

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

RAVENA ALMEIDA DE SOUZA

**ESTUDO DE CASO DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM UMA INSTITUIÇÃO PÚBLICA
DE EDUCAÇÃO SUPERIOR**

CAMPO MOURÃO

2019

RAVENA ALMEIDA DE SOUZA

**ESTUDO DE CASO DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM UMA INSTITUIÇÃO PÚBLICA
DE EDUCAÇÃO SUPERIOR**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, para obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Orientador: Prof. Evandro Luis Volpato

CAMPO MOURÃO

2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Coordenação de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

ESTUDO DE CASO DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM UMA INSTITUIÇÃO PÚBLICA DE EDUCAÇÃO SUPERIOR

por

Ravena Almeida de Souza

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 15h30min do dia 18 de dezembro de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

**Prof. Me. Adalberto Luiz Rodrigues de
Oliveira**

(UTFPR)

Prof^a. Dr^a. Vera Lucia Barradas Moreira

(UTFPR)

Prof. Evandro Luis Volpatp

(UTFPR)

Orientador

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

Prof. Dr(a). Paula Cristina de Souza

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

Não foi fácil chegar até aqui, nem estar longe da família durante anos para conseguir concluir uma faculdade de excelência. Portanto, eu agradeço e dedico este trabalho a minha família que sempre me amou e me apoiou nos momentos mais difíceis e que tanto anseia por minha graduação.

Agradeço ao Grupo de Pesquisa, especialmente aos Professores Rafaelle Romero e Adriano Romero que acreditaram no meu trabalho como pesquisadora e me convidaram mesmo eu sendo de Engenharia Civil e eles de Licenciatura em Química. Com o incentivo deles comecei a produzir trabalhos acadêmicos científicos, fazer publicações que foram premiadas.

Ao meu amigo Marlon da Silveira que me ajudou a manipular os dados desse trabalho.

Agradeço a minha amiga e colega de moradia Carolina Barros que durante alguns anos esteve ao meu lado ajudando nos estudos e em tudo mais que pode.

Ao meu orientador Evandro Luis Volpato pela orientação, dedicação, resignação e pela amizade ao longo do processo.

Por fim, são muitos os nomes que poderiam estar aqui, mas me concentrei naqueles que fizeram parte desse trabalho. Foi graças ao incentivo de todos vocês que estou concluindo mais uma etapa de muita importância na minha vida.

RESUMO

SOUZA, R. A. ESTUDO DE CASO DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM UMA INSTITUIÇÃO PÚBLICA DE EDUCAÇÃO SUPERIOR. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) Curso superior de Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2019.

Com o aumento da preocupação com meio ambiente, há uma busca por energias renováveis e alternativas para o planejamento energético do país. O trabalho consiste na investigação da eficiência energética entre placas de Silício Monocristalino, Silício Policristalino e Telureto de Cádmio, implantados na Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Foram registradas a produção de energia por cada um dos modelos durante um mês, em determinados intervalos de tempo. A partir das potências geradