representa o número de árvores a serem plantadas; Et é a emissão total de CO₂ (t CO₂e); Ff , o

fator de fixação do carbono em biomassas no local de implantação do projeto (t CO₂e/ árvore); e, por fim, 1,2 é o fator de compensação para possíveis perdas de mudas.

$$N = \frac{Et}{Ff} \times 1,2 \quad (2)$$

Segundo Azevedo e Quintino (2010), Ff é estimado de acordo com a quantidade de carbono sequestrado da atmosfera pela vegetação que, por sua vez, varia conforme as diferenças de clima, espécies, solo e tipo de vegetação. Assim, o cálculo do fator de fixação de carbono por árvore foi realizado por meio da Equação (3):

$$Ff = \frac{IMA \cdot \frac{tC}{t\text{ seca}} \cdot \frac{44}{12}}{n^\circ \text{ arvore/ha}} \quad (3)$$

Em que IMA representa o incremento médio anual (IMA) da biomassa viva acima do solo mais IMA da biomassa viva abaixo do solo, em toneladas de matéria seca/ha/ano; $\frac{tC}{t\text{ seca}}$ é o teor de carbono na matéria seca. De acordo com o IPCC (2003), em uma árvore adulta, aproximadamente 50% de sua massa é biomassa, e a outra metade é água. Esta relação está vinculada a densidade da madeira. Assim, a fração de carbono na matéria seca por omissão é igual a 50% ou 0,5. A fração $\frac{44}{12}$ representa a conversão de C para CO₂; A massa do carbono é igual a 12, e a massa do CO₂ é cerca de 44 (Massa do carbono = 12, massa do oxigênio = 16. 12+(2x16) = 44). Logo, o fator de conversão de C para CO₂ será igual a 44/12. Por fim, n° árvore/ha é o número de árvores por hectare em florestas com idade inferior a 20 anos.

O IMA de biomassa, para florestas tropicais e subtropicais em processo de regeneração natural localizadas em Regiões da América, é 7 toneladas de matéria seca/há/ano para florestas com idade inferior a 20 anos e 2 toneladas de matéria seca/ha/ano para florestas com idade superior a 20 anos, conforme publicado no IPCC (2003).

De acordo com Bechara (2006), o número de árvores/ha a ser utilizado para realização do cálculo do Fator de fixação deve ser de 1667 árvores/ha. Segundo o

autor, esse número varia de região para região, bem com o tipo de solo e vegetação predominante. Dessa forma, o fator de fixação utilizado nesse trabalho será dado por:

$$Ff = \frac{7 \cdot (0,5)^{\frac{44}{12}}}{1667} \cdot 20 = 0,154 \quad (4)$$

O Ff calculado com os dados apresentados acima e utilizado na metodologia deste trabalho será de 0,154. Azevedo e Quintino (2010, p10) esclarecem que a neutralização do que é emitido em um ano é realizado em um período de aproximadamente 20 anos, visto que as árvores vão captar o carbono durante seu ciclo de crescimento.

2.3 Energia Solar

O Sol é a fonte de energia primária na Terra. Além de todos os organismos vivos dependerem dele para realizarem suas funções vitais, é também a partir do sol que a maioria das fontes de energia são formadas. O petróleo, o carvão e outros combustíveis fósseis são formados pela decomposição de plantas e animais, que originalmente, obtiveram a energia necessária ao seu desenvolvimento vinda da radiação solar. As usinas hidrelétricas só são possíveis pela existência do ciclo das águas, originado quando a energia solar provoca a evaporação (CEPEL, 2007).

A utilização do efeito fotovoltaico, ou seja, a conversão direta da energia solar em eletricidade, só foi conhecida a partir de 1839 (FRAIDENRAICH; LYRA, 1995). Nesse ano, foi demonstrada a possibilidade da conversão da radiação luminosa mediante a incidência da luz em um eletrodo mergulhado em uma solução de eletrólito. A primeira célula solar foi produzida em 1888 a partir do selênio, por Charles Fritts (PERLIN, 1999).

A partir da descoberta das possibilidades das tecnologias de aproveitamento de energia solar (térmica ou fotovoltaica), mais estudos foram conduzidos no sentido de aprimorá-las.

Sabe-se que o aproveitamento da energia solar em energia elétrica se dá pelos efeitos da radiação em elementos semicondutores, caracterizando os fenômenos termoelétricos e fotovoltaicos. O efeito termoelétrico ocorre em condições específicas,

quando há uma diferença de potencial ocasionada pela junção de dois metais. Já no efeito fotovoltaico, os fótons presentes no raio de luz solar são transformados em energia elétrica através de células solares.

De acordo com a ANEEL (2002), entre os vários processos de aproveitamento da energia solar, os mais usados atualmente são o aquecimento de água e a geração fotovoltaica de energia elétrica.

2.3.1 Radiação Solar

Radiação solar é interpretada como a energia radiante emitida pelo Sol. Além das condições atmosféricas (nebulosidade, umidade relativa do ar, etc.), a disponibilidade de radiação solar, também denominada energia total incidente sobre a superfície terrestre, depende da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano). Isso devido à inclinação do eixo imaginário em torno do qual a Terra gira diariamente (movimento de rotação) e à trajetória elíptica que a Terra descreve ao redor do Sol (translação ou revolução).

Somente parte da radiação solar atinge a superfície terrestre, devido à reflexão e absorção dos raios solares pela atmosfera. Mesmo assim, estima-se que a energia solar incidente sobre a superfície terrestre seja da ordem de 10 mil vezes o consumo energético mundial (CRESESB, 1999).

De acordo com o Portal Solar (2017), a melhor opção de instalação é quando os módulos solares estão orientados para o norte, visto que os índices de radiação são superiores quando comparados com as outras orientações. As perdas nos sistemas orientados para o noroeste e nordeste variam entre 3 % e 8 %. Para sistemas com orientação leste ou oeste, as perdas variam entre 12 % e 20 %. Já para a orientação sul, as perdas são tão grandes que tornam o sistema inviável.

Para maximizar o aproveitamento da radiação solar em sistemas fotovoltaicos, pode-se ajustar a posição do coletor ou painel solar de acordo com a latitude local e o período do ano em que se requer mais energia. No hemisfério sul, por exemplo, um sistema de captação solar fixo deve ser orientado para o norte, com ângulo de inclinação similar ao da latitude local (PINTO, 2018).

2.3.1.1 Determinação da radiância solar

De acordo com Bexaria *et al.* (2018), a radiação solar e a radiação difusa podem ser medidas por instrumentos como os radiômetros, actinógrafos bimetálicos e piranômetros, sendo este último o mais utilizado no Brasil. Quando a radiação solar não puder ser aferida com precisão, é possível determiná-la por meio da equação de Angström-Prescott. No modo mais simplificado da equação, a radiação é influenciada pela latitude do local e pela época do ano. Quanto maior a latitude, maior a amplitude da radiação solar extraterrestre, entre o verão e o inverno (PEREIRA *et al.*, 2002).

O modelo de Angström-Prescott pode ser utilizado para determinar a radiação na superfície terrestre, tendo como entradas a latitude do local, o número de horas de incidência solar e o dia do ano, seguindo o calendário juliano (ou seja, dias corridos. Por exemplo, dia 31 de janeiro no calendário juliano é dia 31, e dia 01 de fevereiro, no calendário juliano, é dia 32) (ANGSTRÖM, 1964).

A Equação (5) define a equação de Angström-Prescott

$$Q_g = \left(a + b \cdot \frac{n}{N} \right) \cdot Q_0 \quad (5)$$

Sendo que Q_g representa a radiação solar incidente na superfície terrestre (MJ/m²dia); a é o coeficiente linear, e b é o coeficiente angular. Os valores de a e b variam de acordo com a localidade, sendo ambos dependentes da composição atmosférica de cada local e em cada época do ano, assim como com a latitude e a altitude, já que essas interferem na espessura da camada da atmosfera a ser percorrida pela radiação solar. Locais ou épocas com maior umidade no ar terão valores menores de a e b . Neste trabalho foram adotados valores médios para os coeficientes, sendo $a = 0,25$ e $b = 0,5$, calculado por Belúcio *et al* (2013). Na sequência, n representa o número de horas de sol no dia; N , o foto período do dia; e, por fim, Q_0 é irradiação solar incidente no topo da atmosfera (MJ/m²dia);

O primeiro passo é calcular a declinação solar, δ , fornecida pela Equação (6). A declinação solar varia ao longo do ano, e corresponde ao ângulo entre o plano do Equador e a reta definida pelos centros da Terra e do Sol.

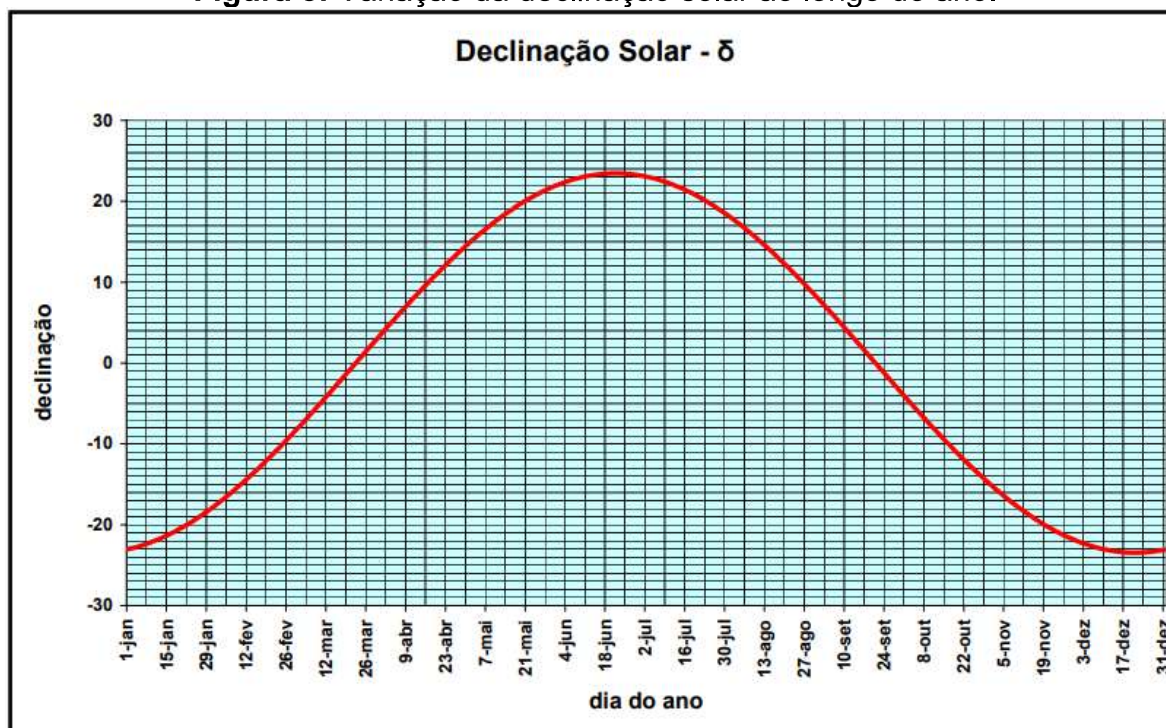
$$\text{sen}^{-1}\delta = \text{sen}(23,45^\circ) \cdot \text{sen}\left[(284 + n) \cdot \frac{360}{365}\right] \quad (6)$$

A Figura 8 ilustra a variação da declinação solar ao longo do ano.

Falcão (2008) ressalta alguns pontos importantes a respeito dos valores da declinação solar:

- A declinação solar varia entre $-23,45^\circ$ no solstício do inverno (21 de dezembro) e $+23,45^\circ$ no solstício do verão (21 ou 22 de junho no Hemisfério Norte);
- A declinação solar é nula nos equinócios (da primavera 20 ou 21 de março, e do outono 21 de setembro, visto que a duração do dia é igual a duração da noite);
- Os trópicos de Câncer, $23,45^\circ$ N e de Capricórnio, $23,45^\circ$ S limitam as latitudes em que o Sol passa pela vertical pelo menos uma vez por ano;
- Acima das latitudes dos círculos polares ártico ($66,55^\circ$ N) e Antártico ($66,55^\circ$ S), o Sol não nasce pelo menos uma vez por ano.

Figura 8: Variação da declinação solar ao longo do ano.



Fonte: ROSA, 2013

Observa-se que na Figura 8 que a declinação atinge o seu maior valor, ou seja, $23,45^\circ$, por volta do dia 22 de junho, que corresponde ao solstício de inverno para o hemisfério sul. Entre os dias 21 e 23 de dezembro, ocorre o solstício de verão para o hemisfério sul, quando a declinação atinge o seu menor valor, $-23,45^\circ$. Por volta dos dias 21 de março e 22 de setembro, ocorrem, respectivamente, os equinócios de outono e de primavera para o hemisfério sul, quando a declinação se iguala a zero.

Tendo o ângulo da declinação solar, δ , e o ângulo da latitude do local, θ , é possível calcular o ângulo do nascer do sol pela Equação (7).

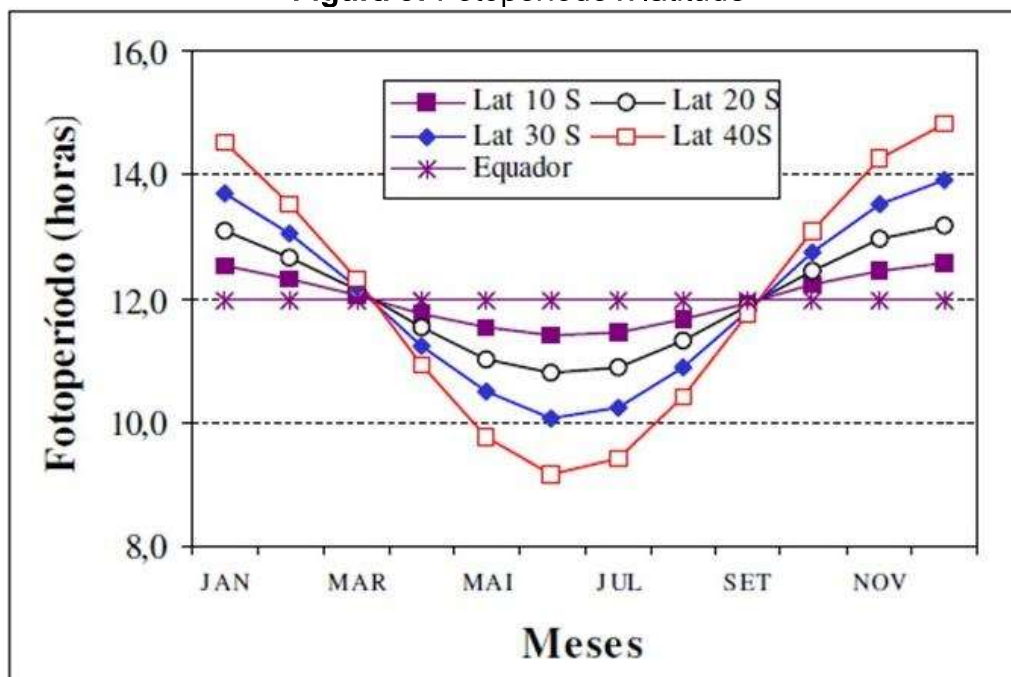
$$hn = \cos^{-1}(-tg\theta + tg\delta) \quad (7)$$

Em seguida, utiliza-se a Equação (8) para obter o fotoperíodo (N), que é definido como sendo a duração do dia desde o nascer até o pôr do Sol.

$$N = \frac{2hn}{15} \quad (8)$$

A Figura 9 compara o comportamento do fotoperíodo na linha do Equador com o comportamento em linhas imaginárias passando a 10° , 20° , 30° e 40° da linha do Equador.

Figura 9: Fotoperíodo x latitude



Fonte: ROSA, 2013

Caso a Terra esteja a uma distância do Sol diferente da distância média, a irradiância solar irá aumentar se ela estiver mais perto, ou diminuir, se estiver mais longe, de acordo com a lei do inverso do quadrado da distância. Por isso é necessário aplicar um fator de correção, $\left(\frac{d}{D}\right)^2$, definido na Equação (9):

$$\left(\frac{d}{D}\right)^2 = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{360}{365} \cdot NDA\right) \quad (9)$$

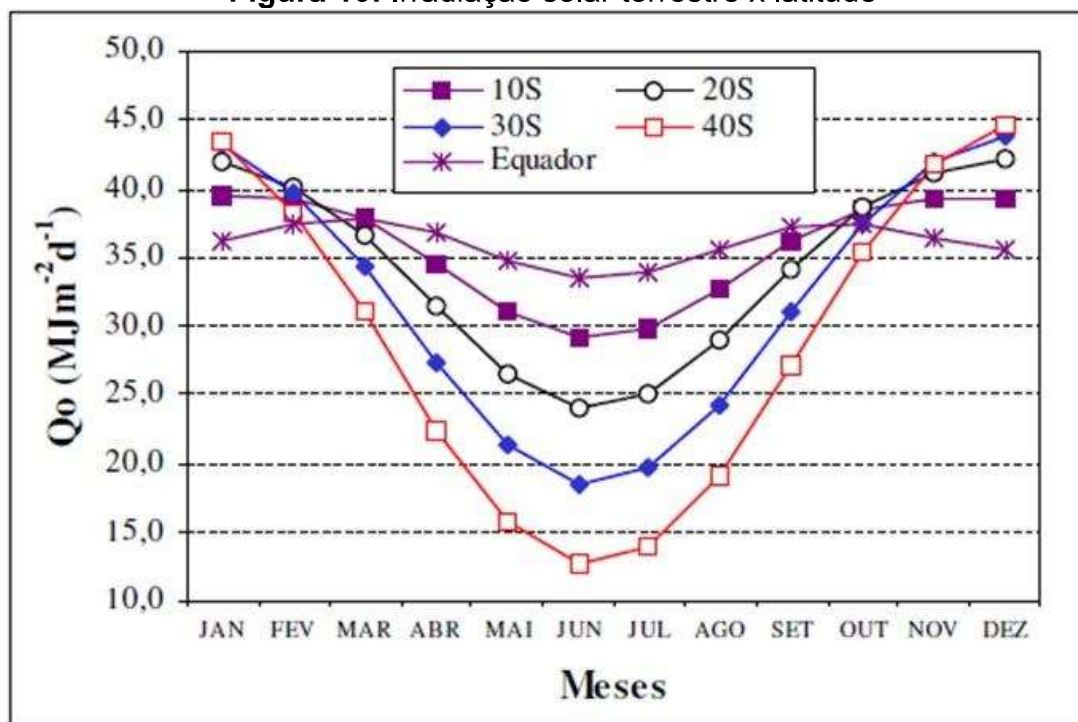
Na equação (9), NDA representa o número do dia de acordo com o calendário juliano.

A radiação solar incidente no topo da atmosfera pode ser calculada através da Equação (10). Essa é a energia disponível em um dia em dada latitude, sem se considerar os efeitos atenuantes da atmosfera.

$$Q_0 = 37,6 \left(\frac{d}{D}\right)^2 \left[\frac{\pi}{180} \cdot hn \cdot \text{sen}\theta \cdot \text{sen}\delta + \text{cos}\theta \cdot \text{cos}\delta \cdot \text{sen}(hn) \right] \quad (10)$$

Os valores de Q_0 variam ao longo do ano para uma mesma latitude. A Figura 10 ilustra essas variações para algumas latitudes.

Figura 10: Irradiação solar terrestre x latitude



Fonte: ROSA, 2013

Quanto mais afastado da linha do Equador, maior a variação de Q_0 e do fotoperíodo durante o ano, como observado nas Figuras 9 e 10. Além disso, ao contrário do fotoperíodo, Q_0 varia até na linha do Equador, visto que a declinação solar também varia. Através de Q_0 (radiação solar incidente no topo da atmosfera) é possível calcular o valor da radiação solar incidente na superfície terrestre.

2.4 Equipamentos e Instalação do Sistema Fotovoltaico

Este tópico aborda os equipamentos necessários para a instalação do sistema elétrico fotovoltaico *On-Grid* (sistema conectado à rede pública de energia) em uma residência. Os principais equipamentos que serão abordados neste capítulo são: módulos fotovoltaicos, inversores de energia (conversor CC/CA), estrutura de suporte e equipamentos de proteção do sistema.

2.4.1 Módulos Fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos são formados por arranjos de células fotovoltaicas e são os responsáveis pela captação da radiação solar e pela sua transformação em

energia elétrica. Eles são fabricados por processos industriais diferentes, com características físicas, eficiência e custos diferentes para cada modelo (CASARO *et al.*, 2010).

Segundo a Direção Geral de Segurança - DGS (2004), comercialmente, os módulos fotovoltaicos recebem várias classificações:

a) Em função do material celular:

Módulos monocristalinos;

Módulos policristalinos;

Módulos de película fina (amorfo e CdTe).

b) Em função do material de encapsulamento:

Módulos Teflon;

Módulos de Resina Fundida;

c) Em função da tecnologia de encapsulamento:

Laminagem (com EVA ou com Teflon).

d) Em função da tecnologia do substrato:

Módulos película-película (flexíveis);

Módulos vidro-película (ou módulos de vidro-Tedlar);

Módulos metal-película;

Módulos vidro-vidro.

e) Em função da estrutura da armação:

Módulos com armação;

Módulos sem armação (módulos laminados).

f) Em função de funções específicas de construção:

Módulos de vidro de segurança endurecido;

Módulos de vidro de segurança laminado;

Módulos de vidro isolante;

Módulos de vidro isolante para coberturas de vidro;

Módulos de vidro laminado.

Segundo o Portal Solar (2017), os módulos fotovoltaicos de silício policristalinos são os mais utilizados no mundo. Este tipo de placa é fabricada pela fusão de blocos de silício cristalino de modo a preservar seus múltiplos cristais. O formato do bloco é quadrado para facilitar o corte das células.

Devido à baixa potência das células solares (em geral, variam de 1 a 3 W e possuem tensão inferior a 1 V), a fabricação dos módulos solares se dá por meio do encadeamento de várias células. Em uma ligação em série, o polo negativo de cada célula é soldado ao polo positivo da célula seguinte (DGS, 2004).

Para Casaro *et al.* (2010), 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 dos painéis individuais ou de *strings* (conjunto de módulos conectados em série). A potência instalada, normalmente especificada em CC, é dada pela soma da potência nominal dos módulos individuais (RUTER, 2004).

Os módulos fotovoltaicos são projetados e fabricados para operar entre 25 e 30 anos, devendo acomodar as células e as respectivas ligações elétricas, proporcionar suporte estrutural e proteção contra danos mecânicos e agentes ambientes como sol, chuva e ventos.

Quando um módulo é exposto à radiação solar, apresenta em seus terminais uma tensão contínua. Os valores de tensão (V), corrente (A) e potência (W) são especificados pelo fabricante e são medidos sob determinadas condições, denominadas “condições-padrão de referência para ensaio”, simbolizadas por STC (*standard test conditions*).

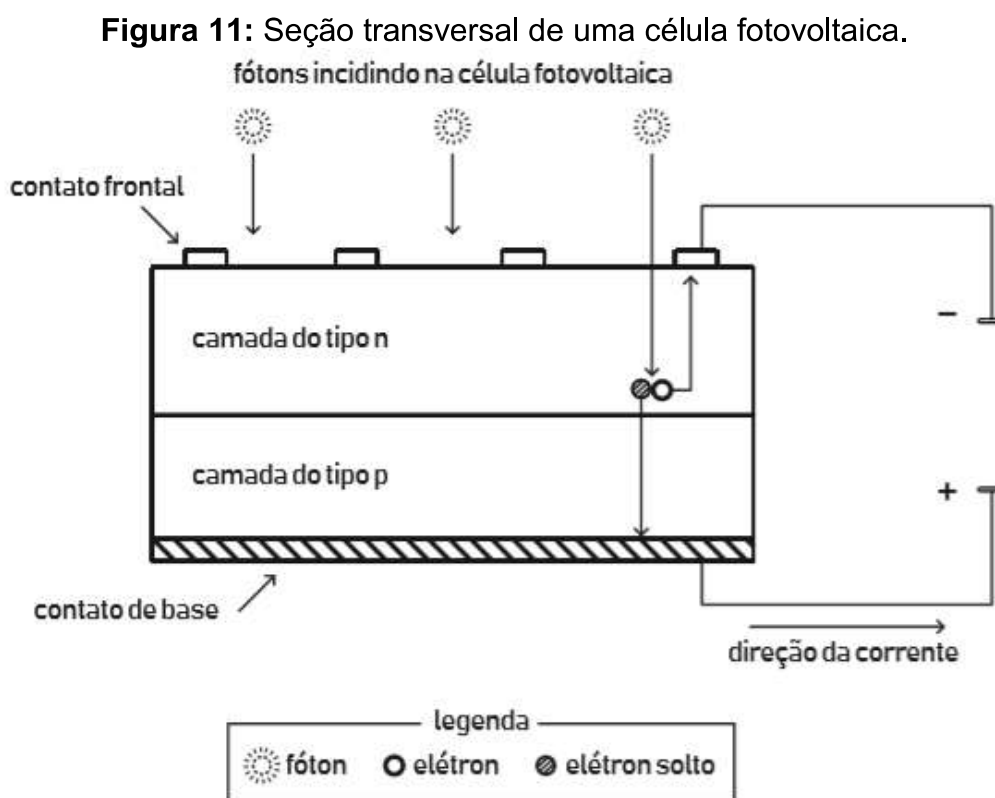
Além dos módulos constituídos de células de silício cristalino, que são normalmente rígidos, também existem os módulos de filme fino, que podem ser construídos sobre vidro rígido, ou sobre substratos flexíveis e superfícies curvas. Esses módulos são utilizados em coberturas ou fachadas de edificações, além de serem relativamente mais leves (CASARO et al, 2010).

2.4.1.1 Características Elétricas das Células Fotovoltaicas

As células solares são as principais responsáveis pelo funcionamento do sistema fotovoltaico, visto que elas são as responsáveis pela conversão da radiação solar em energia elétrica. Essas células são construídas com materiais semicondutores como silício, arseneto de gálio, telureto de cádmio ou disseleneto de cobre e índio. São adicionados dopantes nos semicondutores com o objetivo de se criar um meio adequado ao estabelecimento do efeito fotovoltaico (DGS, 2004).

Por serem sólidos e terem boa estrutura atômica cristalina de condutividade elétrica intermediária, os materiais semicondutores são os mais adequados para o efeito fotovoltaico. DGS, 2004). O silício é o semicondutor mais utilizado na concepção de células solares. Isso porque semicondutores como o cádmio (Cd), o selênio (Se) e o telúrio (Te) são altamente tóxicos, e outros como o gálio (Ga) e o índio (In) são raros (RUTHER, 2004).

A existência de uma banda de valência totalmente preenchida por elétrons e uma banda de condução totalmente vazia é uma das principais características dos materiais semicondutores. A Figura 11 ilustra a seção transversal de uma célula fotovoltaica.



Fonte: Adaptado de Vanek; Albright (2008)

Quando os quatro elétrons de ligação dos átomos de silício se ligam aos seus vizinhos, se forma uma rede cristalina. No entanto, quando são adicionados átomos com cinco elétrons de ligação, como o fósforo, haverá um elétron em excesso que não poderá ser emparelhado e conseqüentemente, devido à baixa energia térmica, este elétron se livra e vai para a banda de condução, como ilustrado na Figura 11. Em

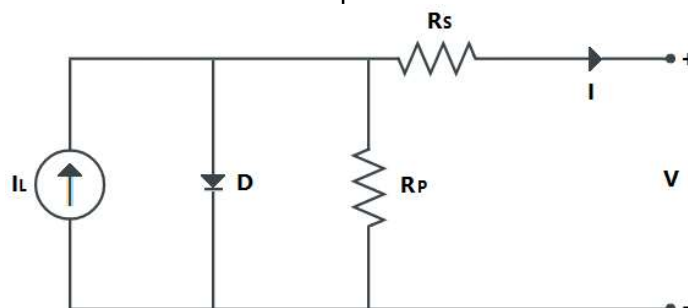
razão deste fenômeno, o fósforo é considerado um dopante de elétrons, conhecido como dopante n ou impureza n (CRESESB, 2004).

Além do fósforo, outros tipos de elementos podem ser introduzidos nos semicondutores, como o boro. Neste caso, quando se insere átomos com apenas 3 elétrons de ligação, haverá uma falta de elétrons para completar as ligações com os átomos de silício da rede. Este fenômeno é conhecido como buraco ou lacuna, e devido à pouca energia térmica, um elétron de um sítio vizinho pode passar a esta posição, deslocando o buraco. Desse modo, o boro é um aceitador de elétrons ou dopante p (CRESESB, 2004).

A inserção de elementos (como o fósforo e boro) nas camadas n e p faz com que elétrons livres do lado n passem ao lado p, onde encontram lacunas que os capturem. Conseqüentemente é gerado um acúmulo de elétrons no lado p, tornando-o negativamente carregado, e uma redução de elétrons do lado n, tornando-o eletricamente positivo. O efeito fotovoltaico é, por tanto, uma região onde o campo elétrico é diferente de zero e as cargas são aceleradas quando uma junção pn é exposta a fótons (CRESESB, 2004).

Segundo Ribeiro (2017, p.39), “as células fotovoltaicas são como um diodo semiconductor que produzem corrente elétrica a partir da junção PN quando expostos a fótons de luz”. Ainda, de acordo com Ribeiro (2017), uma célula fotovoltaica pode ser representada eletricamente por um circuito elétrico composto de uma fonte de corrente, um diodo que representa a junção PN sem excitação externa e por duas resistências, uma em série e a outra em paralelo, como ilustrado na Figura 12.

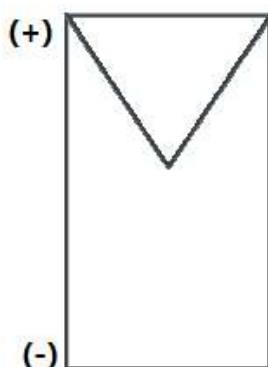
Figura 12: Circuito elétrico equivalente da célula fotovoltaica.



Fonte: Adaptado de Ribeiro (2017)

A simbologia utilizada para representar um módulo fotovoltaico é descrita pela norma NBR 10899, que é mostrada pela Figura 13.

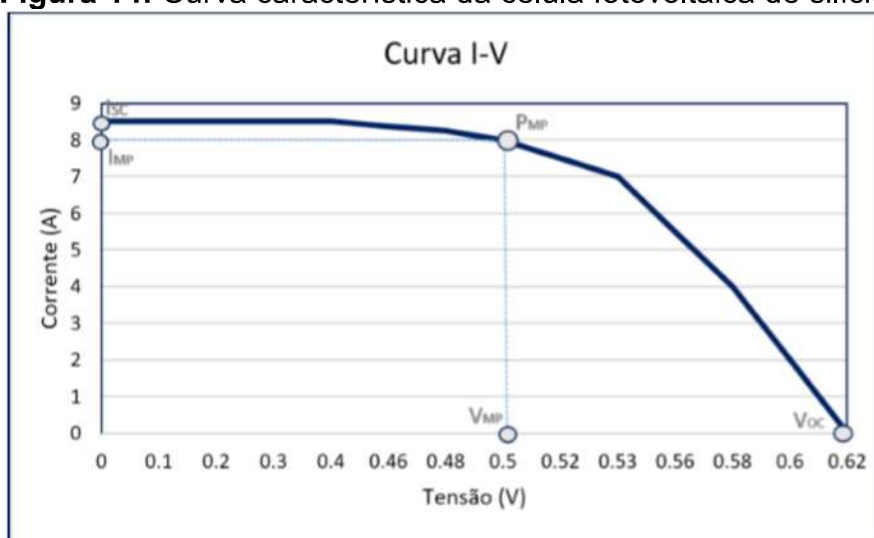
Figura 13: Símbolo do módulo fotovoltaico.



Fonte: Adaptado Ribeiro (2017)

A Figura 14 apresenta a curva I-V característica de uma célula fotovoltaica de silício, com a corrente elétrica em função da diferença de potencial. Ou seja, é possível analisar o comportamento da corrente com o aumento da tensão.

Figura 14: Curva característica da célula fotovoltaica de silício.

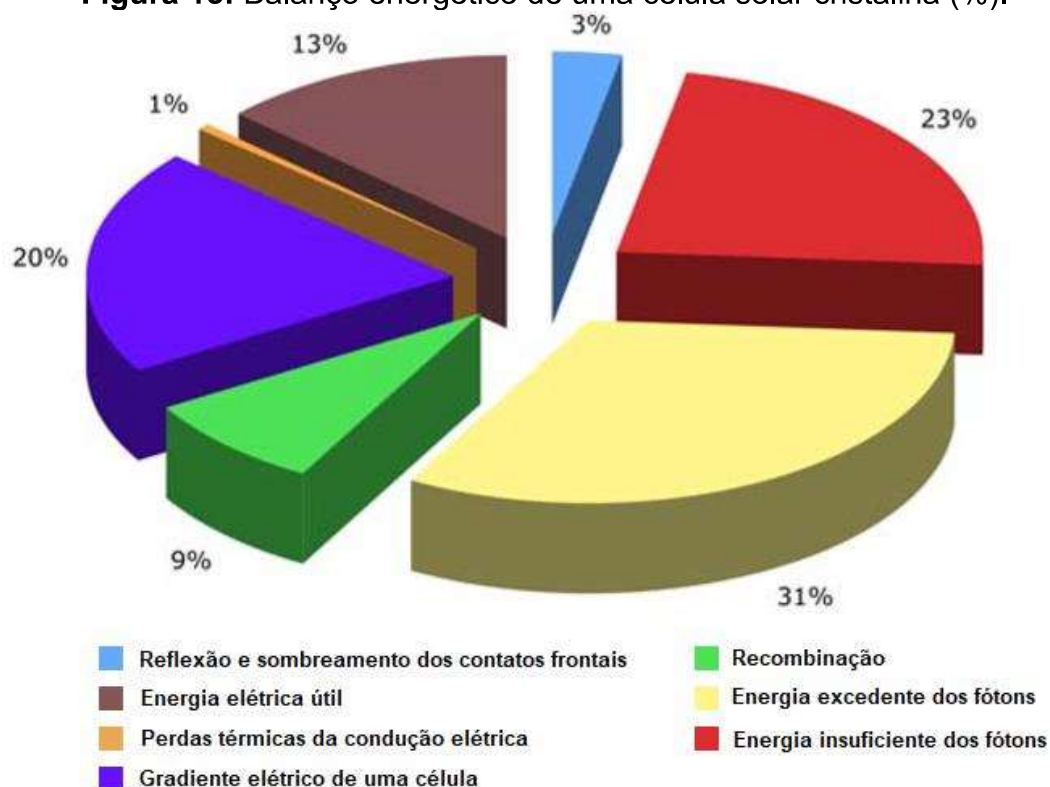


Fonte: RIBEIRO, 2017

Os parâmetros determinados pela curva I-V são a corrente de curto-circuito (I_{sc}), a tensão de circuito aberto (V_{oc}), potência máxima (P_{MP}), corrente no ponto de potência máxima (I_{MP}) e a tensão no ponto de potência máxima (V_{MP}).

As células solares de silício cristalino sofrem várias perdas na transformação da energia solar em energia elétrica, conforme exposto no Figura 15. Observa-se que apenas 13% da energia solar é convertida em energia elétrica. A maior perda na conversão ocorre pelo excesso ou pela insuficiência de energia dos fótons.

Figura 15: Balanço energético de uma célula solar cristalina (%).



Fonte: Adaptado de Cresesb (2004)

2.4.1.2 Característica Elétrica dos Módulos Solares Cristalinos

Geralmente, a potência dos módulos solares é expressa pela potência de pico (W_p). Entretanto, apenas a potência do painel nem sempre é suficiente para realizar a comparação de diferentes módulos solares. Em muitas situações, é necessário realizar a análise de outros parâmetros intrínsecos de fabricação (CRESESB,2004).

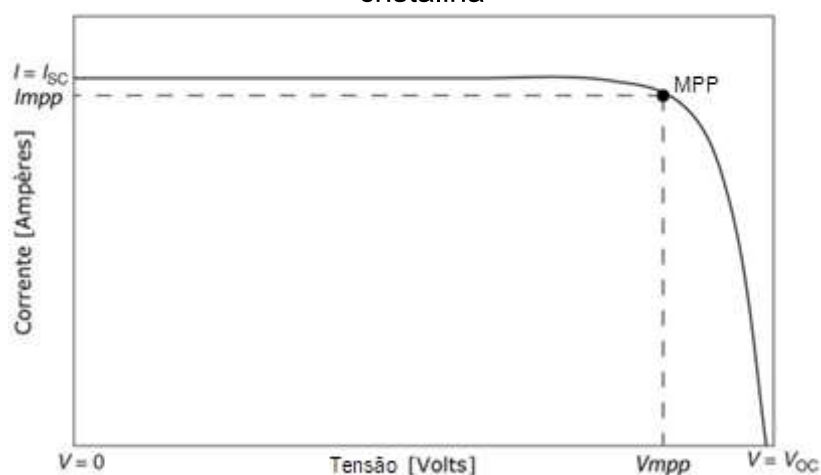
Dentre estes parâmetros, pode-se destacar:

- Tensão de circuito aberto (V_{OC});
- Corrente de curto Circuito (I_{SC});
- Potência máxima (P_{MP});
- Tensão de potência máxima (M_{PP});
- Corrente de potência máxima (I_{MP})

De acordo com Cresesb (2004), a condição padrão para se obter as curvas características dos módulos (Figura 16) é definida por uma irradiância de 1.000 W/m^2 ,

temperatura de célula de 25 °C (com tolerância de ± 2 °C) e espectro solar para massa de ar (AM) = 1,5. Estes três fatores formam “Condições de teste de *Standard* – CTS, de acordo com a norma IEC 60940 / DIN EM 60940.

Figura 16: Forma típica da curva característica I x V de uma célula de silício cristalina



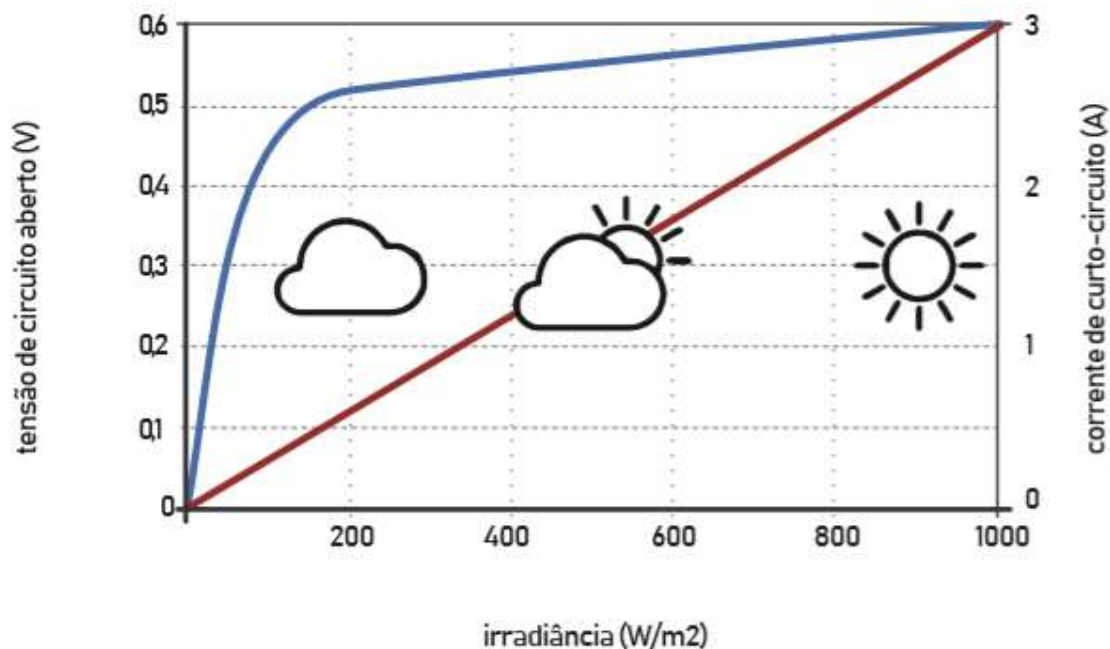
Fonte: Adaptado de Vanek; Albright (2008)

O MPP (ponto de potência máxima) é o ponto da curva característica em que a célula solar funciona à máxima potência. Para este ponto, são associadas a potência P_{mpp} , a corrente I_{mpp} e a tensão V_{mpp} . Além disso, a corrente de curto circuito (I_{sc}) é aproximadamente 5 a 15 % maior do que a corrente MPP. Para cada ponto na curva I x V, o produto da corrente pela tensão representa a potência gerada naquela condição de operação específica.

O ponto de potência máxima corresponde ao produto da tensão de potência máxima (V_{mpp}) e corrente de potência máxima (I_{mp}). Os valores de P_{mp} , I_{mp} , V_{mp} , I_{sc} e V_{oc} são os cinco parâmetros que especificam o produto sob dadas condições de radiação, temperatura de operação e massa de ar (TORRES, 2012).

Segundo Cresesb (2004, p. 66), “a corrente do curto-circuito depende linearmente da irradiância. Se a irradiância duplicar, a corrente também duplica”. Este fato justifica a linha reta presente no Figura 17.

Figura 17: Tensão de circuito aberto e corrente de curto-circuito em função da radiação.



Fonte: Adaptado DGS (2004)

Ainda, para Cresesb (2004), apenas quando a irradiância desce abaixo dos 100 W/m², a tensão sofre uma quebra. A relação matemática entre a tensão e a irradiância numa célula solar cristalina é uma função logarítmica.

2.4.1.3 Tipos de Conexão dos Módulos

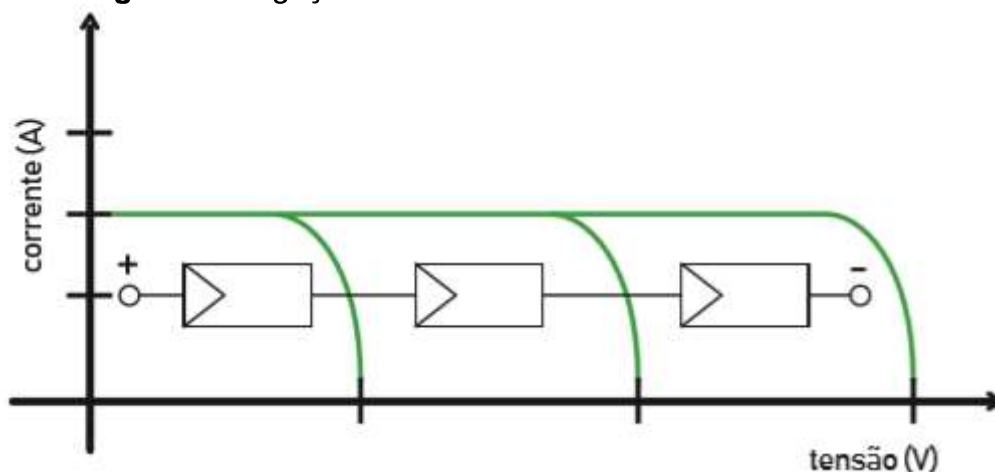
No sistema fotovoltaico, as placas podem ser conectadas em série, em paralelo ou em um arranjo misto série-paralelo, de modo a se obter os valores desejáveis de tensão e corrente. De acordo com Torres (2012), no tipo de conexão em série, o polo positivo de um módulo é ligado ao polo negativo do módulo seguinte. Sendo assim, a tensão total de saída do sistema (V_{total}) será igual à soma da tensão de cada um dos módulos, ao passo que a corrente total do conjunto (I_{total}) será igual à corrente do primeiro módulo, que será igual em todos os módulos. Matematicamente, tem-se que:

$$I_{total} = I_1 = I_2 = \dots = I_n \quad (11)$$

$$U_{total} = U_1 + U_2 + \dots + U_n \quad (12)$$

A Figura 18 explicita como seria a curva corrente-tensão de uma fileira constituída por três módulos fotovoltaicos conectados em série. Neste tipo de ligação, o sombreamento em um único módulo afeta o desempenho da fileira inteira, já que a corrente do conjunto é igual à corrente do módulo.

Figura 18: Ligação de três módulos fotovoltaicos em série.



Fonte: Adaptado de DGS (2004)

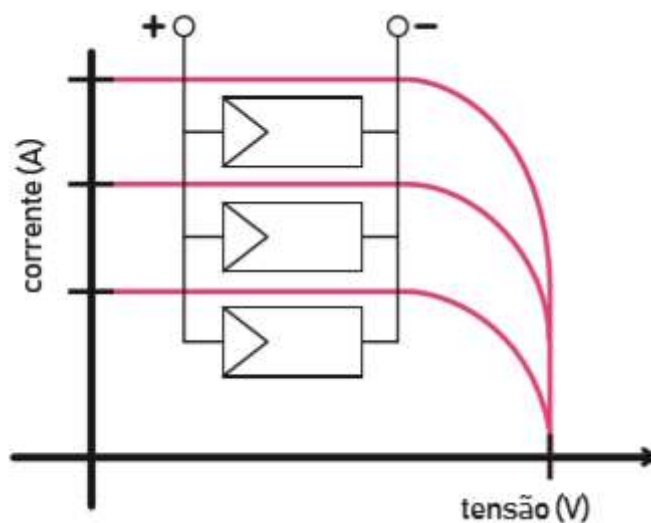
Na ligação em paralelo, o polo positivo de um módulo é ligado ao polo positivo de outro. A corrente total (I_{total}) é igual à soma das correntes em cada um dos módulos do sistema, ao passo que a tensão total de saída (V_{total}) é igual à tensão de cada um dos módulos (TORRES, 2012).

$$I_{total} = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (13)$$

$$U_{total} = U_1 = U_2 = \dots = U_n \quad (14)$$

A Figura 19 explicita como seria a curva de corrente-tensão de três fileiras conectadas em paralelo, sendo que cada uma é constituída por um módulo fotovoltaico. Neste tipo de configuração, as perdas por sombreamento são minimizadas, pois apenas os módulos afetados deixarão de contribuir na geração de energia.

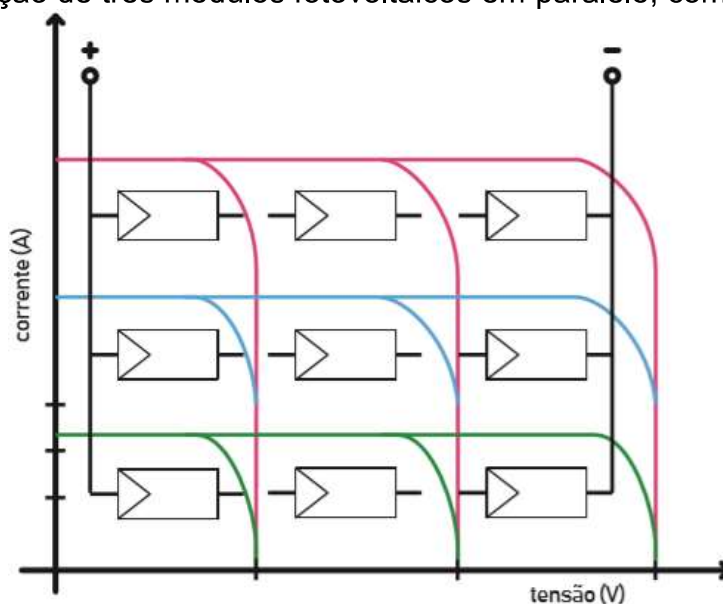
Figura 19: Ligação de três módulos fotovoltaicos em paralelo.



Fonte: Adaptado de DGS (2004)

Por fim, a Figura 20 explicita como seria a curva corrente-tensão de três fileiras conectadas em paralelo, sendo que cada uma é constituída por três módulos conectados em série.

Figura 20: Ligação de três módulos fotovoltaicos em paralelo, com fileiras em série.

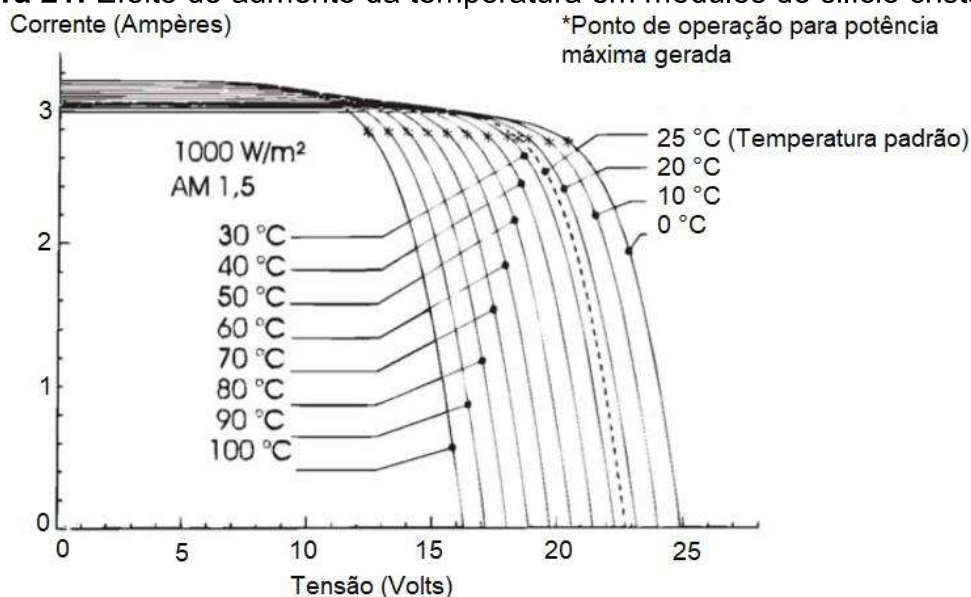


Fonte: Adaptado de DGS (2004)

A conexão série-paralelo é a mais usada em arranjos fotovoltaicos. Geralmente liga-se os módulos em série para aumentar a tensão e depois os arranjos são conectados em paralelo, a fim de aumentar a corrente de saída (TORRES, 2012).

Além dos tipos de conexões, o desempenho dos módulos também é influenciado pela intensidade luminosa e pela temperatura das células solares. O aumento da temperatura tende a reduzir a eficiência do módulo. Isto ocorre devido a uma diminuição significativa da tensão com o aumento da temperatura, enquanto há uma elevação quase desprezível da corrente, conforme mostra a Figura 21 (TORRES, 2012).

Figura 21: Efeito do aumento da temperatura em módulos de silício cristalino.



Fonte: TORRES, 2012.

A Equação (15) pode ser utilizada para estimar a temperatura de operação da célula, a partir da temperatura ambiente:

$$T_{CEL} = T_{AMB} + \frac{T_{NOCT} - 20^{\circ}}{0,8} \cdot S \quad (15)$$

Em que:

T_{CEL} – Temperatura da célula em °C;

T_{AMB} – Temperatura ambiente em °C;

T_{NOCT} – Temperatura nominal de operação da célula em °C (dado fornecido pelo fabricante);

S – Irradiância (kW/m²).

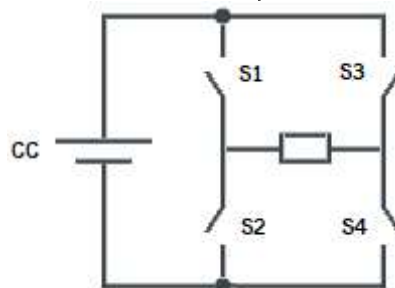
2.4.2 Inversores de Energia

Os inversores são dispositivos eletrônicos que fornecem energia elétrica em corrente alternada (CA) a partir de uma fonte de energia elétrica em corrente contínua (CC) (PINHO; GALDINO, 2014). Além disso, os inversores também ajudam a garantir a proteção do sistema e mensurar a energia produzida pelos painéis.

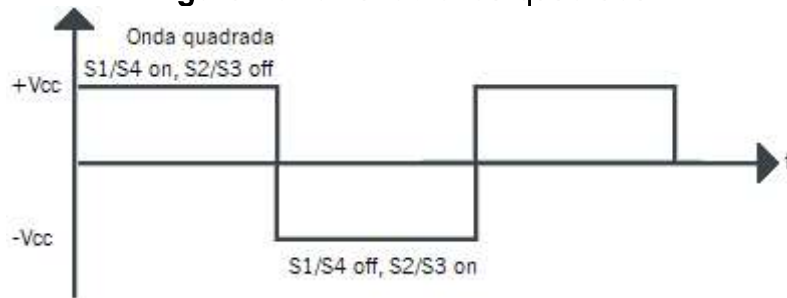
Os módulos solares geram energia elétrica em CC e para injetá-la na rede elétrica, é necessário transformá-la em CA. Esta tarefa é realizada pelos inversores, que são construídos por chaves eletrônicas controláveis que conduzem ou bloqueiam a corrente elétrica por meio de um sinal de controle, convertendo a tensão contínua em tensão alternada. As chaves utilizadas são conhecidas como tiristores, como SCR, TRAIC e GTO e transistores como BJT, MOSFET e IGBT (CRESESB, 2014 e LIMA et al. 2017).

Segundo Ribeiro (2017), um circuito de ponte completa, como o ilustrado na Figura 22, apresenta as chaves S1, S2, S3 e S4 que representam os chaveamentos do processo de conversão. A comutação dessas chaves em pares resulta na conversão de CC em CA. Comutando simultaneamente as chaves S1 e S4 e bloqueando S3 e S2, a tensão aplicada na carga é de $+V_{cc}$, e ao comutar as chaves S2 e S3 e bloqueando S1 e S4 a tensão aplicada na carga é $-V_{cc}$. Alternando essa comutação em uma frequência de 60 Hz, a tensão aplicada na carga é uma onda quadrada, apresentada na Figura 23.

Figura 22: Circuito de ponte completa.

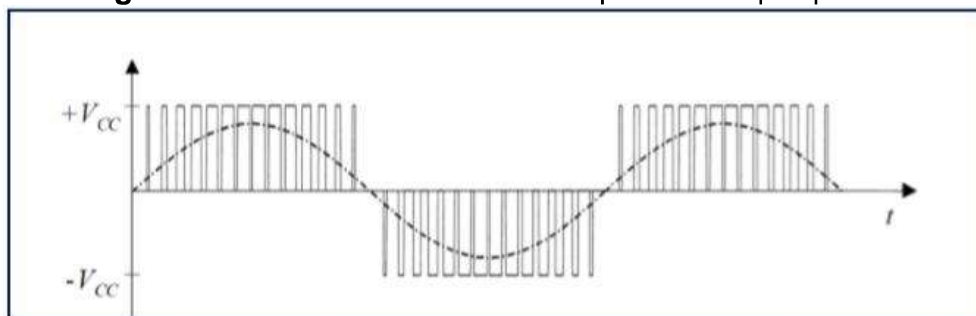


Fonte: Adaptado de Ribeiro (2017).

Figura 23: Sinal de onda quadrada.

Fonte: Adaptado de Ribeiro (2017)

As distorções harmônicas existentes nesse sinal são elevadas e são reduzidas através do controle de comutação e mudança do ângulo de defasagem. O processo é realizado pelo aumento da quantidade de pulso, o que aproxima o sinal de saída senoidal como mostrado na Figura 24. A utilização de filtros melhora a forma de onda e diminui os harmônicos.

Figura 24: Sinal de onda senoidal aproximada por pulsos.

Fonte: RIBEIRO, 2017.

As especificações técnicas dos inversores fornecem informações importantes para o dimensionamento e instalação de sistemas fotovoltaicos. A configuração do sistema e da instalação elétrica determinam o número, o nível de tensão e a classe de potência dos inversores (TORRES, 2012).

A eficiência de um inversor é afetada por diversos fatores, como arranjos inadequados, intempéries e sujeiras nos módulos. Para as condições padrão de testes (irradiância de 1.000 W/m^2 , temperatura nas células de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ e massa de ar AM = 1,5), é possível calcular a potência em corrente alternada obtida na saída do inversor através da Equação (16) (TORRES, 2012). Nesta equação, P_{CA} é a potência em corrente alternada na saída do inversor; P_{CC} representa a potência em corrente

contínua obtida nos módulos; e, por fim, EC é a eficiência de conversão, fornecida pelo fabricante.

$$P_{CA} = P_{CC} \cdot EC \quad (16)$$

De acordo com Amaral (2016), as principais características do inversor em conexão *On-Grid* são:

- Possibilidade de conexão do inversor ao computador, visto que facilita o monitoramento do sistema em tempo real, gerando gráficos e comparações com dias anteriores.
- Garantia do inversor: os inversores vêm de fábrica geralmente com garantia de 5 anos e os fabricantes oferecem a opção de estender a garantia em até 10 anos.
- Devem ser instalados em local protegido de radiação solar direta e chuva.

A Figura 25 ilustra um inversor solar de 25 kW. Observa-se o display digital no canto inferior direito do aparelho. Através do display, é possível realizar diversos tipos de configurações e extrair informações de geração de energia do sistema. O tamanho do equipamento varia de acordo com a potência e com o fabricante. Comercialmente, existem inversores desde 1 kW até 100 kW, entretanto, há empresas especializadas na fabricação de inversores de potências maiores.

Figura 25: Inversor solar.



Fonte: FRONIUS, 2019.

A potência do inversor deve suportar a potência total dos módulos fotovoltaicos a serem instalados no projeto. Além disso, pode-se utilizar mais de um inversor em uma única instalação fotovoltaica.

2.4.3 Estrutura de Suporte

De acordo com Torres (2012), é importante que a estrutura de fixação dos módulos fotovoltaicos seja instalada de forma que possibilite futuras manutenções e que não prejudique a estética do edifício. Ainda, as estruturas utilizadas devem suportar ventos de até 150 km/h, o material de fabricação deve ser resistente a corrosão (como aço galvanizado) e devem ser eletricamente aterradas seguindo as normas vigentes (LORENZO; ZILLES, 1994).

As instalações elétricas de baixa tensão são especificadas pela NBR 5410. Esta mesma norma deve ser obedecida para a instalação de sistemas solares fotovoltaicos em edificações (RUTHER, 2004). A Figura 26 ilustra as peças necessárias para a fixação.

Figura 26: Estrutura de fixação para módulos fotovoltaicos em telhado cerâmico.



Fonte: RIBEIRO (2017).

A fixação é realizada entre a viga do telhado e o perfil de alumínio da estrutura de fixação. Sendo assim, a carga dos módulos é transferida diretamente para a estrutura de suporte da residência.

2.4.4 Equipamentos de Proteção

A proteção dos cabos contra sobrecorrentes é feita por meio da utilização de fusíveis instalados como chaves seccionadoras. Dessa forma, após a passagem de cabos em eletrodutos, separados por polos positivos e negativos, os condutores de corrente CC chegam com uma proteção antes de serem conectados ao inversor, proporcionando maior segurança aos usuários (TORRES, 2012).

Ainda, de acordo com PRODIST (2012), para um sistema de geração distribuída de até 75 kWp, são necessários os seguintes equipamentos:

- Elemento de desconexão: chave seccionadora visível e acessível que a concessionária usa para garantir a desconexão da central geradora durante manutenção no sistema público de energia.
- Elemento de interrupção: elemento de interrupção automático acionado por proteção e comando.
- Proteção de sub e sobretensão: não é necessário relé de proteção específico, mas um sistema eletroeletrônico que detecte tais anomalias e que produza uma saída capaz de operar na lógica de atuação do elemento de interrupção.
- Relé de sincronismo: equipamento que realiza o processamento da energia elétrica proveniente de uma fonte primária para energia em corrente alternada em sincronismo com a rede elétrica.

No caso de microgerações *On-Grid*, as proteções listadas acima podem estar inseridas nos inversores instalados, sendo a adição à parte desses equipamentos de proteção, desnecessária (PRODIST, 2012).

O proprietário do sistema, durante a vistoria realizada pela concessionária local para o ligamento do gerador fotovoltaico, deve apresentar os certificados ou declarações do fabricante, demonstrando que os equipamentos possuem todas a

segurança exigida e que passaram por ensaios conforme exigido nas normas técnicas brasileiras (PRODIST, 2012).

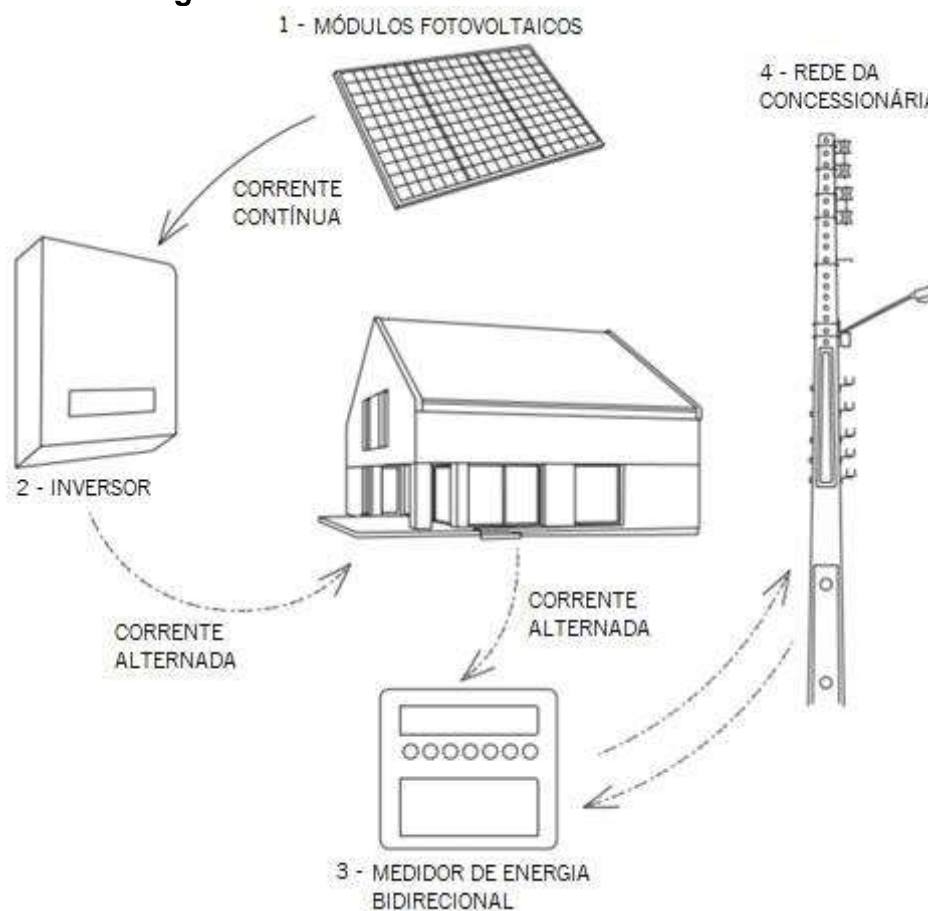
2.5 Funcionamento do Sistema Fotovoltaico *On-Grid*

Existem três maneiras de implantar um sistema fotovoltaico: funcionamento isolado através do banco de baterias (*Off-Grid*); sistema conectado à rede elétrica pública (*On-Grid*), em que o excedente de energia gerado vai para a concessionária local; e, por fim, através de um sistema híbrido, em que o excedente da energia elétrica gerado carrega o banco de baterias, e quando as baterias estão carregadas, o excedente vai para rede pública (ZAHEDI, 2006).

Os sistemas isolados com banco de baterias são geralmente usados em locais remotos, onde a concessionária local de energia elétrica ainda não tem acesso. Esses sistemas geralmente são pequenos e são utilizados principalmente para iluminação, refrigeração e pequenas cargas. Outras utilizações em zonas remotas são para a melhorar as condições de vida da população local, tal como uso em telecomunicações, bombeamento de água, refrigeração, entre outras (ZAHEDI, 2006).

Em sistemas conectados à rede elétrica convencional, é necessário mensurar a quantidade de energia que está sendo efetivamente enviada à rede, visto que deve haver um controle e monitoramento por parte da concessionária, e também para o pagamento dos serviços que a concessionária presta para o consumidor-produtor. O sistema utilizado atualmente foi proposto por Thomas e Grainer (1999) e consiste em um medidor bidirecional. Este medidor controla a saída da geração excedente e a entrada de energia nos momentos sem geração fotovoltaica (dias nublados/sem sol e a noite, por exemplo). A Figura 27 explicita o caminho da corrente elétrica no sistema *On-Grid*.

Figura 27: Estrutura de um sistema fotovoltaico *On-Grid*.



Fonte: Adaptado de BORTOLOTO *et al.* (2017).

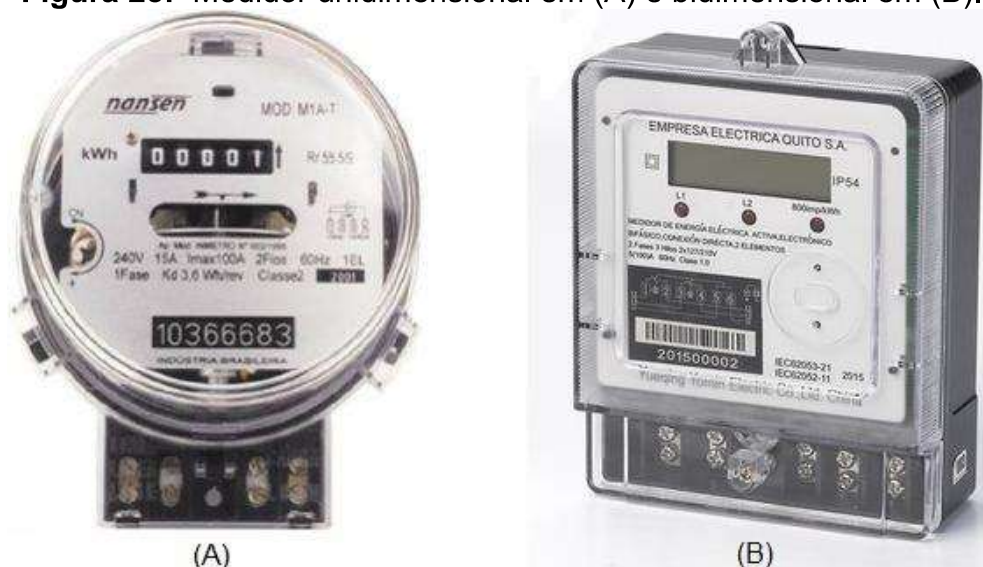
A energia elétrica CC produzida pelos módulos solares (1) é direcionada ao inversor (2), para que possa adequar as características da corrente à rede local. A CA que sai do inversor passa pelo medidor bidirecional de energia (3) para mensurar a energia elétrica produzida e, em seguida, abastecer os equipamentos elétricos que estão consumindo energia durante o dia. Caso haja excedente de energia elétrica, esta é destinada para a rede pública, conforme ilustrado em (4).

Os cinco sistemas fotovoltaicos analisados neste trabalho estão ligados à concessionária de energia local, Copel, o que os caracterizam como sistemas *On-Grid*, ou sistemas de auto-consumo. A vantagem da instalação integrada à edificação é a geração junto ao ponto de consumo, sem a necessidade de sistemas de transmissão e distribuição (T&D), e a diminuição dos custos envolvidos (RUTHER, 2004).

Se durante o dia o sistema produzir mais energia do que for consumido, o medidor bidirecional deve rodar para trás. Neste caso, o excedente é destinado para

a concessionária, gerando créditos (em kWh) ao proprietário do sistema. Os créditos retornam para a residência (como energia elétrica) nos momentos em que o consumo de energia for maior que a geração do sistema fotovoltaico. A Figura 28 ilustra o medidor de energia unidimensional (convencional) em (A) e o bidimensional em (B).

Figura 28: Medidor unidimensional em (A) e bidimensional em (B).



Fonte: COPEL (2019).

2.6 Disponibilidade da Rede Elétrica

Os consumidores, mesmo com sistemas de geração distribuída, devem arcar com o custo de disponibilidade da rede elétrica, ou seja, a concessionária cobra uma taxa mínima para manter a rede ativa, mesmo que não haja consumo de energia da rede pública. Para os consumidores de baixa tensão (grupo B), consiste no pagamento mensal relativos ao uso de 30 kWh para sistemas monofásicos, 50 kWh para sistemas bifásicos e 100 kWh para sistemas trifásicos. Para os consumidores de alta tensão (grupo A), o custo obrigatório é a demanda contratada. Neste caso, clientes do grupo A contratam a tensão que precisam receber da concessionária e mesmo que o sistema de distribuição instalado gere uma quantidade de energia superior à energia consumida pelas cargas, deve-se pagar a demanda contratada (ANEEL, 2010).

2.7 Geração Distribuída no Brasil

Com o aumento da facilidade de adquirir sistemas que geram a própria energia elétrica na última década, surgiu o interesse em conectar a geração diretamente à rede de distribuição pública. Ao ato de conectar a própria geração com a rede da concessionária, dá-se o nome de geração distribuída, embutida ou ainda dispersa. O termo “embutida” vem do conceito da geração embutida na rede de distribuição, enquanto que os termos “distribuída” e “dispersa” são usados para distinguir da geração centralizada. Os três termos podem ser utilizados como sinônimos (Jenkins et al., 2000).

No Brasil, para a ANEEL, segundo os Procedimentos de Distribuição (PRODIST), geração distribuída é a geração de energia elétrica, de qualquer potência, conectada diretamente ao sistema elétrico de distribuição ou através de instalações de consumidores (ANEEL, 2008).

Conforme as regras estabelecidas pela Resolução ANEEL nº 482/2012, modificada pelas Resoluções Normativas ANEEL nº 687/2015 e nº 786/2017, o consumidor tem o direito de instalar geradores (fotovoltaicos, eólicos, hídricos, de biomassa e de cogeração qualificada) de pequeno porte em suas unidades consumidoras e utilizar as redes elétricas da Copel para injetar o excedente de energia, que será convertido em crédito de energia válido por 60 meses, como estabelecido pelo art. 7º da REN – 482/2012 (ANEEL, 2016).

Os créditos gerados poderão ser utilizados para abater o consumo de energia da própria unidade geradora nos meses subsequentes ou de outras unidades consumidoras. Para consumir os créditos em outra unidade, é necessário que a propriedade esteja previamente cadastrada para esse fim e que seja atendida pela mesma distribuidora de energia. Além disso, é exigido que ambas as faturas de energia, tanto do local gerador quanto do local que vai receber, tenham a mesma titularidade, ou seja, estejam cadastradas no mesmo CPF (cadastro da pessoa física) ou no mesmo CNPJ (cadastro de pessoa jurídica) junto ao Ministério da Fazenda (ANEEL, 2017).

2.7.1 Tributação no Paraná

Tributos, de acordo com Copel (2018a), são pagamentos compulsórios, regidos por lei, que asseguram recursos para que o governo desenvolva suas atividades. A energia elétrica gerada por qualquer tipo de sistema distribuído pode ou não sofrer a aplicação de impostos de competência Federal e Estadual.

A fatura do consumidor paranaense é composta pelas seguintes cobranças: tarifa de energia (TE), tarifa de uso do sistema de distribuição (TUSD) e impostos incidentes, como o ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços), PIS (Programa de Integração Social) e COFINS (Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social).

Segundo a Copel (2018b), entende-se por tarifa de energia (TE) a cobrança que é realizada devido ao serviço de geração de energia, envolvendo:

- Contratos de compra de energia;
- Custos da geração de energia;
- Perdas técnicas.

A da tarifa de uso do sistema de distribuição (TUSD) é definida pela Copel (2018a) como sendo a tarifa destinada ao pagamento pelo uso do sistema de distribuição e envolve:

- Custo relativo ao pagamento da TUST rede básica;
- Custo relativo ao pagamento da TUST fronteira;
- Custo com conexão às instalações da Rede Básica;
- Custo com uso da rede de distribuição de outras concessionárias;
- Perdas elétricas na Rede Básica (técnicas e não técnicas);
- Encargos do Serviço do Sistema – ESS;
- Programa de incentivo às Fontes Alternativas – PROINFA;
- Taxa de fiscalização dos Serviços de energia elétrica – TFSEE;
- Pesquisa e Desenvolvimento – P & D e Eficiência Energética;
- Contribuição para o Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS.

O ICMS é um tributo de competência estadual aplicável à energia elétrica. As condições de incidência do ICMS sobre a energia elétrica produzida por mini e micro geradores são estabelecidas no Convênio ICMS 16 publicado em 22 de abril de 2015 pelo Conselho Nacional de Políticas Fazendárias (CONFAZ) (ANEEL, 2016).

O CONFAZ, através do Ajuste SINIEF 2, revogou o Convênio que orientava a tributação da energia injetada na rede. A partir desse momento, cada estado passou a decidir se tributa ou não gerações distribuídas. Atualmente, o Paraná é o único estado no Brasil a cobrar o ICMS na geração de energia elétrica através da energia solar (ANEEL, 2016).

A Assembleia Legislativa do Estado do Paraná, através da Lei Estadual nº 19.595/2018, isentou o ICMS incidente sobre a energia elétrica fornecida pela distribuidora à unidade consumidora (TE), entretanto ainda cobra ICMS da energia em relação a TUSD, visto que, mesmo gerando a própria energia, o proprietário do sistema fotovoltaico ainda utiliza a rede pública de distribuição. Dessa forma, toda energia produzida e injetada na rede será tributada em 14 % do valor da tarifa energética.

Para exemplificar, toma-se como exemplo um consumidor residencial (não baixa renda) trifásico que em um determinado mês injetou na rede pública 300 kWh através do sistema fotovoltaico. O proprietário do sistema tem 300 kWh para abater nos próximos meses. Por ter injetando energia na rede, o proprietário terá que pagar ICMS no que corresponde a 300 kWh injetados na rede pública. Supondo ainda que as cargas da casa consumiram o resto da energia gerada antes de ser injetada na rede, neste caso, não se aplica cobrança de ICMS sobre a energia consumida no ato (ou seja, energia que está sendo gerada e consumida no mesmo momento). Caso no mês seguinte haja a necessidade da residência de consumir 300 kWh da concessionária, o proprietário poderá resgatar os créditos gerados pelo sistema no mês anterior sem cobranças adicionais.

Supondo que foi consumida mais energia do que o sistema gerou no mês e que não há créditos de geração a serem resgatados, a concessionária suprirá o déficit, vendendo a energia elétrica para o consumidor pelo mesmo preço que venderia para uma edificação sem sistema de geração distribuída.

2.7.2 Tarifação no Paraná e em Maringá

No Paraná, a Copel divide os seus consumidores em dois grupos, A e B. O grupo A é constituído por unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual

ou superior a 2,3 kV ou atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária, e subdivide-se nos seguintes subgrupos (COPEL, 2018b):

- a) A1 – tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV;
- b) A2 – tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV;
- c) A3 – tensão de fornecimento de 69 kV;
- d) A3a – tensão de fornecimento de 30 kV a 44 kV;
- e) A4 – tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV; e
- f) AS – tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição.

O grupo B é composto por consumidores com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV e possui as seguintes subdivisões:

- a) B1 - Residencial;
- b) B1- Residencial Baixa Renda;
- c) B2 - Rural;
- d) B2 - Cooperativa de utilização rural;
- e) B2 - Serviço público de irrigação;
- f) B3 - Demais classes;
- g) B4 - Iluminação Pública.

Para determinar a relação R\$/kWh do subgrupo B1 - Residencial, a Copel (2018b) utiliza a seguinte equação:

$$\text{Valor cobrado do Consumidor} = \frac{TUSD+TE}{1-(ICMS+PIS+COFINS)} \quad (17)$$

Em que TUSD é a tarifa de uso do sistema de distribuição, TE é a tarifa de energia, e ICMS, PIS e COFINS são os impostos incidentes. O valor da tarifa energética (R\$/kWh) pode variar mês a mês de acordo com os reajustes do PIS/COFINS realizado pelo governo federal. Os valores em relação à TE e TUSD mudam anualmente em junho, de acordo com as normativas da ANEEL.

A Tabela 2 apresenta os acréscimos e decréscimos no preço do kWh que foram realizados no Paraná desde 2009.

Tabela 2: Reajustes da tarifa energética residencial nos últimos 11 anos no Paraná.

Portaria/ Resolução	Vigência	Reajuste médio
Resolução 2559/2019	24/06/2019	3,41 %
Resolução 2402/2018	24/06/2018	15,99 %
Resolução 2255/2017	24/06/2017	5,85 %
Resolução 2214/2017	01/05/2017	-1,17
Resolução 2096/2016	24/06/2016	-12,87 %
Resolução 1897/2015	24/06/2015	15,32 %
Resolução 1858/2015	02/03/2015	36,79 %
Resolução 1763/2014	24/06/2014	24,86 %
Resolução 1565/2013	24/06/2013	9,55 %
Resolução 1431/2013	24/01/2013	-19,28 %
Resolução 1296/2012	24/06/2012	-0,65 %
Resolução 1158/2011	24/06/2011	2,99 %
Resolução 1015/2010	24/06/2010	2,46 %
Resolução 839/2009	23/06/2009	5,00 %

Fonte: Adaptado de Copel 2018b.

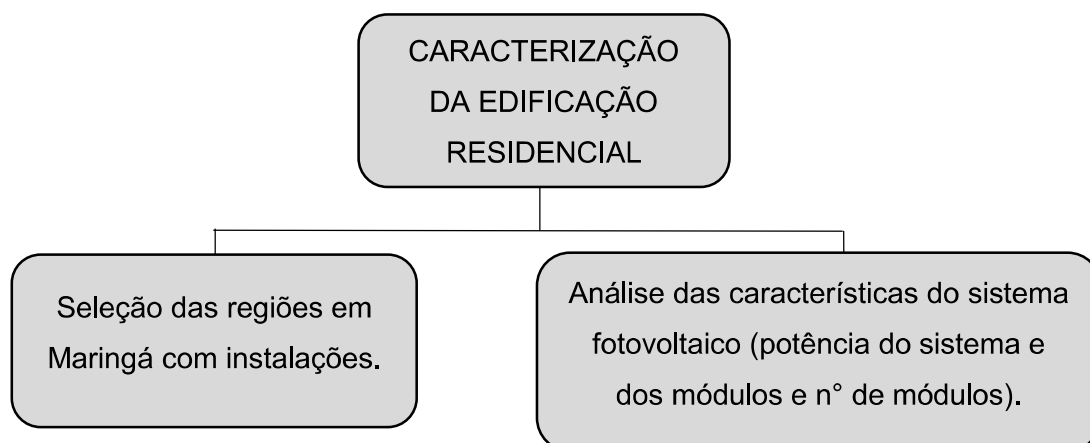
O Anexo A traz os valores de PIS/COFINS que foram utilizados pela Companhia de energia do Paraná como base de cálculo da tarifa energética desde 2015, e o Anexo B exhibe todos os reajustes da tarifa energética residencial no Paraná desde 2005.

3. METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho (estudo da economia financeira ao longo de um ano para cada residência, estimativa de quantos quilos de CO₂ deixaram de ser emitidos no mesmo período, benefícios ambientais, e, por fim, estimativa da radiação líquida em Maringá), incluindo a coleta de dados de geração de energia elétrica por residência.

Após o estudo de temas relevantes para a elaboração desta dissertação, expostos no capítulo 2, algumas etapas foram cumpridas, conforme apresentado nas Figuras 29 e 30.

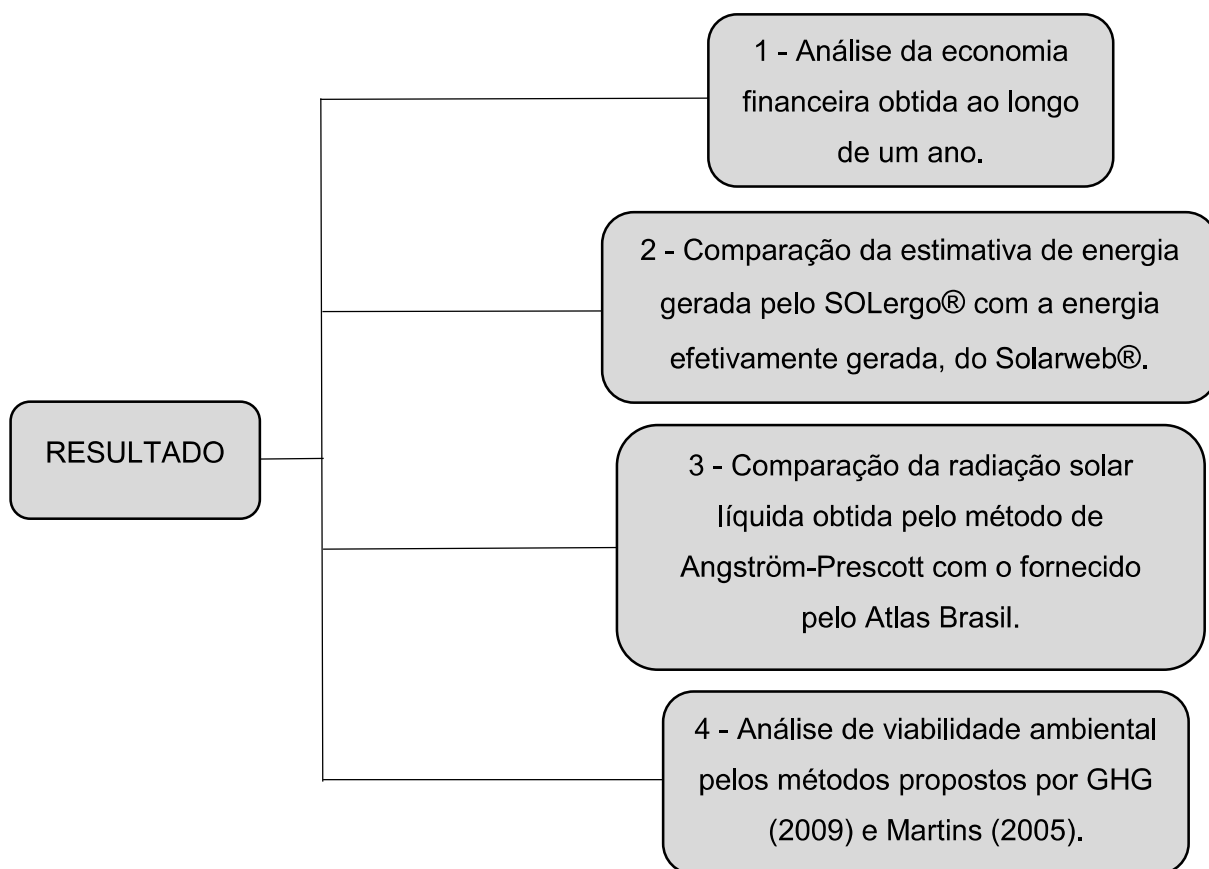
Figura 29: Fluxograma para a escolha das edificações com instalações.



Fonte: Autoria própria.

Foram escolhidos cinco sistemas instalados em regiões diferentes de Maringá, com o intuito de pegar uma área abrangente do município. Além disso, os dois primeiros sistemas escolhidos possuem a mesma potência e foram instalados no mesmo mês e ano. Os dois sistemas subsequentes escolhidos também possuem a mesma potência e também foram instalados no mesmo mês e ano. Por fim, o último sistema foi o último a ser instalado e é o maior gerador entre os cinco.

Figura 30: Fluxograma da análise de resultados.



Fonte: Autoria própria.

Dada a flexibilidade e a praticidade de instalação de plantas solares fotovoltaicas autônomas, surge a necessidade de desenvolver estudos sobre a viabilidade técnica e econômica da tecnologia a ser aplicada em edificações residenciais. Os resultados encontrados nesse trabalho mostram a viabilidade do sistema em Maringá, Paraná.

3.1 Considerações Gerais

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram escolhidas cinco residências localizadas em bairros distintos de Maringá, cujas características do sistema fotovoltaico fossem iguais ou semelhantes. Ainda, todos os sistemas estudados foram dimensionados e executados pela mesma empresa, utilizando as mesmas marcas de módulos, inversores, estrutura de fixação, fiação e proteção. Por fim, os cinco

sistemas foram dimensionados para abater o consumo de energia médio anual (ou seja, não foram planejados para gerarem créditos excedentes).

Os dados coletados abrangem o período de um ano para contemplar as quatro estações. Para o estudo da economia financeira, visto que não foi possível ter acesso a quantidade de créditos gerados por mês por sistema, foi considerado que as residências estudadas consumiram 100 % da energia gerada durante o mês.

A geração de energia elétrica em um sistema fotovoltaico depende das características dos módulos (eficiência e coeficiente de temperatura), do posicionamento do painel (orientação e inclinação) das características dos inversores (eficiência) e do nível anual da radiação no local (kWh/m^2)

Outro fator que pode influenciar na geração de energia elétrica é a ocorrência de sombreamentos nos painéis, visto que pode comprometer a geração, reduzindo assim o desempenho do sistema.

3.2 Softwares Utilizados

Ao longo do desenvolvimento desse trabalho, foram utilizados dois *softwares*, Solarweb® e o Solergo®. O primeiro é uma interface conectada ao inversor solar e foi utilizado na coleta de dados deste trabalho. Todos os dados de geração de energia do sistema fotovoltaico são direcionados para esta plataforma, em que o proprietário do sistema consegue acompanhar o funcionamento dos módulos e a geração de energia elétrica através de planilhas e gráficos pelo computador ou aplicativo no celular. O inversor, por meio de conexão *wifi* ou via cabo *ethernet*, se conecta ao Solarweb®, disponibilizando os dados de geração em tempo real.

O Solergo® é um software de dimensionamento de projetos de sistemas fotovoltaicos e fornece uma estimativa de geração de energia elétrica do sistema a ser instalado. Este software reúne dados da radiação solar no Brasil dos últimos 25 anos. Seu banco de dados se baseia no ATLAS BRASILEIRO, com dados emitidos pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

O objetivo da comparação entre a estimativa de geração de energia fornecida pelo Solergo® e da real geração fornecida pelo Solarweb® é a validação do banco de dados do Solergo®.

3.3 Caracterização das Edificações

As Tabelas 3 a 7 trazem as características pertinentes de cada uma das instalações fotovoltaicas abordadas no trabalho. A partir de agora, será atribuída a cada sistema/residência uma letra do alfabeto. Dessa forma, tem-se os sistemas A, B, C, D e E.

Tabela 3: Características do sistema A.

Residência A	
Potência do sistema	4,62 kWp
N° de módulos	14
Potência dos módulos	330 W
Orientação dos módulos	Noroeste
Latitude	-23°-57'-41"
Longitude	-51°-57'-41"
Bairro de Maringá	Zona 5
Data de instalação	Jan/2018
Coleta de dados	Fev/2018 a Jan/2019
Preço de venda	R\$ 27.500,00

Fonte: Autoria própria.

Tabela 4: Características do sistema B.

Residência B	
Potência do sistema	4,62 kWp
N° de módulos	14
Potência dos módulos	330 W
Orientação dos módulos	Leste
Latitude	-23°-57'-29"
Longitude	-51°-57'-19"
Bairro de Maringá	Zona 4
Data de instalação	Jan/2018
Coleta de dados	Fev/2018 a Jan/2019
Preço de venda	R\$ 26.690,00

Fonte: Autoria própria.

Observe-se que os sistemas A e B possuem as mesmas especificações técnicas, ou seja, mesma quantidade de módulos solares e mesma potência. Entretanto, foram instalados com orientações diferentes (noroeste e leste, respectivamente). O mesmo ocorre para os sistemas C e D, com especificações técnicas iguais, porém instalados em orientações diferentes.

Tabela 5: Características do sistema C.

Residência C	
Potência do sistema	3,12 kWp
N° de módulos	12
Potência dos módulos	260 W
Orientação dos módulos	Oeste
Latitude	-23°-57'-41"
Longitude	-51°-57'-41"
Bairro de Maringá	Jardim Universo
Data de instalação	Ago/2016
Coleta de dados	Jan/2018 a Dez/2018
Preço de venda	R\$ 29.000,00

Fonte: Autoria própria.

Tabela 6: Características do sistema D.

Residência D	
Potência do sistema	3,12 kWp
N° de módulos	12
Potência dos módulos	260 W
Orientação dos módulos	Leste/Oeste
Latitude	-23°-4'-48"
Longitude	-52°-28'-12"
Bairro de Maringá	Jardim Itália II
Data de instalação	Ago/2016
Coleta de dados	Jan/2018 a Dez/2018
Preço de venda	R\$ 27.000,00

Fonte: Autoria própria.

Tabela 7: Características do sistema E.

Residência E	
Potência do sistema	8,58kWp
Nº de módulos	26
Potência dos módulos	330 W
Orientação dos módulos	Leste/Oeste
Latitude	-23°-4'-55"
Longitude	-52°-58'-47"
Bairro de Maringá	Zona 1
Data de instalação	Fev/2018
Coleta de dados	Mar/2018 a Fev/2019
Preço de venda	R\$ 44.960,00

Fonte: Autoria própria.

Os módulos dos cinco sistemas são de Silício policristalinos com vida útil estimada pelo fabricante de mais de 25 anos e degradação do produto devido ao envelhecimento de 0,8 % ao ano.

Outro fator importante para atentar-se é que os módulos dos sistemas C e D são de 260 W. Dessa forma, espera-se que a produção por placa nesse sistema seja menor que a produção por placa nas outras residências.

Em relação à potência do sistema, esse aspecto pode ser definido como sendo o produto entre o número de módulos e a potência deles, expressa na Equação (18):

$$PS = NM * PM \quad (18)$$

Sendo *PS* a potência do sistema (W); *NM* é o número de módulos do sistema; e *PM* representa a potência dos módulos (W).

Por fim, o preço do sistema varia com o preço de importação dos produtos, variando com a cotação do dólar na época em que a compra foi efetivada. Além disso, outro fator que pode encarecer a compra é o método de pagamento acordado entre o cliente e a empresa, podendo ou não haver juros.

3.4 Dados de Geração de Energia Elétrica

Os dados de geração de energia elétrica de cada um dos cinco sistemas estudados estão presentes nas Tabelas do Apêndice A, e foram coletados através do *Solarweb*. Esta plataforma armazena os dados de geração diária dos sistemas de geração distribuída que possuem um inversor de energia da marca FRONIUS.

3.5 Determinação do Preço do kWh/mês

Para calcular o valor do kWh/mês no ano de análise, foi utilizada a Equação (16) apresentada no Capítulo 2.7.2. Foram consideradas diferentes alíquotas de tributos: Alíquota do ICMS aplicado: 29 %; Alíquota média do PIS aplicado: 0,89 % (referência junho/18); Alíquota média do COFINS aplicado: 4,11 % (referência junho/18).

O valor do kWh estabelecido pela Resolução ANEEL, nº 2.402, de 19 de junho de 2018, para um consumidor classificado como residencial é de R\$ 0,21933 referente à TUSD e de R\$ 0,28819 referente à TE, o que resulta em R\$ 0,50752 por kWh. O valor a ser cobrado do consumidor é dado pela Equação (19) (COPEL, 2018b).

$$\text{Valor cobrado do Consumidor} = \frac{0,50752}{1 - \frac{29 + 0,89 + 4,11}{100}}$$

$$\text{Valor cobrado do Consumidor} = 0,76897 \text{ R\$/kWh} \quad (19)$$

O valor apresentado na Equação (19) é a quantia cobrada pela Copel por kWh consumido da concessionária e corresponde ao ajuste tarifário realizado em 19 de junho de 2018. Este valor é aplicado apenas às faturas de energia correspondente ao grupo B1 caracterizado pela Copel, ou seja, residências que se encontram no centro urbano e que não fazem parte do grupo de baixa renda.

Para o estudo da economia financeira proporcionado pelo sistema ao longo de um ano, levou-se em consideração o preço de venda da energia ao consumidor final em cada mês. Dessa forma, aplicando o método utilizado pela Copel, foi possível elaborar a Tabela 8, contendo a relação R\$/kWh por mês no Paraná.

Tabela 8: R\$/kWh nos meses de análise.

	TUSD (R\$)	TE (R\$)	PIS (%)	COFINS (%)	R\$/kWh
jan/18	0,19124	0,24932	1,49	6,84	0,7030
fev/18	0,19124	0,24932	1,16	5,34	0,6830
mar/18	0,19124	0,24932	0,89	4,11	0,6675
abr/18	0,19124	0,24932	0,89	4,11	0,6675
mai/18	0,19124	0,24932	0,89	4,11	0,6675
jun/18	0,21933	0,28819	0,89	4,11	0,7690
jul/18	0,21933	0,28819	0,89	4,11	0,7690
ago/18	0,21933	0,28819	0,98	4,52	0,7748
set/18	0,21933	0,28819	1,15	5,31	0,7864
out/18	0,21933	0,28819	1,65	7,6	0,8219
nov/18	0,21933	0,28819	1,65	7,6	0,8219
dez/18	0,21933	0,28819	1,65	7,6	0,8219
jan/19	0,21933	0,28819	1,43	6,57	0,8056
fev/19	0,21933	0,28819	1,25	5,75	0,7930

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 8 ainda explicita os valores cobrados pelo uso da TE e TUSD, além dos impostos cobrados na tarifa final. Entre maio de 2018 e junho de 2018, nota-se um aumento de aproximadamente 15 % no valor da TUSD e de 16 % no valor da TE.

3.6 Determinação da Economia Financeira

A economia financeira proporcionada pelo sistema corresponde ao valor monetário economizado mensalmente por não comprar energia da concessionária. Sendo assim, para exemplificar, considere-se o mês de janeiro/2019 do sistema A, por meio do qual foram gerados 626,14 kWh. Se essa quantidade de energia fosse fornecida pela Copel ao preço de 0,8056 (Tabela 10), o valor gasto seria de R\$ 504,41. Este método foi reproduzido para todos os meses em todos os sistemas.

3.7 Determinação dos Benefícios Ambientais

Os benefícios ambientais proporcionados pelo sistema fotovoltaico residencial estudados nesse trabalho estão ligados à quantidade de CO₂ que deixou de ser

eliminado para a atmosfera e à quantidade de árvores que teriam que ser plantadas para fazer a fixação desse GEE.

3.7.1 Quantidade de CO₂ Poupado

Utilizando o procedimento exposto no Capítulo 2.2.1, é possível estimar a quantidade de CO₂ que deixou de ser emitido para a atmosfera pela utilização de energia elétrica proveniente do sistema fotovoltaico.

3.7.2 Número de Árvores Para a Fixação do CO₂

O número de árvores que deveriam ser plantadas para realizar a fixação do CO₂ que seria emitido caso a energia elétrica utilizada fosse proveniente da Copel pode ser estimado fazendo uso da Equação (20), exposta no Capítulo 2.2.2.

Dessa forma:

$$Ff = \frac{7 \cdot (0,5)^{\frac{44}{12}}}{1667} \cdot 20 = 0,154 \quad (20)$$

Azevedo e Quintino (2010) esclarecem que a neutralização do que é emitido em um ano é realizada em um período de aproximadamente 20 anos, visto que as árvores vão captar o carbono durante seu ciclo de crescimento.

3.8 Determinação da Radiação Solar

Utilizando as equações apresentadas no Capítulo 2.3.1.1, através do método de Angström-PreScott, foi possível calcular a declinação solar, o ângulo de nascer do sol, o fotoperíodo, o fator de correção da distância Terra-Sol e a irradiância solar diária em Maringá. O método fornece a radiação em um dia específico do mês. Por tanto, para calcular a radiação média mensal, é necessário calcular a irradiação para todos os dias do mês e realizar a média.

Os dados expostos na Tabela 9 são referentes a radiação de apenas um dia de cada mês do ano. O Apêndice F contempla os dados e a irradiação solar dos 365 dias do ano para Maringá. Esses dados são necessários para o cálculo da radiação

média mensal em Maringá, para ser comparada com os dados oficiais de radiação média mensal de Maringá e do Paraná.

Tabela 9: Método de Angström-Prescott aplicado em Maringá.

	DM	Θ (°)	HSM (h)	δ (°)	Hn (°)	N(h)	(d/D) ²	Q ₀ (WJ/m ² dia)
jan	30	-23	6	-17,83	97,85	13,05	1,03	42,02
fev	45	-23	6	-13,36	95,79	12,77	1,02	40,42
mar	75	-23	6	-2,35	91,00	12,13	1,01	35,87
abr	105	-23	6	9,19	86,06	11,47	0,99	30,43
mai	135	-23	5	18,60	81,79	10,91	0,98	25,67
jun	165	-23	5	23,26	79,49	10,60	0,97	23,25
jul	195	-23	6	21,58	80,33	10,71	0,97	24,05
ago	225	-23	6	14,17	83,85	11,18	0,98	27,72
set	255	-23	5	3,33	88,59	11,81	0,99	32,90
out	285	-23	5	-8,28	93,54	12,47	1,01	37,96
nov	315	-23	6	-17,96	97,91	13,05	1,02	41,71
dez	345	-23	6	-23,10	100,43	13,39	1,03	43,57

Fonte: Autoria própria.

Os valores da radiação solar para a cidade de Maringá, encontrados através do método proposto por Angström-Prescott, serão comparados com os valores de radiação divulgados pela Copel, para Maringá, e pelo atlas Brasil, para o estado do Paraná.

Para a determinação da radiação solar nas cidades do Paraná, a Copel, em parceria com a Simepar, fez-se uso dos dados de radiação solar registrados em estações meteorológicas entre os anos de 2006 e 2016. As medições foram feitas em 100 estações em diferentes pontos do Estado: 43 do Simepar, 33 do Instituto Agrônomo do Paraná e 24 do Instituto Nacional de Meteorologia (BARBIERI et al., 2019).

Os métodos de medição utilizam distâncias e ponderações, que posteriormente são utilizadas em conjunto com os dados observados nas estações, resultando no valor estimado para um determinado ponto geográfico. Entre os equipamentos de medição utilizados, destacam-se: radiômetro, heliógrafo, actinógrafo, piranômetro fotovoltaico e piranômetro termoelétrico (BARBIERI et al., 2019).

O atlas Brasil utilizou os valores da radiação solar global diária, médias mensais e anual das localidades que constam na base de dados e foram locados em mapas nacionais. As localidades com medidas realizadas através de piranômetros foram

diferenciadas das localidades com medidas feitas com actinógrafos bimetálicos. Os valores procedentes de estimativas (cálculos) feitas com diversos modelos, foram deixados de lado e excepcionalmente foram utilizados no caso de existir alguma dúvida durante o processo de compilação dos dados (ATLAS BRASIL,2017).

Entre os critérios adotados pelo Atlas Brasil (2017) para compor a sua metodologia, pode-se citar:

- Considerou-se que os erros associados às medidas feitas com piranômetros estão entre 3 % e 5 %, e as feitas com actinógrafos bimetálicos estão entre 10 e 15 %. No geral, foram priorizadas as informações obtidas com o piranômetro.
- Em regiões aproximadamente homogêneas (admitindo-se isotropia) extrapolaram-se as medidas diárias, médias mensais, provenientes de medições piranométricas até aproximadamente 200 Km sem incorrer em um erro maior que 10 %, com um nível de confiabilidade de 90 %.
- Foram levados em consideração valores médios da radiação solar obtidos em países limítrofes.

Espera-se que os resultados encontrados com o método de Angström-Prescott sejam semelhantes aos resultados encontrados pelo método utilizado pela Copel. Além disso, quanto mais próximos esses dados de radiação solar estiverem da média paranaense divulgada pelo Atlas Brasil, maior a vantagem de realizar uma instalação fotovoltaica na região, visto que quanto maior a radiação solar, mais produtivo e viável se torna o sistema (ATLAS BRASIL, 2017).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados apresentados neste capítulo são baseados nas tabelas de geração de energia elétrica mensal apresentadas na seção anterior, bem como em todos os procedimentos discutidos neste trabalho.

4.1 Dados de Geração de Energia Elétrica

A Tabela 10 apresenta os dados de geração de energia elétrica mensais dos 5 sistemas fotovoltaicos. As Tabelas com os dados de gerações diárias se encontram no Apêndice A. Os dados foram coletados através do Solarweb®, software conectado diretamente ao inversor via rede *wifi* ou cabeamento *ethernet*.

Tabela 10: Geração de energia elétrica (kWh) mensal dos sistemas A, B, C, D e E.
Fonte: Autoria própria.

Meses	Sistema A (kWh)	Sistema B (kWh)	Sistema C (kWh)	Sistema D (kWh)	Sistema E (kWh)
Janeiro	626,14	709,25	390,18	371,01	1233,71
Fevereiro	531,09	569,37	356,26	351,39	988,90
Março	584,93	582,92	352,18	350,14	1086,30
Abril	713,15	622,57	359,81	357,9	1324,42
Mai	674,84	536,08	299,87	293,87	1253,27
Junho	432,03	346,64	190,03	184,32	802,34
Julho	698,17	525,37	279,04	273,45	1296,60
Agosto	621,96	528,88	295,52	289,61	1155,07
Setembro	589,45	547,23	314,55	312,01	1094,69
Outubro	535,67	561,04	326,67	318,10	994,82
Novembro	558,41	636,99	376,88	363,35	1037,05
Dezembro	629,23	746,40	435,21	421,82	1168,57
Total	7195,07	6912,74	3976,20	3886,25	13435,74

Fonte: Autoria própria.

4.2 Viabilidade Econômica

As Tabelas 11 a 15 trazem a economia mensal de cada sistema, levando em consideração o preço do kWh referente do mês proposto pela Copel.

Tabela 11: Economia financeira referente ao sistema A.

Mês	Geração (kWh)	Preço kWh (R\$)	Economia (R\$)
jan/19	626,14	0,80559	504,41
fev/18	531,09	0,68304	362,76
mar/18	584,93	0,66752	390,45
abr/18	713,15	0,66752	476,04
mai/18	674,84	0,66752	450,47
jun/18	432,03	0,76897	332,22
jul/18	698,17	0,76897	536,87
ago/18	621,96	0,77484	481,92
set/18	589,45	0,78637	463,52
out/18	535,67	0,82189	440,26
nov/18	558,41	0,82189	458,95
dez/18	629,23	0,82189	517,16
Total	7.195,07	-	5.415,03

Fonte: Autoria própria.

Tabela 12: Economia financeira referente ao sistema B.

Mês	Geração (kWh)	Preço kWh (R\$)	Economia (R\$)
jan/19	709,25	0,80559	571,36
fev/19	569,37	0,79300	451,51
mar/18	582,92	0,66752	389,11
abr/18	622,57	0,66752	415,57
mai/18	536,08	0,66752	357,84
jun/18	346,64	0,76897	266,56
jul/18	525,37	0,76897	403,99
ago/18	528,88	0,77484	409,80
set/18	547,23	0,78637	430,32
out/18	561,04	0,82189	461,12
nov/18	636,99	0,82189	523,54
dez/18	746,4	0,82189	613,46
Total	6.912,74	-	5.294,18

Fonte: Autoria própria.

Tabela 13: Economia financeira referente ao sistema C.

Mês	Geração (kWh)	Preço kWh (R\$)	Economia (R\$)
jan/18	390,18	0,70298	274,29
fev/18	356,26	0,68304	243,34
mar/18	352,18	0,66752	235,09
abr/18	359,81	0,66752	240,18
mai/18	299,87	0,66752	200,17
jun/18	190,03	0,76897	146,13
jul/18	279,04	0,76897	214,57
ago/18	295,52	0,77484	228,98
set/18	314,55	0,78637	247,35
out/18	326,67	0,82189	268,49
nov/18	376,88	0,82189	309,76
dez/18	435,21	0,82189	357,70
Total	3.976,20	-	2.966,03

Fonte: Autoria própria.

Tabela 14: Economia financeira referente ao sistema D.

Mês	Geração (kWh)	Preço kWh (R\$)	Economia (R\$)
jan/18	371,01	0,70298	260,81
fev/18	351,39	0,68304	240,01
mar/18	352,18	0,66752	235,09
abr/18	359,81	0,66752	240,18
mai/18	299,87	0,66752	200,17
jun/18	190,03	0,76897	146,13
jul/18	279,04	0,76897	214,57
ago/18	295,52	0,77484	228,98
set/18	312,01	0,78637	245,35
out/18	318,1	0,82189	261,44
nov/18	363,35	0,82189	298,64
dez/18	421,82	0,82189	346,69
Total	3.914,13	-	2.918,07

Fonte: Autoria própria.

Tabela 15: Economia financeira referente ao sistema E.

Mês	Geração (kWh)	Preço kWh (R\$)	Economia (R\$)
jan/19	1233,71	0,80559	993,86
fev/19	988,90	0,79300	784,20
mar/18	1086,30	0,66752	725,12
abr/18	1324,42	0,66752	884,07
mai/18	1253,27	0,66752	836,58
jun/18	802,34	0,76897	616,98
jul/18	1296,60	0,76897	997,05
ago/18	1155,07	0,77484	894,99
set/18	1094,69	0,78637	860,83
out/18	994,82	0,82189	817,63
nov/18	1037,05	0,82189	852,34
dez/18	1168,57	0,82189	960,44
Total	12.236,50	-	10.224,09

Fonte: Autoria própria.

A economia oferecida pelo sistema no ano de estudo, explicitado nas Tabelas 11, 12, 13, 14 e 15, está relacionada com a quantidade de energia que o consumidor deixou de comprar da concessionária. Observa-se que quanto maior a potência do sistema fotovoltaico, maior será energia elétrica produzida, e, conseqüentemente, maior será a economia ofertada pelo sistema. Ainda, quanto maior o valor da tarifa energética cobrada pela concessionária, maior será a economia proporcionada pela produção da própria energia.

O sistema E, sendo a maior instalação estudada, é o que apresenta a maior economia financeira. Os sistemas C e D são os sistemas mais antigos analisados neste trabalho, instalados entre outubro e agosto de 2016. Por possuírem equipamentos mais defasados e menor geração de energia, o retorno monetário é menor.

4.3 Viabilidade Ambiental

A Tabela 16 traz a quantidade de CO₂ poupado por cada sistema, ao passo que a Tabela 17 relaciona a quantidade de árvores que seriam necessárias para fazer a fixação desses GEE.

Tabela 16: CO₂ poupado pelos sistemas estudados.

CO ₂ poupado (tCO ₂ /ano)									
Mês	Sistema A	Mês	Sistema B	Mês	Sistema C	Mês	Sistema D	Mês	Sistema E
jan/19	0,0401	jan/19	0,0454	jan/18	0,0249	jan/18	0,0237	jan/19	0,0790
fev/18	0,0323	fev/19	0,0346	fev/18	0,0216	fev/18	0,0213	fev/19	0,0601
mar/18	0,0371	mar/18	0,0370	mar/18	0,0223	mar/18	0,0223	mar/18	0,0690
abr/18	0,0373	abr/18	0,0326	abr/18	0,0188	abr/18	0,0188	abr/18	0,0693
mai/18	0,0410	mai/18	0,0325	mai/18	0,0182	mai/18	0,0182	mai/18	0,0761
jun/18	0,0395	jun/18	0,0317	jun/18	0,0173	jun/18	0,0173	jun/18	0,0734
jul/18	0,0751	jul/18	0,0565	jul/18	0,0300	jul/18	0,0300	jul/18	0,1395
ago/18	0,0735	ago/18	0,0625	ago/18	0,0349	ago/18	0,0349	ago/18	0,1364
set/18	0,0697	set/18	0,0647	set/18	0,0371	set/18	0,0368	set/18	0,1294
out/18	0,0430	out/18	0,0450	out/18	0,0262	out/18	0,0255	out/18	0,0798
nov/18	0,0204	nov/18	0,0233	nov/18	0,0137	nov/18	0,0133	nov/18	0,0380
dez/18	0,0216	dez/18	0,0256	dez/18	0,0149	dez/18	0,0144	dez/18	0,0401
Total	0,5305	Total	0,4914	Total	0,2804	Total	0,2770	Total	0,9900

Fonte: Autoria própria.

Tabela 17: Número de árvores necessárias para realizar a fixação do CO₂.

Sistema	n° árvores
Sistema A	4,13
Sistema B	3,83
Sistema C	2,19
Sistema D	2,16
Sistema E	7,71
Total	20,02

Fonte: Autoria própria.

Utilizando a energia elétrica produzida através de um sistema não poluente, há uma economia na quantidade de CO₂ liberado para a atmosfera. Quanto maior o número de residências utilizando energia elétrica proveniente de sistema fotovoltaico, menor será a quantidade de energia que terá que ser produzida pelo sistema integrado de energia elétrica do Paraná, constituído majoritariamente por hidroelétricas.

Observa-se na Tabela 16 que quanto maior o sistema fotovoltaico, maior será a quantidade de CO₂ poupado. Como demonstrado na Tabela 17, seriam necessárias praticamente 20 árvores para realizar a fixação do CO₂ que seria liberado para a atmosfera, caso a energia elétrica consumida ao longo de um ano pelas cinco residências fosse proveniente de hidroelétricas.

4.4 Comparação da Geração Estimada com a Geração Real

As Tabelas 18 a 22 trazem a comparação entre geração estimada, fornecida pelo *software* Solergo® durante o pré-projeto realizado, com a geração real, adquirida através do Solarweb®.

Tabela 18: Comparação da estimativa de geração com a geração real do sistema A.

Mês	Geração estimada (kWh) - Solergo®	Geração real (kWh) - Solarweb®
jan/19	589,80	626,14
fev/18	468,10	531,09
mar/18	543,70	584,93
abr/18	617,50	713,15
mai/18	499,00	674,84
jun/18	460,20	432,03
jul/18	425,70	698,17
ago/18	539,50	621,96
set/18	538,60	589,45
out/18	610,50	535,67
nov/18	557,10	558,41
dez/18	581,10	629,23
Total	6430,80	7195,07

Fonte: Autoria própria.

Tabela 19: Comparação da estimativa de geração com a geração real do sistema B.

Mês	Geração estimada (kWh) - Solergo®	Geração real (kWh) - Solarweb®
jan/19	751,80	709,25
fev/19	547,20	569,37
mar/18	595,70	582,92
abr/18	588,30	622,57
mai/18	437,60	536,08
jun/18	378,40	346,64
jul/18	368,00	525,37
ago/18	501,20	528,88
set/18	560,00	547,23
out/18	705,80	561,04
nov/18	700,80	636,99
dez/18	754,30	746,4
Total	6889,10	6912,74

Fonte: Autoria própria.

Tabela 20: Comparação da estimativa de geração com a geração real do sistema C.

Mês	Geração estimada (kWh) - Solergo®	Geração real (kWh) - Solarweb®
jan/18	488,10	390,18
fev/18	368,20	356,26
mar/18	388,20	352,18
abr/18	383,80	359,81
mai/18	285,70	299,87
jun/18	247,40	190,03
jul/18	240,40	279,04
ago/18	327,00	295,52
set/18	365,30	314,55
out/18	459,30	326,67
nov/18	455,10	376,88
dez/18	489,50	435,21
Total	4498,00	3976,20

Fonte: Autoria própria.

Tabela 21: Comparação da estimativa de geração com a geração real do sistema D.

Mês	Geração estimada (kWh) - Solergo®	Geração real (kWh) - Solarweb®
jan/18	490,80	371,01
fev/18	371,20	351,39
mar/18	391,00	352,18
abr/18	386,50	359,81
mai/18	287,80	299,87
jun/18	249,10	190,03
jul/18	242,10	279,04
ago/18	329,60	295,52
set/18	367,90	312,01
out/18	463,20	318,1
nov/18	458,80	363,35
dez/18	490,30	421,82
Total	4528,30	3914,13

Fonte: Autoria própria.

Tabela 22: Comparação da estimativa de geração com a geração real do sistema E.

Mês	Geração estimada (kWh) - Solergo®	Geração real (kWh) - Solarweb®
jan/19	1332,40	1233,71
fev/19	970,10	988,90
mar/18	1057,80	1086,30
abr/18	1046,20	1324,42
mai/18	779,40	1253,27
jun/18	675,00	802,34
jul/18	655,80	1296,60
ago/18	892,50	1155,07
set/18	995,60	1094,69
out/18	1253,00	994,82
nov/18	1242,20	1037,05
dez/18	1336,50	1168,57
Total	12236,50	13435,74

Fonte: Autoria própria.

A estimativa de geração fornecida pelo Solergo® depende de como o engenheiro responsável executa o projeto no software. Quanto maior o nível de detalhamento e de informações fornecidas, mais correta será a estimativa obtida. A estimativa de geração com maior assertividade foi a do sistema B, com 99 % de assertividade da geração estimada. O sistema E teve uma assertividade de 91 % e o sistema A, de aproximadamente 90 %.

4.5 Comparação da Irradiação Solar de Angström-Prescott com Atlas Brasil

A radiação solar é a base de funcionamento do sistema fotovoltaico. O objetivo de comparar a irradiação solar da região de Maringá, calculada por métodos matemáticos, com a irradiação solar aferida com equipamentos eletrônicos e com a irradiação solar do estado do Paraná, também aferida por equipamentos tecnológicos é de averiguar a veracidade do método e se Maringá é uma boa cidade para a instalação de sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica.

Através do método proposto por Angström-Prescott, foi possível calcular a irradiação solar média mensal líquida em Maringá. A Copel fornece os dados de

irradiação por cidade, e o Atlas Brasil fornece a média geral de irradiação no estado do Paraná. Os resultados encontrados estão expostos na Tabela 23.

Tabela 23: Comparação da irradiação mensal líquida de Angström-Prescott para Maringá com dados oficiais da Copel e do Atlas Brasil.

Mês	Irradiação média em Maringá - Angström-Prescott (Wh/m ² d)	Irradiação média em Maringá – Copel (Wh/m ² d)	Irradiação média no Paraná - Atlas Brasil (Wh/m ² d)
jan/18	5688,21	5800	5880
fev/18	5428,76	5500	5800
mar/18	4948,13	5200	5200
abr/18	4314,77	4500	4550
mai/18	3415,35	3600	3640
jun/18	3149,23	3200	3360
jul/18	3577,69	3500	3530
ago/18	4056,00	4300	4440
set/18	4283,70	4700	4690
out/18	4802,03	5300	5330
nov/18	5589,98	5900	5980
dez/18	5739,27	5900	6340

Fonte: Autoria própria.

Como explanado no Capítulo 2, a radiação solar é a força motriz que faz o sistema fotovoltaico funcionar. Quanto maior a radiação incidente na região de instalação, mais energia elétrica o sistema produzirá.

De acordo com a Tabela 23, outubro foi o mês em que a radiação média calculada para Maringá mais se afastou da média dos dados oficiais, tanto da Copel quanto do Atlas Brasil, ficando cerca de 10 % abaixo do valor médio, para ambos os casos. Ainda, a radiação média calculada para julho foi o único valor do ano que ultrapassou o valor médio de irradiação fornecida para Maringá e para o estado do Paraná, ficando aproximadamente de 1,3 % acima da média.

É possível comparar os dados de irradiação solar maringaense com dados de Curitiba e Sertãoópolis. A primeira cidade, capital paranaense, localizada no leste do Estado, é conhecida por ter dias nublados na maior parte do ano. A segunda cidade, Sertãoópolis, encontra-se no norte paranaense. Nessa região, o verão é longo, quente e abafado e o inverno é curto e de céu quase sem nuvens. A Tabela 24 apresenta os dados de radiação solar em Curitiba, em Sertãoópolis e em Maringá.

Tabela 24: Irradiação média de Curitiba e Sertanópolis, dados oficiais da Copel.

Mês	Irradiação média em Curitiba – Copel (Wh/m ² d)	Irradiação média em Sertanópolis – Copel (Wh/m ² d)	Irradiação média em Maringá – Copel (Wh/m ² d)
Jan	5300	5800	5800
Fev	5000	5600	5500
Mar	4600	5200	5200
Abr	4000	4600	4500
Mai	3100	3700	3600
Jun	2800	3300	3200
Jul	3000	3600	3500
Ago	3700	4300	4300
Set	4000	4700	4700
Out	4500	5400	5300
Nov	5200	6000	5900
Dez	5300	6000	5900

Fonte: Autoria própria.

Como observado na Tabela 24, em todos os meses, a radiação média de Curitiba é menor que a radiação média de Maringá. Além disso, em 8 meses do ano, a radiação média de Sertanópolis é superior à de Maringá.

O Paraná é um estado amplo. Observa-se que quanto mais ao norte do estado, mais próximo da linha do Equador e maior a irradiação solar, ao passo que, quanto mais ao sul, mais próximo do litoral e da zona subtropical, é menor a incidência de radiação solar.

4.6 Discussão

Neste tópico será realizada a análise dos resultados obtidos através das metodologias propostas. A Tabela 25 compila algumas características inerentes de cada sistema, e dados relevantes à discussão dos resultados apresentados, tais como os dados de economia financeira de cada sistema e os benefícios ambientais proporcionados pelas instalações fotovoltaicas.

Tabela 25: Compilação dos resultados encontrados.

Sistema	Ano de instalação	Potência (kWp)	Preço de venda (R\$)	Geração anual (kWh)	Economia anual (R\$)	CO2 poupado (tCO2/ano)	N° árvores
Sistema A	2018	4,62	27.500,00	7.195,07	5.415,03	0,5305	4,13
Sistema B	2018	4,62	26.690,00	6.912,74	5.294,12	0,4914	3,83
Sistema C	2016	3,12	29.000,00	3.976,20	2.966,03	0,2804	2,19
Sistema D	2016	3,12	27.000,00	3.914,13	2.918,07	0,2770	2,16
Sistema E	2018	8,58	44.960,00	13.435,74	10.224,09	0,9900	7,71
Total	-	-	-	35.433,88	26.817,41	2,57	20,02

Fonte: Autoria própria.

A diferença de preço de venda para sistemas de mesma potência decorre de diversos fatores analisados pela empresa. O preço de venda do sistema varia com todas as despesas da obra que a empresa prestadora de serviços terá com o cliente (mão de obra, engenheiros responsáveis, técnicos eletricitas e material elétrico), e também há o preço de fornecimento dos componentes do sistema fotovoltaico (módulos solares, inversores, equipamentos de fixação para telhado e equipamentos de proteção). Além de todos esses agravantes, que podem variar de residência para residência, deve-se levar em consideração que todos os equipamentos do sistema fotovoltaico são importados e variam com a cotação do dólar.

Para sistemas de mesma potência (A e B, C e D), a geração anual de energia elétrica varia com fatores externos, como posicionamento dos módulos (orientação do telhado – norte, leste ou oeste), sombreamento (árvores, construções ao redor que sombreiam em algum horário do dia, etc) e eventuais sujeiras e poeiras nos módulos, que diminuem a eficiência de captação da radiação solar.

A economia anual proporcionada pelo sistema no ano de estudo varia com a quantidade de energia produzida e o preço do kWh instaurado pela concessionária. O sistema E proporcionou um retorno de aproximadamente 22,7 % do investimento no primeiro ano, sendo o sistema mais rentável analisado. O segundo mais rentável foi o sistema B, com 19,8 % de retorno no primeiro ano de instalação. O sistema A apresentou um retorno de aproximadamente 19,7 %, e os sistemas C e D de 10,2 % e 10,8 %, respectivamente.

Como observado na Tabela 2, o estado tem sofrido reajustes na tarifa energética, encarecendo o valor do kWh, pelo menos uma vez por ano nos últimos anos. Ainda, na mesma tabela, nota-se que nos últimos 10 anos, todos os reajustes

entraram em vigência no dia 24 de julho de cada ano. Por tanto, o esperado é que os reajustes e acréscimos na tarifa energética continuem. Dessa forma, com o aumento da tarifa energética anual e considerando a mesma média de geração de energia elétrica mensal, os sistemas A, B e E devem ter um retorno do investimento de aproximadamente 5 anos.

Atribui-se ao fato de que os sistemas C e D foram os menos rentáveis e de menor retorno ao investimento no ano apresentado devido ao alto preço de venda desses sistemas, bem como à baixa potência de instalação, fazendo com que a energia gerada seja menor. Além disso, os módulos utilizados nesses dois casos são de 260 W (tecnologia disponível no ano de instalação, 2016), ao passo que os módulos dos outros sistemas são de 330 W. A tecnologia mais defasada, o sistema mais caro e a menor produção de energia elétrica são os principais fatores que influenciaram no baixo retorno desse investimento.

Os benefícios ambientais proporcionados pelo sistema fotovoltaico e quantificados neste trabalho estão relacionados com a quantidade de CO₂ que deixaram de ser emitidos para a atmosfera, visto que as residências com sistemas solares não estão mais consumindo energia elétrica proveniente de fontes poluentes, e com o número de árvores adultas que deveriam ser plantadas para fazer a fixação desse GEE.

Ao longo do ano de estudo, os cinco sistemas analisados neste trabalho teriam emitidos cerca de 2,6 toneladas de CO₂ caso a energia elétrica consumida fosse fornecida por hidroelétricas. Dessa forma, quanto maior o número de instalações de sistemas solares fotovoltaicos, menos energia elétrica terá que ser fornecida pelas concessionárias, diminuindo a demanda de produção nas usinas elétricas (hidroelétricas, termoelétricas etc), diminuindo a emissão de gases do efeito estufa. Ainda, caso as 2,6 toneladas de CO₂ fossem emitidas para a atmosfera, seriam necessárias cerca de 20 árvores em estágio adulto para realizar a fixação desse gás.

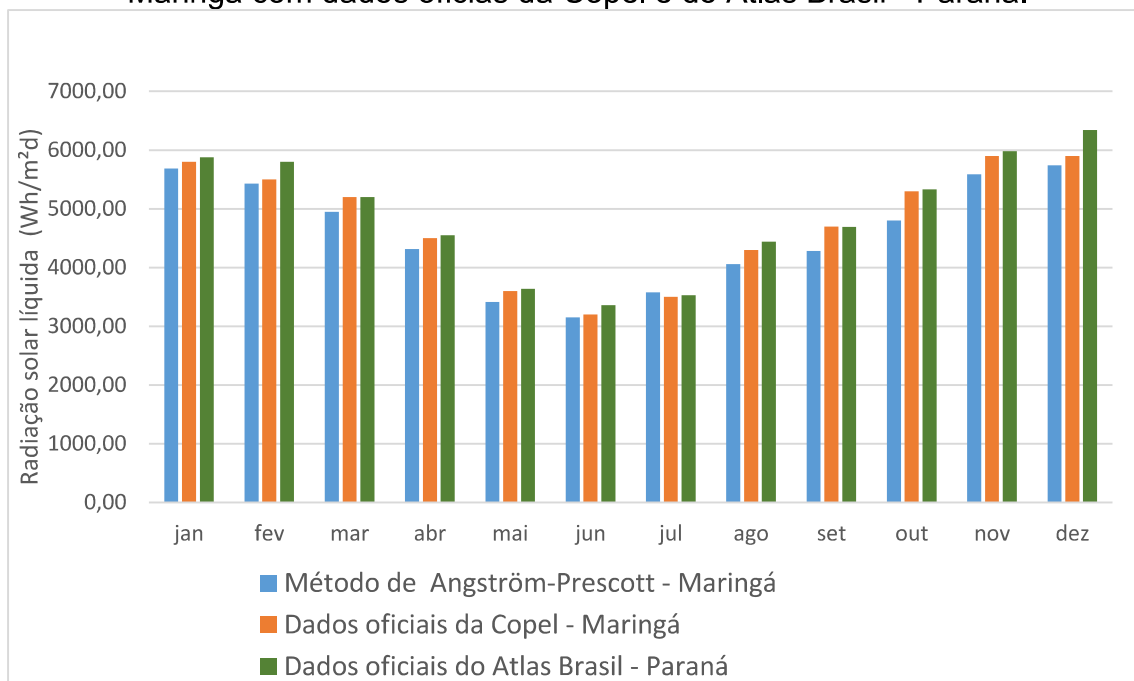
Ao utilizar o *Solergo*® para estimar a energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico em uma determinada residência, deve-se fazer o *input* de várias informações e variáveis, como coordenadas geográficas, distribuição dos módulos solares no telhado, tipo de conexão que será realizada, eventuais sombreamentos por árvores, prédios, caixas d'água, etc. De acordo com nível de detalhamento das

informações, o programa pode fornecer uma estimativa de geração maior ou menor que a real. O esperado é que a estimativa seja a mais próxima possível da real.

A Comparação da estimativa de energia gerada pelo Solergo® com a energia efetivamente gerada, obtida através do Solarweb®, mostra a viabilidade do uso do programa na estratégia de venda da empresa. A estimativa dos sistemas A, B e E ficou abaixo da produção real de energia elétrica. Entretanto, estes valores são bem próximos dos valores reais. A assertividade do sistema B foi de 99,65 %, sendo o melhor resultado dentre os casos analisados. A segunda estimativa mais próxima da geração real é do sistema E, com aproximadamente 91 %. Em seguida, tem-se o sistema A, com 89 %. As estimativas dos sistemas C e D ficaram entre 13 % e 16 % maiores que a geração real, respectivamente. No caso em que a simulação fornece um valor de geração de energia elétrica superior à geração real, é porque houve erros na utilização do *software*, ou faltou detalhamento das informações de *input*, como possíveis sombreamentos ao redor, que ocasionam na redução da captação de radiação solar pelos módulos fotovoltaicos.

Quando se trata de irradiação solar, Maringá está bem localizada. A Figura 31 traz a irradiação média calculada por Angström-Prescott, bem como os dados oficiais divulgados pela Copel e pelo Atlas Brasil.

Figura 31: Comparação da irradiação mensal líquida de Angström-Prescott para Maringá com dados oficiais da Copel e do Atlas Brasil - Paraná.

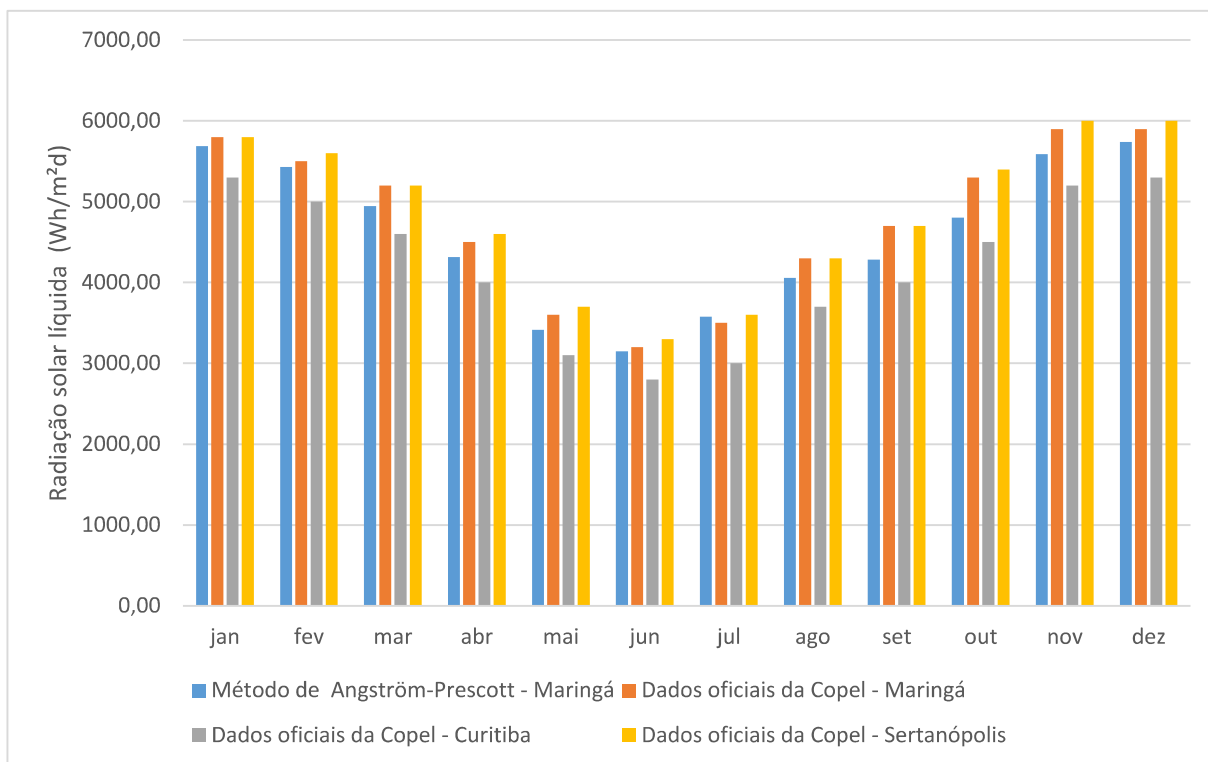


Fonte: Autoria própria.

Durante os meses de novembro, dezembro e janeiro, época de verão, observa-se na Figura 31, valores altos de irradiação solar, período de maior incidência de radiação sobre o estado. Os níveis mínimos de irradiação solar para Maringá ocorrem em junho, ao passo que os níveis máximos ocorrem em janeiro. Relacionando com as estações do ano, os meses de invernos no hemisfério sul são caracterizados por dias nublados, enquanto os verões, por dias de céu claro.

A Figura 32 compara as irradiações solares de Maringá com as irradiações incidentes em Curitiba e Sertanópolis.

Figura 32: Comparação da irradiação mensal líquida de Maringá com Curitiba e Sertanópolis.



Fonte: Autoria própria.

Sabe-se que as regiões leste, sul e parte dos Campos Gerais, onde encontra-se Curitiba, sofrem influência da umidade do oceano Atlântico, transportada pelos ventos do litoral. Portanto, essas regiões são caracterizadas por nebulosidade em grande parte dos dias do ano. Sendo assim, a radiação incidente nessa área tende a ser menor que a radiação incidente no norte do estado, onde localizam-se Maringá e Sertanópolis.

Observando a Figura 32, Maringá possui uma incidência de radiação solar mais semelhante à Sertanópolis do que à de Curitiba.. Quanto mais ao sul do estado e do país, menor será a incidência de radiação solar.

Por fim, os dados calculados se aproximam bastante dos dados gerados pela Copel. A divergência dos valores pode ser atribuída aos coeficientes utilizados na equação de Angström-Prescott (Equação (5)). Neste trabalho foram utilizados valores padrões médios, e não coeficientes específicos para a região de Maringá. Para uma maior exatidão, deve-se calcular os coeficientes de Angström-Prescott.

É possível calcular os coeficientes através de dados aferidos por estações meteorológicas. Para isto, são necessários os valores de radiação solar global, obtidas por um actinógrafo, e o total de horas de brilho solar diário incidente na superfície da Terra (n), obtido por heliógrafo. Quanto maior o período de anos para o qual se obtenha essas informações, maior a precisão dos coeficientes obtidos.

Comparando os dados obtidos pela equação de Angström-Prescott com a média de radiação solar paranaense, verifica-se que Maringá não está tão longe da média. Sabe-se que a radiação incidente na superfície terrestre varia, entre outros fatores, com a latitude. Maringá está localizada em uma latitude de aproximadamente $-23,421^\circ$, sendo atravessada pelo trópico de Capricórnio. Dessa forma, está dentro da zona intertropical. Este é um espaço geográfico em que a incidência solar é maior que nas zonas subtropicais. Tais fatores geográficos tornam Maringá uma cidade propícia para instalações fotovoltaicas.

5. CONCLUSÕES

A inserção de fontes renováveis de energia na matriz energética mundial se faz cada vez mais necessária, tendo em vista o aumento crescente da demanda de energia e as preocupações de caráter ambiental. Neste sentido, a energia solar fotovoltaica torna-se uma importante fonte de alternativa de geração de energia elétrica, por ser originária de uma fonte praticamente inesgotável, que é o Sol. Além disso, é gerada de forma distribuída, ou seja, próxima ao ponto de consumo e permite a instalação de sistemas de potência baixa ou alta, não gerando ruídos durante a geração e ainda não requerendo áreas extras para instalação dos painéis e possibilitando sua integração às edificações na área urbana.

O dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede deve considerar a localidade, orientação e consumo médio de energia elétrica de uma edificação para que as potencialidades do Sol sejam melhor exploradas. Assim, os diferentes níveis de irradiação registrados nas diversas regiões brasileiras são fatores determinantes para um correto dimensionamento. Para cada localidade, o sistema fotovoltaico terá um desempenho proporcional ao nível de radiação registrado. Considerando o mesmo consumo médio mensal de energia elétrica, nas cidades com menores níveis de irradiação, a potência de pico para gerar esta quantidade de energia deverá ser maior, e nas cidades onde os níveis são mais elevados, as potências dos sistemas serão menores.

Considerando o alto custo e a dificuldade da construção de novas usinas elétricas no Brasil, além da escassez de energia devido ao constante aumento da demanda energética, as tarifas elétricas tendem a sofrer elevações acima da inflação, afetando de forma significativa o preço da energia elétrica para o consumidor final.

Os sistemas fotovoltaicos apresentam uma série de benefícios, como demonstrado ao longo do trabalho. Entretanto, os custos para a instalação podem ser um pouco altos para realidade brasileira, principalmente devido à falta de um mercado expressivo no país.

A inserção de kits fotovoltaicos no meio urbano contribui com a diminuição da demanda energética das cidades. Os tipos de cobertura utilizadas nas residências de Maringá, por mais variadas que sejam, apresentaram área suficiente e em boa localização para instalação dos sistemas. Em instalações fotovoltaicas, os módulos

devem ser preferencialmente posicionados orientados para o norte. Contudo, por fatores externos (como falta de espaço, sombreamento e orientação do telhado para outra direção), os módulos, em Maringá, podem ser posicionados para o leste ou oeste sem grandes perdas de eficiência.

O Paraná é um estado vasto, com diferentes características climáticas em cada região. Geograficamente, quanto mais ao sul do estado e mais perto do litoral, menores são as temperaturas durante o ano. Precipitações ocorrem com mais frequência e dias de céu nublado são mais comuns. Por outro lado, quanto mais ao norte, onde se localiza Maringá, melhores são as condições climáticas para instalações fotovoltaicas, visto que o verão é mais longo, o inverno é mais curto, e as precipitações e dias nublados ocorrem com menos frequência. Sendo assim, os níveis de radiação solar líquida na cidade de Maringá se mostraram extremamente satisfatórios e suficientes para o funcionamento do sistema fotovoltaico, proporcionando um bom rendimento e geração de energia elétrica.

A análise econômica mostrou que, em condições adequadas, ou seja, quando o sistema é adquirido por um valor não muito elevado e quando a tarifa energética é crescente, a energia solar é um investimento viável e interessante na região.

Em relação ao *software* Solergo®, as análises realizadas mostraram que, quando utilizado corretamente, a geração estimada pode ser bem próxima da geração real, sendo uma ferramenta importante como argumento de venda para a empresa prestadora de serviços.

Por fim, o sistema fotovoltaico também pode ser uma alternativa para a redução do CO₂ que é liberado para a atmosfera. Como visto, quanto maior o número de instalações fotovoltaicas, menos energia será consumida da concessionária, e menos energia terá que ser gerada para abastecer os centros urbanos, reduzindo os danos ambientais causados pelas hidroelétricas, termoelétricas etc.

Como sugestão para trabalhos futuros, seria interessante fazer os cálculos dos coeficientes da equação de Angström-Prescott e analisar se, com esses novos coeficientes, a radiação média calculada para Maringá se aproxima mais da radiação solar fornecida pelos centros meteorológicos.

Além disso, neste trabalho foi considerado que as residências estudadas consomem 100 % da energia gerada durante o mês, sem acumular créditos para meses futuros ou para abater o consumo em outras residências. Como alternativa, é

possível realizar um estudo mais detalhado, em contato com o proprietário do sistema, para saber qual a porcentagem da energia gerada durante um ano foi de fato consumida e quantos kWh se tornaram créditos para abater o consumo em meses subsequentes. Dessa forma, o tempo de retorno do investimento mudará.

Também é possível estudar a quantidade de CO₂ liberado durante a extração do silício e fabricação dos módulos solares, para comparar com a economia gerada e concluir se realmente é viável ambientalmente ou não.

Outra sugestão é estender o período de estudo, passando de um ano para 5, com o intuito de analisar a tarifa energética e o tempo de retorno.

REFERÊNCIAS

ABIKO, A.K., Abukater, J., Baldacci, E., Bessa, V. M. T., Gonçalves, O. M., Hachich, V., Lamberts, R., Pereira, E. M. D., Prado, R. T. A., Trani, E., Triana, M. A. 2010. **Eficiência Energética e Habitação de Interesse Social no Estado de São Paulo**. São Paulo, Brasil, p.24.

ABSOLAR. **Plano de desenvolvimento de energia solar e capacidade de instalação no Brasil**. 2018. Disponível em: <<http://absolar.org.br/noticia/noticias-externas/energia-solar-no-brasil-deve-atingir-24-gw-de-capacidade-instalada-este-ano.html>>. Acesso em 07 de Agosto de 2018

AMARAL, R. C.: **Impactos técnicos e econômicos da energia solar fotovoltaica em prédios públicos através da geração distribuída**. 2016. 179f. Dissertação – Mestrado em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

ANEEL. **Crescimento de energia solar no Brasil**. Disponível em: <https://energy.bio.br/blog/crescimento-energia-solar-no-brasil/>. Acesso em 07 de Agosto de 2018.

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Resolução ANEEL N°414, 09 de setembro de 2010.

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Resolução ANEEL N°482, 17 de abril de 2017.

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Resolução ANEEL N°2.125, 23 de agosto de 2016.

ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2002. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf> Acesso em 03 de Fevereiro de 2019. p-5.

ANGSTRÖM, A. **The parameters of atmospheric turbidity**. Tellus, Stockhom, v.16, n. 1, p. 64-75, 1964.

ATLAS BRASIL – **Atlas Brasileiro de Energia Solar**: 2017. Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2° ed São Paulo, 2017.

ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL: **Banco de dados solarimétricos**/ coordenador Chiguer Tiba. Et, al: Ed, Universitária da UFPE. Recife, 2000, Disponível em:<
http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf>. Acesso em 07 de Agosto de 2018.

AZEVEDO, M. F. C. de; QUININO, I. **Um programa de compensação ambiental que neutraliza emissões de carbono através de projetos socioambientais de plantio**

de mudas nativas. Rio de Janeiro, 2010. Acesso em 17 de Fevereiro de 2019, Disponível em: <<http://ambientalcompany.com.br/arquivos/ManualT{~A}-PegadaVerde>>.

BARBIERI, Gláucia M. L. et al. **ATLAS SOLARIMÉTRICO DO ESTADO DO PARANÁ.** Curitiba: Simepar, 2019. 24 p. Disponível em: <<https://solar.copel.com/solar/atlas-solarimetrico-copel.pdf> e <https://solar.copel.com/solar/#>>. Acesso em: 22 maio 2019.

BECHARA, F. C. **Unidades demonstrativas de restauração ecológica através de técnicas nucleadoras: Floresta Estacional Semidecidual, Cerrado e Restinga.** Tese (doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2006).

BEN – **Balço energético nacional. Balço energético Nacional: Ano base 2017.** Disponível em: http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018_int.pdf> Acesso em 03 de Fevereiro de 2019.

BELÚCIO, L. P.; SILVA, A. P. N.; SOUZA, L. R.; MOURA, G. B. A; **Radiação solar global estimada a partir da insolação para Macapá (AP).** Revista Brasileira de Meteorologia, v.29, n.4, 494 - 504, 2013.

BEXAIRA, K. P; STRECK, N. A.; CERA, J. C.; PRESTES, S. D.; **Coeficientes de Angström-Prescott para Estimar a Radiação Solar no Rio Grande do Sul.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 33, n. 3, 401-411, 2018

BORTOLOTO, V. A.; SOUZA, A.; GOES, G.; MARTINS, M. A.; BERGHE, M. J.; MONTANHA, G. K. – **Geração de energia solar On Grid e Off Grid.** 2017. 6ª Jornada Científica e Tecnológica da FATEC de Botucatu 23 a 27 de Outubro de 2017, Botucatu – São Paulo.

CARVALHO, R. D.; **Compensação voluntária das emissões de gases de efeito estufa pelo reflorestamento com árvores nativas no parque municipal da lagoa do Peri em Florianópolis – SC.** Trabalho de conclusão de curso. Engenharia sanitária e ambiental – Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

CASARO, M. M.; MARTINS, D. C.; **Processamento eletrônico da energia solar fotovoltaica em sistemas conectados à rede elétrica** – 2010. Revista Controle & Automação/Vol.21 no.2/Março e Abril 2010. Pp 159-171.

CEPEL – Centro de pesquisa de energia elétrica: **Energia solar - princípios e aplicações.** Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>. Acesso em: 15/12/2017.

CRESESB – centro de referência para a energia solar e eólica sérgio de salvo brito. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: Centro de Pesquisas em Energia Elétrica – CEPEL, novembro de 1999.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, CRESESB, 2004.

COPEL– Companhia Paranaense de Energia elétrica – **Alterações tarifárias**. 2018a. Disponível em: <<https://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e%2F04afb43850ca33c503257488005939b7>>. Último acesso em 03 de outubro de 2019.

COPEL– Companhia Paranaense de Energia elétrica – **Especificação técnica para medidor eletrônico bidirecional**. 2019. Disponível em: <[https://www.copel.com/hpcopel/root/pagcopel2.nsf/0/19F31F801B64E37203257C4E003EB572/\\$FILE/ETC%204.15%20Medidor%20eletronico%20BIDIRECIONAL.pdf](https://www.copel.com/hpcopel/root/pagcopel2.nsf/0/19F31F801B64E37203257C4E003EB572/$FILE/ETC%204.15%20Medidor%20eletronico%20BIDIRECIONAL.pdf)>. Último acesso em: 03 de outubro de 2019.

COPEL – Companhia Paranaense de Energia elétrica – **Mapa solar do estado do Paraná**. 2018. Disponível em: <<https://solar.copel.com/solar/#>>. Último acesso em: 03 de outubro de 2019.

COPEL– Companhia Paranaense de Energia elétrica – **Tributos**. 2018b. Disponível em: <<https://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2F3EE1D015FA3F433203257EE6003E128E>>. Último acesso em: 03 de outubro de 2019.

EPE – Empresa de pesquisa energética. **Matriz energética e elétrica 2018**. Disponível em: < <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica> > Acesso em 03 de Fevereiro de 2019.

FALCÃO, A. F. O. **Energia Solar: Movimento e posicionamento relativo Terra-Sol**. Departamento de Engenharia Mecânica – Instituto Superior Técnico. Lisboa/Portugal. 2008. Disponível em: <[https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779572107293/Texto%20Apoio%20Mov.Sol-Terra\(01\).pdf](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779572107293/Texto%20Apoio%20Mov.Sol-Terra(01).pdf)> Acessado em: 15 de fevereiro de 2019

FEARNSIDE, P. M. **A polêmica das hidrelétricas do rio Xingu**. Ciência Hoje, v. 38, n. 225, p. 60-63, 2006.

FLIZIKOWSKI, L. C.; Sanquetta, C. R.; Corte, A. P. D.; Sanquetta M. N. I.; Macedo, J. H. P.; **Proposta de modelo de compensação de emissões de GEEs utilizando plantios florestais**. 2013. Publicado em Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.17; p. 2189, 2013.

FRAIDENRAICH, N.; LYRA, F. **Energia solar: fundamentos e tecnologias de conversão heliotérmica e fotovoltaica**. Ed universitária da UFPE. Recife, 1995.

FRONIUS – **Catálogo de produtos**, 2019. Disponível em: <https://www.fronius.com/pt-br/brasil/energia-solar/produtos>. Último acesso em: 03 de outubro de 2019.

GARCIA, G.; NOGUEIRA, E. F.; BETINI, R. C. **Solar Energy for Residential Use and Its Contribution to the Energy Matrix of the State of Paraná** In: BRAZILIAN ARCHIVES OF BIOLOGY AND TECHNOLOGY. v.61. pp 2-9 (2018).

IPCC. **Good Practice Guidance for land use, Land-use Change and Forestry**. Japão, 2003. Acesso em 17 de fevereiro de 2019. Disponível em: <http://www.ipcc.ch>.

DGS – DIREÇÃO GERAL DE SEGURANÇA. **Energia fotovoltaica: Manual sobre tecnologia, projeto e instalação**. 2004, Janeiro. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf>> Acesso em: 04 de Fevereiro de 2019

JENKINS, N.; ALLAN, R.; CROSSELEY, O.; KIRSCHEN, D.; and STRABAC, G.. **Embedded generation**. London: Institution of Electrical Engineers, 2000.

LAMBERTS, R. et al. **Casa Eficiente: consumo e geração de energia**. Vol. 2. Florianópolis: UFSC, LabEEE. Florianópolis, 2010. 76 p.

LIMA, L. C.; FERREIRA, L. A.; MORAIS, F. H. B. L.; **Performance analysis of a grid connected photovoltaic system in northeastern Brasil**. Energy for sustainable development: 37 (2017).

LORENZO, E; ZILLES, R. **El generador fotovoltaico**. In: LORENZO, Eduardo Org. Electricidad solar: ingenieria de los sistemas fotovoltaicos. Sevilla: Progensa, 1994

MAGNOLI, D.; e SCALZARETTO. R. **Geografia – espaço, cultura e cidadania**. V. 1. São Paulo: Moderna, 1998.

MCTIC - Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações: **Fator Médio e inventários cooperativos**. 2018. Disponível em: https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_cooperativos.html. Acessado em 15 de fevereiro de 2019

MME. Ministério de Minas e Energia. EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético nacional em 2017: ano base 2016. Relatório final**. Rio de Janeiro: EPE 2017a.

ONU - United Nations Organization, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. **World Population Prospects: 2017: The 2017 Revision I**. Disponível em: < https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2017_Volume-I_Comprehensive-Tables.pdf >. Acesso em 07 de Fevereiro de 2020.

Pereira, E. B; Martins, F. R.; Abreu, S. L.; Rütther, R. 2006. **Atlas brasileiro de energia solar**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 60p.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

PERLIN, J. **From space to the earth: the story of solar electricity**: aatec publications. Ann Arbor, 1999.

PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014.

PINTO, L. I. C.; COSTA, M. H.; DINIZ, L. M. F.; SEDIYAMA, G. C.; PRUSKI F. F.; **Comparação de produtos de radiação solar incidente à superfície para a América do Sul (2018)**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.25, n.4, 469 - 478, 2018.

PIEKARSKI, C. M.; FRANCISCO, A. C.; LUZ, L. M.; BASTIANI, J. A. ZOCHE, L. **Aplicação da ACV na matriz elétrica brasileira: Uma análise multi-cenários em termos de mudança climática, qualidade de ecossistema, saúde humana e recursos**. *Espacios*, v. 34, n. 4, p. 1-9, 2013.

PORTAL SOLAR. **Tipos de Painel Solar Fotovoltaico**. 2017. Disponível em <<http://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>> . Acessado em 05/02/2019.

PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – Módulo 3: **acesso ao Sistema de Distribuição** – Seção 3.7: Acesso de micro e minigeração distribuída. Brasília – DF, 2012. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF-/Modulo3/_revisao/_5.pdf>. Último acesso em 04 de fevereiro de 2019.

RIBEIRO, A. L.: **Energia solar fotovoltaica: Viabilidade no segmento residencial**. 2017. p39 Dissertação – Mestrado em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá.

ROCHA, M. A. B. F. **Matriz energética do Estado do Paraná**. Revista FAE, v. 17, n. 2, p. 42-55, 2014.

ROSA, D. J. M. **Caracterização da Radiação Solar: O caso da cidade universitária/USP e da Ilha do Cardoso/Cananéia**. Universidade Estadual de São Paulo, 2003. Disponível em http://www.iee.usp.br/lfs/sites/default/files/Mestrado_Daniel_Jord%C3%A3o.pdf
Acessado em: 15 de fevereiro de 2019

RUTHER, R. **Edificações solares fotovoltaicas: o potencial de geração solar fotovoltaico integrado a edificação urbana e interligado à rede elétrica pública brasileira**. Editora UFSC/LABSOLAR, Florianópolis, 2004. 114p.

Sanquetta, C. R.; Maas, G. C. B.; Sanquetta, M. N. I.; Sanquetta, F. T. I.; Corte, A. P. D.; **Emissões de Dióxido de Carbono Associadas ao Consumo de Energia Elétrica no Paraná no Período 2010-2014**. 2017. Scientific Journal Biofix v.2 n.1 2017.

SOUZA, C.L; RAVENA-CAÑETE, V. **Impactos ambientais e mudanças sociais decorrentes da construção de barragem: O cenário da pesca artesanal no lago da UHE de Tucuruí/PA.** Cadernos de Agroecologia, v. 10, n. 3, p.1-5, 2015.

THOMAS, R.; GRAINER, T. **Photovoltaic in buildings – a design guide: Department of trade and industry.** Londres, 199.

VANEK, F. M.; ALBRIGHT. L.D. **Energy Systems Engineering – Evaluation & Implementation.** Mc Graw Hill. United States of America, 2008.

TORRES, R. C.: **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais.** 2012. 164f. Dissertação – Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade de São Paulo. São Paulo.

TSURUDA, L. K., MENDES, T. A., VITOR, L. R., SILVEIRA, M. B. 2017. **A Importância da Energia Solar Para o Desenvolvimento Sustentável e Social.** 6th International Workshop Advances in Cleaner Production. Goiânia, Goiás, Brasil. Disponível em http://www.advancesincleanerproduction.net/sixth/files/sessoes/6B/1/tsuruda_et_al_report.pdf

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE – UNFCCC. **Protocolo de Kyoto.** 2.ed. Brasília: MCT, 2001.

ZAHEDI, A. **Solar photovoltaic (PV) energy; latest developments in the building integrated and hybrid PV systems.** Renewable Energy. Issue 5, v. 31, p.711-718, 2006.

APENDICE

APENDICE A – Tabelas de geração de energia elétrica (kWh).

Tabela 26: Geração de energia elétrica (kWh) do sistema A.

Dia	jan/19	fev/18	mar/18	abr/18	mai/18	jun/18	jul/18	ago/18	set/18	out/18	nov/18	dez/18
1	23,77	22,50	24,04	10,48	24,68	5,38	22,10	11,87	22,27	25,53	3,71	19,51
2	18,42	20,14	15,61	16,03	23,23	3,30	22,89	20,84	3,18	9,46	19,55	24,30
3	22,92	26,08	21,37	26,96	25,44	4,08	23,25	0,55	8,88	19,50	24,37	19,82
4	19,95	23,24	23,76	27,26	23,08	6,39	24,17	3,23	23,27	21,70	20,23	24,07
5	18,43	26,56	25,88	27,47	19,23	5,85	22,66	3,77	29,71	13,26	24,33	24,39
6	14,02	23,69	24,05	27,70	7,65	9,76	23,09	8,18	29,81	18,28	21,55	24,04
7	15,34	25,97	21,77	25,75	22,95	1,99	21,58	17,43	27,86	25,13	13,03	19,10
8	18,57	23,57	17,30	26,37	25,79	19,45	19,65	4,24	28,08	3,91	23,63	22,65
9	21,55	14,80	18,35	24,84	24,27	13,62	17,46	24,22	26,52	9,56	18,19	25,68
10	14,14	10,63	22,94	25,56	25,58	9,44	27,10	22,22	26,21	4,07	11,78	24,57
11	25,31	12,53	24,08	27,74	10,02	20,19	25,60	28,71	24,82	8,05	21,22	22,84
12	18,81	14,50	20,62	26,88	25,27	3,78	23,16	28,11	25,81	25,77	24,69	23,77
13	23,68	13,29	14,46	23,88	26,63	9,54	19,58	28,51	17,04	15,34	23,18	19,75
14	23,45	20,00	23,29	20,81	25,78	9,10	24,49	27,35	9,56	19,53	10,65	21,55
15	23,66	24,27	18,03	10,46	17,29	10,23	24,42	10,58	18,64	18,16	18,42	17,83
16	18,78	19,86	23,76	16,61	10,27	13,65	23,61	20,04	14,65	18,80	18,87	22,20
17	24,86	15,49	26,27	25,32	23,48	21,82	24,00	26,78	8,04	16,37	23,41	22,93
18	20,98	11,83	24,25	27,21	21,82	12,36	24,46	27,06	18,96	17,86	4,70	18,30
19	22,71	6,32	18,16	27,25	9,72	25,43	24,52	24,87	18,72	19,40	14,19	21,70
20	16,55	12,13	23,60	25,00	26,40	22,81	25,19	25,24	3,59	27,37	23,85	16,46
21	24,06	19,24	15,04	22,89	27,75	23,69	22,86	11,50	25,58	28,05	25,32	20,35
22	21,26	26,90	16,21	26,51	26,90	23,73	20,16	4,76	27,27	25,77	22,48	18,52
23	22,75	25,93	13,99	26,52	24,91	24,43	22,43	24,43	26,83	16,60	4,32	11,45
24	15,14	23,25	10,55	25,28	13,86	23,51	20,68	21,37	26,65	5,45	19,63	14,16
25	16,55	22,08	14,73	23,98	16,81	20,01	23,34	28,93	27,79	6,41	21,39	15,28
26	21,32	19,90	15,81	24,36	22,75	12,90	22,26	29,51	13,90	6,55	21,85	19,58
27	23,31	14,17	15,59	23,92	24,68	11,03	22,49	28,86	7,33	20,97	23,82	18,66
28	13,15	12,22	19,54	20,16	26,81	19,41	17,35	27,62	21,96	27,04	24,10	19,86
29	24,65		13,39	24,98	25,71	21,79	20,79	27,54	23,14	24,31	13,65	20,68
30	24,84		11,48	24,97	21,54	23,36	21,25	27,53	3,38	23,18	18,30	18,25
31	13,21		7,01		24,54		21,58	26,11		14,29		16,98
Total	626,14	531,09	584,93	713,15	674,84	432,03	698,17	621,96	589,45	535,67	558,41	629,23

Fonte: Autoria própria.

Tabela 27 Geração de energia elétrica (kWh) do sistema B.

	jan/19	fev/19	mar/18	abr/18	mai/18	jun/18	jul/18	ago/18	set/18	out/18	nov/18	dez/18
1	28,33	25,02	25,29	9,86	19,59	5,20	16,43	11,50	21,03	23,99	3,99	18,24
2	20,44	26,01	15,44	13,91	19,77	3,42	17,72	17,82	3,61	9,46	19,24	29,06
3	27,88	22,63	21,69	24,04	20,31	4,74	17,73	0,47	9,59	20,50	28,50	24,47
4	23,28	16,84	23,01	24,24	19,85	6,61	17,52	3,64	18,92	21,70	22,12	28,44
5	20,30	16,29	25,20	24,20	17,37	5,60	16,18	4,11	26,28	11,91	25,94	29,48
6	14,08	25,88	23,02	24,79	7,50	9,91	17,24	7,77	26,69	19,52	24,81	29,34
7	15,72	28,22	18,15	22,63	18,93	1,91	15,95	12,46	24,91	24,89	14,91	23,39
8	19,60	25,25	18,56	24,53	20,79	13,76	13,84	4,42	24,98	4,19	28,58	24,76
9	24,52	28,55	18,34	21,97	19,30	12,27	14,80	17,32	23,88	10,61	22,09	31,79
10	14,94	21,67	23,05	23,07	19,82	9,10	19,91	17,11	23,57	4,44	12,92	29,10
11	30,94	20,09	24,06	23,90	9,97	16,09	19,50	23,88	22,51	8,28	26,55	27,47
12	18,62	12,15	21,74	23,84	19,28	3,70	17,96	22,86	23,60	26,26	20,09	29,49
13	27,24	13,93	16,11	19,29	20,49	8,77	15,34	23,13	17,51	15,70	26,53	23,76
14	27,47	22,43	22,20	19,21	19,96	7,83	17,92	22,50	8,84	19,61	13,46	26,38
15	28,19	9,65	19,09	10,90	13,92	9,01	17,90	10,91	16,22	16,94	19,35	19,43
16	20,34	23,04	23,84	16,06	10,00	11,63	17,36	18,02	15,96	20,13	23,63	25,96
17	29,53	22,02	25,90	22,72	19,21	17,28	17,58	22,18	7,25	18,59	25,83	28,46
18	24,16	23,14	23,82	22,84	17,10	10,25	18,14	22,35	15,96	21,01	4,20	20,86
19	24,24	19,22	19,20	23,46	8,83	18,65	18,09	20,88	17,85	21,60	16,59	26,77
20	20,05	23,65	23,59	20,06	19,03	17,33	18,50	20,98	3,70	29,15	29,20	21,53
21	27,27	23,07	13,47	19,00	21,04	17,80	17,28	11,58	24,24	30,19	30,33	24,62
22	25,27	20,78	16,97	22,35	20,04	17,66	14,58	5,08	25,83	28,15	27,20	20,83
23	28,70	25,47	3,40	21,99	18,94	17,70	16,43	20,22	25,45	18,58	4,63	11,73
24	17,22	24,23	23,84	21,69	12,21	17,40	15,32	18,41	25,31	5,63	21,67	15,68
25	16,79	21,48	12,19	20,55	13,46	14,51	17,83	24,51	22,10	6,33	24,91	16,83
26	23,81	5,27	15,29	20,50	17,61	11,06	17,39	25,52	13,42	6,46	25,47	24,29
27	25,86	11,05	14,63	20,40	18,19	9,64	17,64	24,92	7,90	21,04	28,88	22,13
28	17,69	12,34	19,85	18,40	19,77	14,40	14,85	23,76	23,28	30,17	28,97	24,84
29	24,81		14,25	20,63	19,10	16,12	15,86	23,56	23,40	24,49	15,38	23,39
30	28,35		10,51	21,54	16,10	17,29	15,94	23,80	3,44	25,84	21,02	21,96
31	13,61		7,22		18,60		16,64	23,21		15,68		21,92
Total	709,25	569,37	582,92	622,57	536,08	346,64	525,37	528,88	547,23	561,04	636,99	746,4

Fonte: Autoria própria.

Tabela 28: Geração de energia elétrica (kWh) do sistema C.

Dia	jan/18	fev/18	mar/18	abr/18	mai/18	jun/18	jul/18	ago/18	set/18	out/18	nov/18	dez/18
1	10,85	15,22	14,8	7,42	11,48	3,24	8,79	6,40	11,83	14,36	2,10	11,23
2	2,73	13,74	9,56	8,17	11,22	2,13	9,29	9,70	1,84	5,41	12,14	17,22
3	13,66	19,01	13,89	13,45	11,54	2,83	8,89	0,22	5,43	12,04	16,57	13,67
4	20,01	18,05	15,05	14,4	11,25	3,84	9,16	2,00	10,82	12,85	12,37	16,76
5	18,52	18,5	16,07	14,33	9,77	3,23	9,06	2,39	14,78	7,56	15,05	17,54
6	11,14	17,18	14,42	14,47	4,39	5,83	9,05	4,74	14,99	10,75	14,08	17,44
7	17,58	17,78	13,22	13,12	10,53	1,00	8,41	7,77	14,02	14,11	8,75	13,8
8	13,06	15,20	10,93	13,58	11,55	7,69	7,46	2,33	14,19	2,60	16,09	14,67
9	5,09	9,88	12,09	13,39	10,98	6,81	8,07	10,46	13,57	6,38	12,35	18,43
10	9,33	6,98	13,24	13,43	11,23	5,20	10,48	9,54	13,33	2,38	7,23	17,43
11	11,16	8,14	14,51	14,00	5,61	8,79	10,26	12,76	12,71	4,79	16,25	15,99
12	10,02	8,98	13,32	13,55	10,75	1,90	9,50	12,39	13,38	15,25	16,19	16,58
13	9,94	8,31	9,29	12,94	11,33	5,12	8,08	12,43	9,65	8,78	16,13	13,14
14	11,23	14,02	13,75	10,4	11,01	4,58	9,35	12,29	5,51	11,73	7,31	14,97
15	14,99	16,28	11,45	6,52	8,07	5,04	9,31	6,02	9,53	10,88	12,13	12,52
16	10,29	13,45	13,58	9,38	5,79	6,37	9,14	10,38	8,73	11,18	13,45	14,57
17	11,31	10,75	15,65	13,64	10,67	9,39	9,24	12,21	6,87	10,71	15,46	16,50
18	9,11	7,64	14,04	12,78	9,41	5,23	9,60	12,32	10,63	11,64	3,12	11,87
19	11,56	4,30	11,64	13,54	4,96	9,87	9,61	11,84	10,93	12,03	8,51	15,66
20	15,23	8,91	13,54	11,76	10,27	9,44	9,80	11,76	2,01	16,74	16,52	11,72
21	16,99	12,12	8,18	11,53	11,63	9,60	9,36	6,39	13,79	17,40	17,45	14,52
22	10,97	17,70	9,43	12,48	11,2	9,45	8,00	2,80	14,15	16,66	15,82	12,01
23	16,39	15,59	1,89	12,31	10,47	9,49	8,91	11,47	14,61	9,99	2,53	7,43
24	15,04	16,15	14,53	11,32	6,93	9,33	8,23	10,23	14,61	3,19	12,67	9,59
25	15,64	13,62	6,59	11,37	7,51	8,08	9,34	13,76	12,48	4,04	14,77	10,20
26	16,81	12,74	9,19	11,72	9,43	6,01	9,20	14,28	7,55	4,39	15,71	13,90
27	14,07	8,96	9,02	11,11	10,09	5,39	9,45	13,84	4,21	12,75	17,36	13,06
28	13,05	7,06	11,36	10,26	10,78	7,80	8,04	13,21	12,91	17,26	16,9	14,31
29	8,99		7,25	11,78	10,55	8,34	8,46	13,25	13,49	14,39	9,38	14,53
30	7,46		6,32	11,66	9,36	9,01	8,65	13,39	2,00	15,38	12,49	11,58
31	17,96		4,38		10,11		8,85	12,95		9,05		12,10
Total	390,18	356,26	352,18	359,81	299,87	190,03	279,04	295,52	314,55	326,67	376,88	435,21

Fonte: Autoria própria.

Tabela 29: Geração de energia elétrica (kWh) do sistema D.

Dia	jan/18	fev/18	mar/18	abr/18	mai/18	jun/18	jul/18	ago/18	set/18	out/18	nov/18	dez/18
1	9,04	14,64	14,50	7,54	11,25	3,14	8,61	6,27	10,51	14,37	1,91	12,43
2	2,61	13,93	9,40	7,89	11,00	2,07	9,10	9,51	1,55	5,77	13,24	17,55
3	15,37	18,29	13,90	12,95	11,31	2,75	8,71	0,22	5,24	11,4	14,91	14,12
4	18,74	17,68	15,20	14,32	11,03	3,72	8,98	1,96	12,81	12,2	12,04	17,01
5	18,01	18,65	16,33	14,33	9,57	3,13	8,88	2,34	14,93	8,78	15,94	17,75
6	9,69	17,94	14,22	14,47	4,30	5,66	8,87	4,65	14,93	10,09	13,89	17,38
7	16,62	16,60	13,55	13,12	10,32	0,97	8,24	7,61	13,98	13,81	8,95	13,11
8	11,22	13,48	10,43	13,28	11,32	7,46	7,31	2,28	14,11	2,49	14,1	15,58
9	4,95	8,93	12,69	13,19	10,76	6,61	7,91	10,25	13,55	5,55	11,69	18,48
10	9,13	6,45	13,12	13,23	11,01	5,04	10,27	9,35	13,31	2,26	7,49	18,03
11	11,06	7,85	14,51	13,97	5,50	8,53	10,05	12,50	12,74	4,34	16,65	15,11
12	9,96	8,51	13,62	13,42	10,54	1,84	9,31	12,14	13,28	14,59	14,66	16,12
13	8,90	8,60	9,11	13,00	11,10	4,97	7,92	12,18	8,88	8,95	14,97	12,6
14	10,38	13,71	13,35	10,89	10,79	4,44	9,16	12,04	5,90	11,94	6,12	15,09
15	13,53	15,95	11,65	7,21	7,91	4,89	9,12	5,90	9,92	12,04	12,85	11,34
16	10,48	14,39	13,38	8,98	5,67	6,18	8,96	10,17	7,46	9,5	11,76	13,96
17	11,41	10,07	15,25	13,75	10,46	9,11	9,06	11,97	7,06	9,53	15,38	14,72
18	8,82	7,15	14,14	13,42	9,22	5,07	9,41	12,07	11,83	9,74	2,87	10,52
19	10,77	4,35	11,74	13,23	4,86	9,57	9,42	11,60	9,96	11,14	7,76	15,23
20	13,12	8,77	13,34	11,19	10,06	9,16	9,60	11,52	1,94	16,87	15,8	10,13
21	15,90	14,10	8,78	10,98	11,40	9,31	9,17	6,26	13,89	17,55	17,5	12,99
22	11,31	17,16	9,13	12,32	10,98	9,17	7,84	2,74	14,33	15,71	14,84	11,4
23	14,80	15,57	1,19	11,86	10,26	9,21	8,73	11,24	14,62	8,95	2,32	7,32
24	13,75	14,42	14,16	11,55	6,79	9,05	8,07	10,03	14,54	2,67	12,93	8,72
25	13,90	14,87	6,57	11,64	7,36	7,84	9,15	13,48	12,01	4,21	15,29	11,08
26	16,53	13,75	9,18	11,98	9,24	5,83	9,02	13,99	7,64	4,06	14,73	12,16
27	13,71	8,53	9,02	10,56	9,89	5,23	9,26	13,56	4,16	13,84	17,13	12,63
28	13,48	7,05	11,23	10,65	10,56	7,57	7,88	12,95	12,22	17,5	14,78	12,81
29	8,99		7,25	11,45	10,34	8,09	8,29	12,99	12,84	15,65	9,72	14,56
30	7,55		5,32	11,53	9,17	8,74	8,48	13,12	1,87	14,46	11,13	11,79
31	17,28		4,88		9,91		8,67	12,69		8,14		10,1
Total	371,01	351,39	350,139	357,903	293,873	184,329	273,459	289,61	312,01	318,1	363,35	421,82

Fonte: Autoria própria.

Tabela 30: Geração de energia elétrica (kWh) do sistema E.

Dia	jan/19	fev/19	mar/18	abr/18	mai/18	jun/18	jul/18	ago/18	set/18	out/18	nov/18	dez/18
1	48,41	41,81	44,65	19,46	45,83	9,99	41,04	22,04	41,36	47,41	6,89	36,23
2	38,69	45,90	28,99	29,77	43,14	6,13	42,51	38,70	5,91	17,57	36,31	45,13
3	47,12	45,03	39,69	50,07	47,25	7,58	43,18	1,02	16,49	36,21	45,26	36,81
4	38,55	26,20	44,13	50,63	42,86	11,87	44,89	6,00	43,22	40,30	37,57	44,70
5	37,95	30,67	48,06	51,02	35,71	10,86	42,08	7,00	55,18	24,63	45,18	45,30
6	25,99	48,13	44,66	51,44	14,21	18,13	42,88	15,19	55,36	33,95	40,02	44,65
7	31,82	49,67	40,43	47,82	42,62	3,70	40,08	32,37	51,74	46,67	24,20	35,47
8	40,85	46,85	32,13	48,97	47,90	36,12	36,49	7,87	52,15	7,26	43,88	42,06
9	44,12	52,62	34,08	46,13	45,07	25,29	32,43	44,98	49,25	17,75	33,78	47,69
10	26,15	35,32	42,60	47,47	47,51	17,53	50,33	41,27	48,68	7,56	21,88	45,63
11	51,82	34,61	44,72	51,52	18,61	37,50	47,54	53,32	46,09	14,95	39,41	42,42
12	38,96	22,06	38,29	49,92	46,93	7,02	43,01	52,20	47,93	47,86	45,85	44,14
13	48,35	26,06	26,85	44,35	49,46	17,72	36,36	52,95	31,65	28,49	43,05	36,68
14	48,98	36,56	43,25	38,65	47,88	16,90	45,48	50,79	17,75	36,27	19,78	40,02
15	45,36	19,58	33,48	19,43	32,11	19,00	45,35	19,65	34,62	33,73	34,21	33,11
16	37,54	36,88	44,13	30,85	19,07	25,35	43,85	37,22	27,21	34,91	35,04	41,23
17	46,24	31,98	48,79	47,02	43,61	40,52	44,57	49,73	14,93	30,40	43,48	42,58
18	37,23	40,18	45,04	50,53	40,52	22,95	45,43	50,25	35,21	33,17	8,73	33,99
19	40,39	34,07	33,73	50,61	18,05	47,23	45,54	46,19	34,77	36,03	26,35	40,30
20	29,43	44,49	43,83	46,43	49,03	42,36	46,78	46,87	6,67	50,83	44,29	30,57
21	49,02	33,69	27,93	42,51	51,54	44,00	42,45	21,36	47,51	52,09	47,02	37,79
22	41,54	32,17	30,10	49,23	49,96	44,07	37,44	8,84	50,64	47,86	41,75	34,39
23	11,65	40,67	25,98	49,25	46,26	45,37	41,66	45,37	49,83	30,83	8,02	21,26
24	31,12	41,77	19,59	46,95	25,74	43,66	38,41	39,69	49,49	10,12	36,46	26,30
25	43,23	37,27	27,36	44,53	31,22	37,16	43,35	53,73	51,61	11,90	39,72	28,38
26	45,10	9,69	29,36	45,24	42,25	23,96	41,34	54,80	25,81	12,16	40,58	36,36
27	29,73	22,77	28,95	44,42	45,83	20,48	41,77	53,60	13,61	38,94	44,24	34,65
28	50,04	22,20	36,29	37,44	49,79	36,05	32,22	51,29	40,78	50,22	44,76	36,88
29	51,66		24,87	46,39	47,75	40,47	38,61	51,15	42,97	45,15	25,35	38,41
30	45,93		21,32	46,37	40,00	43,38	39,46	51,13	6,28	43,05	33,99	33,89
31	30,74		13,02		45,57		40,08	48,49		26,54		31,53
Total	1233,71	988,90	1086,30	1324,42	1253,27	802,34	1296,60	1155,07	1094,69	994,82	1037,05	1168,57

Fonte: Autoria própria.

APENDICE B - Radiação diária em maringá pelo método de angstrom-prescott

Tabela 31: Radiação diária em Maringá pelo método de angstrom-prescott para Janeiro.

DIA	Latitude (°)	Horas de sol/dia médio (h)	Declinação solar (°)	Ang. do nascer do sol (°)	Foto período (h)	Fator de correção da distância Terra/Sol	Irradiância solar extraterrestre diária (MJ/m ² .dia)	Radiação método Angström-Prescott (Wh/m ² d)
1	-23	6	-22,99	100,37	13,38	1,03	43,64	5747,78
2	-23	6	-22,90	100,33	13,38	1,03	43,62	5746,01
3	-23	6	-22,81	100,28	13,37	1,03	43,59	5744,02
4	-23	6	-22,71	100,23	13,36	1,03	43,56	5741,82
5	-23	6	-22,60	100,18	13,36	1,03	43,54	5739,40
6	-23	6	-22,49	100,12	13,35	1,03	43,50	5736,76
7	-23	6	-22,37	100,06	13,34	1,03	43,47	5733,89
8	-23	6	-22,24	100,00	13,33	1,03	43,43	5730,80
9	-23	6	-22,10	99,93	13,32	1,03	43,39	5727,49
10	-23	6	-21,96	99,86	13,31	1,03	43,35	5723,95
11	-23	6	-21,82	99,78	13,30	1,03	43,31	5720,17
12	-23	6	-21,66	99,71	13,29	1,03	43,26	5716,17
13	-23	6	-21,50	99,63	13,28	1,03	43,21	5711,93
14	-23	6	-21,33	99,54	13,27	1,03	43,16	5707,46
15	-23	6	-21,16	99,46	13,26	1,03	43,11	5702,76
16	-23	6	-20,98	99,37	13,25	1,03	43,05	5697,81
17	-23	6	-20,79	99,27	13,24	1,03	43,00	5692,62
18	-23	6	-20,60	99,18	13,22	1,03	42,93	5687,20
19	-23	6	-20,40	99,08	13,21	1,03	42,87	5681,52
20	-23	6	-20,19	98,98	13,20	1,03	42,81	5675,61
21	-23	6	-19,98	98,88	13,18	1,03	42,74	5669,44
22	-23	6	-19,77	98,77	13,17	1,03	42,67	5663,03
23	-23	6	-19,54	98,67	13,16	1,03	42,60	5656,36
24	-23	6	-19,32	98,56	13,14	1,03	42,52	5649,45
25	-23	6	-19,08	98,44	13,13	1,03	42,44	5642,28
26	-23	6	-18,84	98,33	13,11	1,03	42,37	5634,85
27	-23	6	-18,60	98,21	13,09	1,03	42,28	5627,16
28	-23	6	-18,35	98,09	13,08	1,03	42,20	5619,22
29	-23	6	-18,09	97,97	13,06	1,03	42,11	5611,02
30	-23	6	-17,83	97,85	13,05	1,03	42,02	5602,56
31	-23	6	-17,56	97,72	13,03	1,03	41,93	5593,83
							MÉDIA	5688,21

Fonte: Autoria própria.

Tabela 32: Radiação diária em Maringá pelo método de angstrom-prescott para Fevereiro.

DIA	Latitude (°)	Horas de sol/dia médio (h)	Declinação solar (°)	Ang. do nascer do sol (°)	Foto período (h)	Fator de correção da distância Terra/Sol	Irradiância solar extraterrestre diária (MJ/m ² .dia)	Radiação método Angström-Prescott (Wh/m ² d)
32	-23	6	-17,29	97,59	13,01	1,03	41,84	5584,84
33	-23	6	-17,02	97,46	13,00	1,03	41,74	5575,59
34	-23	6	-16,74	97,33	12,98	1,03	41,64	5566,07
35	-23	6	-16,45	97,20	12,96	1,03	41,54	5556,29
36	-23	6	-16,16	97,07	12,94	1,03	41,44	5546,23
37	-23	6	-15,87	96,93	12,92	1,03	41,34	5535,92
38	-23	6	-15,57	96,79	12,91	1,03	41,23	5525,33
39	-23	6	-15,27	96,65	12,89	1,03	41,12	5514,47
40	-23	6	-14,96	96,51	12,87	1,03	41,01	5503,35
41	-23	6	-14,65	96,37	12,85	1,03	40,89	5491,96
42	-23	6	-14,33	96,23	12,83	1,02	40,78	5480,30
43	-23	6	-14,01	96,08	12,81	1,02	40,66	5468,38
44	-23	6	-13,69	95,93	12,79	1,02	40,54	5456,18
45	-23	6	-13,36	95,79	12,77	1,02	40,42	5443,72
46	-23	6	-13,03	95,64	12,75	1,02	40,29	5430,99
47	-23	6	-12,70	95,49	12,73	1,02	40,16	5418,00
48	-23	6	-12,36	95,34	12,71	1,02	40,04	5404,74
49	-23	6	-12,02	95,19	12,69	1,02	39,90	5391,22
50	-23	6	-11,68	95,03	12,67	1,02	39,77	5377,44
51	-23	6	-11,33	94,88	12,65	1,02	39,64	5363,40
52	-23	6	-10,98	94,73	12,63	1,02	39,50	5349,09
53	-23	6	-10,63	94,57	12,61	1,02	39,36	5334,53
54	-23	6	-10,27	94,41	12,59	1,02	39,22	5319,72
55	-23	6	-9,92	94,26	12,57	1,02	39,08	5304,65
56	-23	6	-9,56	94,10	12,55	1,02	38,93	5289,33
57	-23	6	-9,19	93,94	12,53	1,02	38,78	5273,76
58	-23	6	-8,83	93,78	12,50	1,02	38,64	5257,95
59	-23	6	-8,46	93,62	12,48	1,02	38,49	5241,89
							MÉDIA	5428,76

Fonte: Autoria própria.

Tabela 33: Radiação diária em Maringá pelo método de angstrom-prescott para

DIA	Latitude (°)	Horas de sol/dia médio (h)	Declinação solar (°)	Ang. do nascer do sol (°)	Foto período (h)	Fator de correção da distância Terra/Sol	Irradiância solar extraterrestre diária (MJ/m ² .dia)	Radiação método Angström-Prescott (Wh/m ² d)
60	-23	6	-8,09	93,46	12,46	1,02	38,33	5225,59
61	-23	6	-7,72	93,30	12,44	1,02	38,18	5209,06
62	-23	6	-7,35	93,14	12,42	1,02	38,02	5192,29
63	-23	6	-6,97	92,97	12,40	1,02	37,87	5175,29
64	-23	6	-6,59	92,81	12,37	1,01	37,71	5158,07
65	-23	6	-6,21	92,65	12,35	1,01	37,55	5140,62
66	-23	6	-5,83	92,49	12,33	1,01	37,39	5122,95
67	-23	6	-5,45	92,32	12,31	1,01	37,22	5105,07
68	-23	6	-5,07	92,16	12,29	1,01	37,06	5086,98
69	-23	6	-4,68	91,99	12,27	1,01	36,89	5068,68
70	-23	6	-4,30	91,83	12,24	1,01	36,73	5050,19
71	-23	6	-3,91	91,66	12,22	1,01	36,56	5031,49
72	-23	6	-3,52	91,50	12,20	1,01	36,39	5012,61
73	-23	6	-3,13	91,33	12,18	1,01	36,22	4993,53
74	-23	6	-2,74	91,16	12,16	1,01	36,05	4974,28
75	-23	6	-2,35	91,00	12,13	1,01	35,87	4954,85
76	-23	6	-1,96	90,83	12,11	1,01	35,70	4935,26
77	-23	6	-1,57	90,67	12,09	1,01	35,52	4915,49
78	-23	6	-1,18	90,50	12,07	1,01	35,35	4895,57
79	-23	6	-0,78	90,33	12,04	1,01	35,17	4875,50
80	-23	6	-0,39	90,17	12,02	1,01	34,99	4855,28
81	-23	6	0,00	90,00	12,00	1,01	34,81	4834,93
82	-23	6	0,39	89,83	11,98	1,01	34,63	4814,44
83	-23	6	0,78	89,67	11,96	1,00	34,45	4793,82
84	-23	6	1,18	89,50	11,93	1,00	34,27	4773,08
85	-23	6	1,57	89,33	11,91	1,00	34,09	4752,23
86	-23	6	1,96	89,17	11,89	1,00	33,91	4731,28
87	-23	6	2,35	89,00	11,87	1,00	33,72	4710,22
88	-23	6	2,74	88,84	11,84	1,00	33,54	4689,08
89	-23	6	3,13	88,67	11,82	1,00	33,36	4667,85
90	-23	6	3,52	88,50	11,80	1,00	33,17	4646,55
							MÉDIA	4948,13

Fonte: Autoria própria.

Tabela 34: Radiação diária em Maringá pelo método de angstrom-prescott para Abril.

DIA	Latitude (°)	Horas de sol/dia médio (h)	Declinação solar (°)	Ang. do nascer do sol (°)	Foto período (h)	Fator de correção da distância Terra/Sol	Irradiância solar extraterrestre diária (MJ/m ² .dia)	Radiação método Angström-Prescott (Wh/m ² d)
91	-23	6	3,91	88,34	11,78	1,00	32,99	4625,17
92	-23	6	4,30	88,17	11,76	1,00	32,81	4603,74
93	-23	6	4,68	88,01	11,73	1,00	32,62	4582,25
94	-23	6	5,07	87,84	11,71	1,00	32,44	4560,72
95	-23	6	5,45	87,68	11,69	1,00	32,25	4539,14
96	-23	6	5,83	87,51	11,67	1,00	32,07	4517,54
97	-23	6	6,21	87,35	11,65	1,00	31,89	4495,92
98	-23	6	6,59	87,19	11,63	1,00	31,70	4474,29
99	-23	6	6,97	87,03	11,60	1,00	31,52	4452,65
100	-23	6	7,35	86,86	11,58	1,00	31,34	4431,02
101	-23	6	7,72	86,70	11,56	0,99	31,16	4409,40
102	-23	6	8,09	86,54	11,54	0,99	30,97	4387,80
103	-23	6	8,46	86,38	11,52	0,99	30,79	4366,23
104	-23	6	8,83	86,22	11,50	0,99	30,61	4344,69
105	-23	6	9,19	86,06	11,47	0,99	30,43	4323,21
106	-23	6	9,56	85,90	11,45	0,99	30,25	4301,78
107	-23	6	9,92	85,74	11,43	0,99	30,07	4280,42
108	-23	6	10,27	85,59	11,41	0,99	29,89	4259,13
109	-23	6	10,63	85,43	11,39	0,99	29,72	4237,92
110	-23	6	10,98	85,27	11,37	0,99	29,54	4216,81
111	-23	6	11,33	85,12	11,35	0,99	29,37	4195,79
112	-23	6	11,68	84,97	11,33	0,99	29,19	4174,89
113	-23	6	12,02	84,81	11,31	0,99	29,02	4154,10
114	-23	6	12,36	84,66	11,29	0,99	28,85	4133,44
115	-23	6	12,70	84,51	11,27	0,99	28,68	4112,92
116	-23	6	13,03	84,36	11,25	0,99	28,51	4092,54
117	-23	6	13,36	84,21	11,23	0,99	28,35	4072,32
118	-23	6	13,69	84,07	11,21	0,99	28,18	4052,26
119	-23	6	14,01	83,92	11,19	0,98	28,02	4032,38
120	-23	6	14,33	83,77	11,17	0,98	27,86	4012,68
							MÉDIA	4314,77

Fonte: Autoria própria.

Tabela 35: Radiação diária em Maringá pelo método de angstrom-prescott para Maio.

DIA	Latitude (°)	Horas de sol/dia médio (h)	Declinação solar (°)	Ang. do nascer do sol (°)	Foto período (h)	Fator de correção da distância Terra/Sol	Irradiância solar extraterrestre diária (MJ/m ² .dia)	Radiação método Angström-Prescott (Wh/m ² d)
121	-23	5	14,65	83,63	11,15	0,98	27,70	3648,19
122	-23	5	14,96	83,49	11,13	0,98	27,54	3630,26
123	-23	5	15,27	83,35	11,11	0,98	27,38	3612,53
124	-23	5	15,57	83,21	11,09	0,98	27,23	3595,01
125	-23	5	15,87	83,07	11,08	0,98	27,07	3577,69
126	-23	5	16,16	82,93	11,06	0,98	26,92	3560,59
127	-23	5	16,45	82,80	11,04	0,98	26,78	3543,72
128	-23	5	16,74	82,67	11,02	0,98	26,63	3527,08
129	-23	5	17,02	82,54	11,00	0,98	26,49	3510,69
130	-23	5	17,29	82,41	10,99	0,98	26,34	3494,55
131	-23	5	17,56	82,28	10,97	0,98	26,21	3478,66
132	-23	5	17,83	82,15	10,95	0,98	26,07	3463,04
133	-23	5	18,09	82,03	10,94	0,98	25,93	3447,70
134	-23	5	18,35	81,91	10,92	0,98	25,80	3432,63
135	-23	5	18,60	81,79	10,91	0,98	25,67	3417,85
136	-23	5	18,84	81,67	10,89	0,98	25,55	3403,37
137	-23	5	19,08	81,56	10,87	0,98	25,42	3389,18
138	-23	5	19,32	81,44	10,86	0,98	25,30	3375,31
139	-23	5	19,54	81,33	10,84	0,98	25,19	3361,74
140	-23	5	19,77	81,23	10,83	0,98	25,07	3348,50
141	-23	5	19,98	81,12	10,82	0,98	24,96	3335,59
142	-23	5	20,19	81,02	10,80	0,97	24,85	3323,01
143	-23	5	20,40	80,92	10,79	0,97	24,74	3310,77
144	-23	5	20,60	80,82	10,78	0,97	24,64	3298,88
145	-23	5	20,79	80,73	10,76	0,97	24,54	3287,34
146	-23	5	20,98	80,63	10,75	0,97	24,44	3276,15
147	-23	5	21,16	80,54	10,74	0,97	24,35	3265,33
148	-23	5	21,33	80,46	10,73	0,97	24,26	3254,88
149	-23	5	21,50	80,37	10,72	0,97	24,17	3244,80
150	-23	5	21,66	80,29	10,71	0,97	24,09	3235,10
151	-23	5	21,82	80,22	10,70	0,97	24,01	3225,78
							MÉDIA	3415,35

Fonte: Autoria própria.

Tabela 36: Radiação diária em Maringá pelo método de angstrom-prescott para Junho.

DIA	Latitude (°)	Horas de sol/dia médio (h)	Declinação solar (°)	Ang. do nascer do sol (°)	Foto período (h)	Fator de correção da distância Terra/Sol	Irradiância solar extraterrestre diária (MJ/m ² .dia)	Radiação método Angström-Prescott (Wh/m ² d)
152	-23	5	21,96	80,14	10,69	0,97	23,93	3216,84
153	-23	5	22,10	80,07	10,68	0,97	23,86	3208,30
154	-23	5	22,24	80,00	10,67	0,97	23,79	3200,16
155	-23	5	22,37	79,94	10,66	0,97	23,72	3192,42
156	-23	5	22,49	79,88	10,65	0,97	23,66	3185,08
157	-23	5	22,60	79,82	10,64	0,97	23,60	3178,14
158	-23	5	22,71	79,77	10,64	0,97	23,54	3171,62
159	-23	5	22,81	79,72	10,63	0,97	23,49	3165,51
160	-23	5	22,90	79,67	10,62	0,97	23,44	3159,82
161	-23	5	22,99	79,63	10,62	0,97	23,39	3154,55
162	-23	5	23,06	79,59	10,61	0,97	23,35	3149,70
163	-23	5	23,14	79,55	10,61	0,97	23,31	3145,27
164	-23	5	23,20	79,52	10,60	0,97	23,28	3141,27
165	-23	5	23,26	79,49	10,60	0,97	23,25	3137,70
166	-23	5	23,31	79,46	10,60	0,97	23,22	3134,56
167	-23	5	23,35	79,44	10,59	0,97	23,20	3131,85
168	-23	5	23,38	79,42	10,59	0,97	23,18	3129,57
169	-23	5	23,41	79,41	10,59	0,97	23,16	3127,72
170	-23	5	23,43	79,40	10,59	0,97	23,15	3126,31
171	-23	5	23,44	79,39	10,59	0,97	23,14	3125,33
172	-23	5	23,45	79,39	10,59	0,97	23,14	3124,79
173	-23	5	23,45	79,39	10,59	0,97	23,14	3124,68
174	-23	5	23,44	79,40	10,59	0,97	23,14	3125,01
175	-23	5	23,42	79,40	10,59	0,97	23,15	3125,77
176	-23	5	23,40	79,42	10,59	0,97	23,16	3126,97
177	-23	5	23,37	79,43	10,59	0,97	23,17	3128,59
178	-23	5	23,33	79,45	10,59	0,97	23,19	3130,65
179	-23	5	23,28	79,48	10,60	0,97	23,21	3133,14
180	-23	5	23,23	79,50	10,60	0,97	23,24	3136,05
181	-23	5	23,17	79,53	10,60	0,97	23,27	3139,40
							MÉDIA	3149,23

Fonte: Autoria própria.

Tabela 37: Radiação diária em Maringá pelo método de angstrom-prescott para Julho.

DIA	Latitude (°)	Horas de sol/dia médio (h)	Declinação solar (°)	Ang. do nascer do sol (°)	Foto período (h)	Fator de correção da distância Terra/Sol	Irradiância solar extraterrestre diária (MJ/m ² .dia)	Radiação método Angström-Prescott (Wh/m ² d)
182	-23	6	23,10	79,57	10,61	0,97	23,30	3448,19
183	-23	6	23,03	79,61	10,61	0,97	23,34	3452,72
184	-23	6	22,94	79,65	10,62	0,97	23,38	3457,69
185	-23	6	22,86	79,69	10,63	0,97	23,42	3463,12
186	-23	6	22,76	79,74	10,63	0,97	23,47	3468,99
187	-23	6	22,66	79,79	10,64	0,97	23,52	3475,31
188	-23	6	22,55	79,85	10,65	0,97	23,57	3482,07
189	-23	6	22,43	79,91	10,65	0,97	23,63	3489,27
190	-23	6	22,30	79,97	10,66	0,97	23,69	3496,89
191	-23	6	22,17	80,04	10,67	0,97	23,76	3504,95
192	-23	6	22,03	80,11	10,68	0,97	23,83	3513,43
193	-23	6	21,89	80,18	10,69	0,97	23,90	3522,34
194	-23	6	21,74	80,26	10,70	0,97	23,97	3531,65
195	-23	6	21,58	80,33	10,71	0,97	24,05	3541,38
196	-23	6	21,42	80,42	10,72	0,97	24,13	3551,51
197	-23	6	21,25	80,50	10,73	0,97	24,22	3562,04
198	-23	6	21,07	80,59	10,75	0,97	24,31	3572,96
199	-23	6	20,89	80,68	10,76	0,97	24,40	3584,27
200	-23	6	20,70	80,77	10,77	0,97	24,49	3595,96
201	-23	6	20,50	80,87	10,78	0,97	24,59	3608,03
202	-23	6	20,30	80,97	10,80	0,97	24,69	3620,47
203	-23	6	20,09	81,07	10,81	0,97	24,79	3633,27
204	-23	6	19,88	81,17	10,82	0,97	24,90	3646,43
205	-23	6	19,66	81,28	10,84	0,97	25,01	3659,93
206	-23	6	19,43	81,39	10,85	0,97	25,12	3673,78
207	-23	6	19,20	81,50	10,87	0,97	25,24	3687,97
208	-23	6	18,96	81,61	10,88	0,97	25,36	3702,48
209	-23	6	18,72	81,73	10,90	0,97	25,48	3717,31
210	-23	6	18,47	81,85	10,91	0,97	25,60	3732,46
211	-23	6	18,22	81,97	10,93	0,97	25,72	3747,91
212	-23	6	17,96	82,09	10,95	0,97	25,85	3763,66
							MÉDIA	3577,69

Fonte: Autoria própria.

Tabela 38: Radiação diária em Maringá pelo método de angstrom-prescott para Agosto.

DIA	Latitude (°)	Horas de sol/dia médio (h)	Declinação solar (°)	Ang. do nascer do sol (°)	Foto período (h)	Fator de correção da distância Terra/Sol	Irradiância solar extraterrestre diária (MJ/m ² .dia)	Radiação método Angström-Prescott (Wh/m ² d)
213	-23	6	17,70	82,22	10,96	0,97	25,98	3779,71
214	-23	6	17,43	82,34	10,98	0,97	26,12	3796,03
215	-23	6	17,16	82,47	11,00	0,97	26,25	3812,63
216	-23	6	16,88	82,60	11,01	0,97	26,39	3829,50
217	-23	6	16,59	82,73	11,03	0,97	26,53	3846,62
218	-23	6	16,31	82,87	11,05	0,97	26,67	3864,00
219	-23	6	16,02	83,00	11,07	0,97	26,82	3881,62
220	-23	6	15,72	83,14	11,09	0,97	26,96	3899,47
221	-23	6	15,42	83,28	11,10	0,97	27,11	3917,55
222	-23	6	15,11	83,42	11,12	0,97	27,26	3935,84
223	-23	6	14,80	83,56	11,14	0,97	27,41	3954,34
224	-23	6	14,49	83,70	11,16	0,98	27,57	3973,05
225	-23	6	14,17	83,85	11,18	0,98	27,72	3991,94
226	-23	6	13,85	83,99	11,20	0,98	27,88	4011,02
227	-23	6	13,53	84,14	11,22	0,98	28,04	4030,28
228	-23	6	13,20	84,29	11,24	0,98	28,20	4049,70
229	-23	6	12,87	84,44	11,26	0,98	28,36	4069,28
230	-23	6	12,53	84,59	11,28	0,98	28,53	4089,00
231	-23	6	12,19	84,74	11,30	0,98	28,69	4108,87
232	-23	6	11,85	84,89	11,32	0,98	28,86	4128,87
233	-23	6	11,51	85,04	11,34	0,98	29,03	4148,99
234	-23	6	11,16	85,20	11,36	0,98	29,20	4169,23
235	-23	6	10,81	85,35	11,38	0,98	29,37	4189,57
236	-23	6	10,45	85,51	11,40	0,98	29,54	4210,01
237	-23	6	10,10	85,67	11,42	0,98	29,71	4230,54
238	-23	6	9,74	85,82	11,44	0,98	29,88	4251,15
239	-23	6	9,38	85,98	11,46	0,98	30,05	4271,83
240	-23	6	9,01	86,14	11,49	0,98	30,23	4292,58
241	-23	6	8,64	86,30	11,51	0,98	30,40	4313,38
242	-23	6	8,28	86,46	11,53	0,98	30,58	4334,23
243	-23	6	7,91	86,62	11,55	0,98	30,76	4355,12
							MÉDIA	4056,00

Fonte: Autoria própria.

Tabela 39: Radiação diária em Maringá pelo método de angstrom-prescott para Setembro.

DIA	Latitude (°)	Horas de sol/dia médio (h)	Declinação solar (°)	Ang. do nascer do sol (°)	Foto período (h)	Fator de correção da distância Terra/Sol	Irradiância solar extraterrestre diária (MJ/m ² .dia)	Radiação método Angström-Prescott (Wh/m ² d)
244	-23	5	7,53	86,78	11,57	0,98	30,93	4004,73
245	-23	5	7,16	86,94	11,59	0,98	31,11	4024,24
246	-23	5	6,78	87,11	11,61	0,98	31,29	4043,77
247	-23	5	6,40	87,27	11,64	0,99	31,47	4063,30
248	-23	5	6,02	87,43	11,66	0,99	31,65	4082,84
249	-23	5	5,64	87,60	11,68	0,99	31,83	4102,38
250	-23	5	5,26	87,76	11,70	0,99	32,00	4121,90
251	-23	5	4,87	87,93	11,72	0,99	32,18	4141,40
252	-23	5	4,49	88,09	11,75	0,99	32,36	4160,88
253	-23	5	4,10	88,26	11,77	0,99	32,54	4180,33
254	-23	5	3,71	88,42	11,79	0,99	32,72	4199,74
255	-23	5	3,33	88,59	11,81	0,99	32,90	4219,11
256	-23	5	2,94	88,75	11,83	0,99	33,08	4238,42
257	-23	5	2,55	88,92	11,86	0,99	33,26	4257,67
258	-23	5	2,16	89,08	11,88	0,99	33,44	4276,86
259	-23	5	1,76	89,25	11,90	0,99	33,61	4295,98
260	-23	5	1,37	89,42	11,92	0,99	33,79	4315,02
261	-23	5	0,98	89,58	11,94	0,99	33,97	4333,98
262	-23	5	0,59	89,75	11,97	0,99	34,15	4352,84
263	-23	5	0,20	89,92	11,99	0,99	34,32	4371,62
264	-23	5	-0,20	90,08	12,01	0,99	34,50	4390,29
265	-23	5	-0,59	90,25	12,03	1,00	34,67	4408,86
266	-23	5	-0,98	90,42	12,06	1,00	34,85	4427,31
267	-23	5	-1,37	90,58	12,08	1,00	35,02	4445,65
268	-23	5	-1,76	90,75	12,10	1,00	35,19	4463,86
269	-23	5	-2,16	90,92	12,12	1,00	35,37	4481,95
270	-23	5	-2,55	91,08	12,14	1,00	35,54	4499,90
271	-23	5	-2,94	91,25	12,17	1,00	35,71	4517,72
272	-23	5	-3,33	91,41	12,19	1,00	35,88	4535,39
273	-23	5	-3,71	91,58	12,21	1,00	36,04	4552,92
							MÉDIA	4283,70

Fonte: Autoria própria.

Tabela 40: Radiação diária em Maringá pelo método de angstrom-prescott para Outubro.

DIA	Latitude (°)	Horas de sol/dia médio (h)	Declinação solar (°)	Ang. do nascer do sol (°)	Foto período (h)	Fator de correção da distância Terra/Sol	Irradiância solar extraterrestre diária (MJ/m ² .dia)	Radiação método Angström-Prescott (Wh/m ² d)
274	-23	5	-4,10	91,74	12,23	1,00	36,21	4570,30
275	-23	5	-4,49	91,91	12,25	1,00	36,38	4587,52
276	-23	5	-4,87	92,07	12,28	1,00	36,54	4604,58
277	-23	5	-5,26	92,24	12,30	1,00	36,70	4621,48
278	-23	5	-5,64	92,40	12,32	1,00	36,87	4638,21
279	-23	5	-6,02	92,57	12,34	1,00	37,03	4654,76
280	-23	5	-6,40	92,73	12,36	1,00	37,19	4671,14
281	-23	5	-6,78	92,89	12,39	1,00	37,35	4687,35
282	-23	5	-7,16	93,06	12,41	1,00	37,50	4703,37
283	-23	5	-7,53	93,22	12,43	1,01	37,66	4719,20
284	-23	5	-7,91	93,38	12,45	1,01	37,81	4734,85
285	-23	5	-8,28	93,54	12,47	1,01	37,96	4750,31
286	-23	5	-8,64	93,70	12,49	1,01	38,12	4765,57
287	-23	5	-9,01	93,86	12,51	1,01	38,26	4780,63
288	-23	5	-9,38	94,02	12,54	1,01	38,41	4795,49
289	-23	5	-9,74	94,18	12,56	1,01	38,56	4810,15
290	-23	5	-10,10	94,33	12,58	1,01	38,70	4824,61
291	-23	5	-10,45	94,49	12,60	1,01	38,85	4838,86
292	-23	5	-10,81	94,65	12,62	1,01	38,99	4852,90
293	-23	5	-11,16	94,80	12,64	1,01	39,13	4866,73
294	-23	5	-11,51	94,96	12,66	1,01	39,26	4880,35
295	-23	5	-11,85	95,11	12,68	1,01	39,40	4893,75
296	-23	5	-12,19	95,26	12,70	1,01	39,53	4906,94
297	-23	5	-12,53	95,41	12,72	1,01	39,67	4919,91
298	-23	5	-12,87	95,56	12,74	1,01	39,80	4932,66
299	-23	5	-13,20	95,71	12,76	1,01	39,93	4945,20
300	-23	5	-13,53	95,86	12,78	1,01	40,05	4957,51
301	-23	5	-13,85	96,01	12,80	1,01	40,18	4969,60
302	-23	5	-14,17	96,15	12,82	1,02	40,30	4981,47
303	-23	5	-14,49	96,30	12,84	1,02	40,42	4993,12
304	-23	5	-14,80	96,44	12,86	1,02	40,54	5004,54
							MÉDIA	4802,03

Fonte: Autoria própria.

Tabela 41: Tabela 44: Radiação diária em Maringá pelo método de angstrom-prescott para Novembro.

DIA	Latitude (°)	Horas de sol/dia médio (h)	Declinação solar (°)	Ang. do nascer do sol (°)	Foto período (h)	Fator de correção da distância Terra/Sol	Irradiância solar extraterrestre diária (MJ/m ² .dia)	Radiação método Angström-Prescott (Wh/m ² d)
305	-23	6	-15,11	96,58	12,88	1,02	40,66	5454,23
306	-23	6	-15,42	96,72	12,90	1,02	40,77	5465,80
307	-23	6	-15,72	96,86	12,91	1,02	40,88	5477,14
308	-23	6	-16,02	97,00	12,93	1,02	40,99	5488,24
309	-23	6	-16,31	97,13	12,95	1,02	41,10	5499,09
310	-23	6	-16,59	97,27	12,97	1,02	41,21	5509,71
311	-23	6	-16,88	97,40	12,99	1,02	41,31	5520,08
312	-23	6	-17,16	97,53	13,00	1,02	41,42	5530,22
313	-23	6	-17,43	97,66	13,02	1,02	41,52	5540,12
314	-23	6	-17,70	97,78	13,04	1,02	41,61	5549,77
315	-23	6	-17,96	97,91	13,05	1,02	41,71	5559,19
316	-23	6	-18,22	98,03	13,07	1,02	41,80	5568,38
317	-23	6	-18,47	98,15	13,09	1,02	41,90	5577,33
318	-23	6	-18,72	98,27	13,10	1,02	41,99	5586,04
319	-23	6	-18,96	98,39	13,12	1,02	42,07	5594,52
320	-23	6	-19,20	98,50	13,13	1,02	42,16	5602,76
321	-23	6	-19,43	98,61	13,15	1,02	42,24	5610,78
322	-23	6	-19,66	98,72	13,16	1,02	42,32	5618,56
323	-23	6	-19,88	98,83	13,18	1,02	42,40	5626,11
324	-23	6	-20,09	98,93	13,19	1,03	42,48	5633,44
325	-23	6	-20,30	99,03	13,20	1,03	42,55	5640,54
326	-23	6	-20,50	99,13	13,22	1,03	42,62	5647,41
327	-23	6	-20,70	99,23	13,23	1,03	42,69	5654,05
328	-23	6	-20,89	99,32	13,24	1,03	42,76	5660,48
329	-23	6	-21,07	99,41	13,25	1,03	42,83	5666,68
330	-23	6	-21,25	99,50	13,27	1,03	42,89	5672,66
331	-23	6	-21,42	99,58	13,28	1,03	42,95	5678,42
332	-23	6	-21,58	99,67	13,29	1,03	43,01	5683,96
333	-23	6	-21,74	99,74	13,30	1,03	43,07	5689,28
334	-23	6	-21,89	99,82	13,31	1,03	43,12	5694,39
							MÉDIA	5589,98

Fonte: Autoria própria.

Tabela 42: Radiação diária em Maringá pelo método de angstrom-prescott para Dezembro.

DIA	Latitude (°)	Horas de sol/dia médio (h)	Declinação solar (°)	Ang. do nascer do sol (°)	Foto período (h)	Fator de correção da distância Terra/Sol	Irradiância solar extraterrestre diária (MJ/m ² .dia)	Radiação método Angström-Prescott (Wh/m ² d)
335	-23	6	-22,03	99,89	13,32	1,03	43,17	5699,28
336	-23	6	-22,17	99,96	13,33	1,03	43,22	5703,96
337	-23	6	-22,30	100,03	13,34	1,03	43,27	5708,43
338	-23	6	-22,43	100,09	13,35	1,03	43,31	5712,68
339	-23	6	-22,55	100,15	13,35	1,03	43,36	5716,72
340	-23	6	-22,66	100,21	13,36	1,03	43,40	5720,55
341	-23	6	-22,76	100,26	13,37	1,03	43,44	5724,18
342	-23	6	-22,86	100,31	13,37	1,03	43,47	5727,59
343	-23	6	-22,94	100,35	13,38	1,03	43,51	5730,80
344	-23	6	-23,03	100,39	13,39	1,03	43,54	5733,80
345	-23	6	-23,10	100,43	13,39	1,03	43,57	5736,60
346	-23	6	-23,17	100,47	13,40	1,03	43,59	5739,19
347	-23	6	-23,23	100,50	13,40	1,03	43,62	5741,57
348	-23	6	-23,28	100,52	13,40	1,03	43,64	5743,75
349	-23	6	-23,33	100,55	13,41	1,03	43,66	5745,72
350	-23	6	-23,37	100,57	13,41	1,03	43,68	5747,49
351	-23	6	-23,40	100,58	13,41	1,03	43,69	5749,06
352	-23	6	-23,42	100,60	13,41	1,03	43,70	5750,42
353	-23	6	-23,44	100,60	13,41	1,03	43,72	5751,57
354	-23	6	-23,45	100,61	13,41	1,03	43,72	5752,52
355	-23	6	-23,45	100,61	13,41	1,03	43,73	5753,27
356	-23	6	-23,44	100,61	13,41	1,03	43,73	5753,81
357	-23	6	-23,43	100,60	13,41	1,03	43,73	5754,15
358	-23	6	-23,41	100,59	13,41	1,03	43,73	5754,27
359	-23	6	-23,38	100,58	13,41	1,03	43,73	5754,19
360	-23	6	-23,35	100,56	13,41	1,03	43,72	5753,91
361	-23	6	-23,31	100,54	13,40	1,03	43,72	5753,41
362	-23	6	-23,26	100,51	13,40	1,03	43,70	5752,71
363	-23	6	-23,20	100,48	13,40	1,03	43,69	5751,79
364	-23	6	-23,14	100,45	13,39	1,03	43,68	5750,67
365	-23	6	-23,06	100,41	13,39	1,03	43,66	5749,33
							MÉDIA	5739,27

Fonte: Autoria própria.

ANEXOS

ANEXO A - Valores de PIS/PASEP e COFINS cobrados pela COPEL

Período da alíquota	PIS/PASEP	COFINS	Total
A partir de 01/02/2020	1,07%	4,91%	5,98%
01/01 a 31/01/2020	1,11%	5,09%	6,20%
01/12 a 31/12/2019	1,02%	4,66%	5,68%
01/11 a 30/11/2019	0,97%	4,43%	5,40%
01/09 a 31/10/2019	1,06%	4,86%	5,92%
01/08 a 31/08/2019	1,04%	4,76%	5,80%
01/07 a 31/07/2019	1,03%	4,72%	5,75%
01/06 a 30/06/2019	1,11%	5,09%	6,20%
01/03 a 31/05/2019	1,16%	5,34%	6,50%
01/02 a 28/02/2019	1,25%	5,75%	7,00%
01/01 a 31/01/2019	1,43%	6,57%	8,00%
01/10 a 31/12/2018	1,65%	7,60%	9,25%
01/09 a 30/09/2018	1,15%	5,31%	6,46%
01/08 a 31/08/2018	0,98%	4,52%	5,50%
01/03 a 31/07/2018	0,89%	4,11%	5,00%
01/02 a 28/02/2018	1,16%	5,34%	6,50%
01/01 a 31/01/2018	1,49%	6,84%	8,33%
01/10 a 31/12/2017	1,65%	7,60%	9,25%
01/09 a 30/09/2017	1,52%	6,98%	8,50%
01/08 a 31/08/2017	1,43%	6,55%	7,98%
01/07 a 31/07/2017	1,30%	5,96%	7,26%
01/06 a 30/06/2017	1,18%	5,42%	6,60%
01/05 a 31/05/2017	1,07%	4,93%	6,00%
01/04 a 30/04/2017	0,97%	4,48%	5,45%
01/03 a 31/03/2017	0,89%	4,06%	4,95%
01/02 a 28/02/2017	0,80%	3,70%	4,50%
01/12 a 31/01/2017	0,73%	3,37%	4,10%
01/11 a 30/11/2016	0,80%	3,70%	4,50%
01/10 a 31/10/2016	0,88%	4,02%	4,90%

FONTE: COPEL (2018B)

ANEXO B - Resoluções referentes aos aumentos tarifários da energia elétrica no Paraná

Portaria / Resolução	Vigência	Variação Percentual
Resolução 2559/2019	24/06/2019	- Reajuste médio aplicado de 3,41%
Resolução 2402/2018	24/06/2018	- Reajuste médio aplicado de 15,99%
Resolução 2255/2017	24/06/2017	- Reajuste médio aplicado de 5,85%
Resolução 2214/2017	01/05/2017	- Reversão da previsão do EER de Angra III
Resolução 2096/2016	24/06/2016	- Reajuste médio aplicado de -12,87%
Resolução 1897/2015	24/06/2015	- Reajuste médio aplicado de 15,32%
Resolução 1858/2015	02/03/2015	- Reajuste médio aplicado de 36,79%
Resolução 1763/2014	24/06/2014	- Reajuste médio aplicado de 24,86%
Resolução 1565/2013	24/06/2013	- Reajuste médio aplicado de 9,55%
Resolução 1431/2013	24/01/2013	- Reajuste médio aplicado de -19,28%
Resolução 1296/2012	24/06/2012	- Reajuste médio aplicado de -0,65%
Resolução 1158/2011	24/06/2011	- Reajuste médio aplicado de 2,99%
Resolução 1015/2010	24/06/2010	- Reajuste médio aplicado de 2,46%
Resolução 839/2009	23/06/2009	- Reajuste médio aplicado de 12,98% para consumidores inadimplentes e de 5,00% para consumidores adimplentes
Resolução 663/2008	24/06/2008	- Reajuste médio aplicado de 0,04%.
Resolução 479/2007	24/06/2007 em diante	- Reajuste médio aplicado de - 1,27%.
Resolução 345/2006	24/06/2006 a 23/06/2007	- Reajuste médio aplicado de 3,3%.
Resolução 130a 2005(adimplentes)	01/08/2005 a 23/06/2006	- Para adimplentes, reajuste médio aplicado de 4,4% (desconto médio de 6,8% sobre a Resolução ANEEL 130/05)
Resolução 146a 2005(adimplentes)	24/06/2005 a 31 de julho de 2005	- Para adimplentes, manutenção dos descontos para pagamentos em dia da Resolução 146a (adimplentes).
Resolução 130 Normal (inadimplentes)	24/06/2005 a 23/06/2006	- Para inadimplentes, tarifas da Resolução 130/05 Homologadas pela ANEEL (reajuste médio aplicado de 7,80%).
Resolução ANEEL 130/05		

Fonte: COPEL (2018a).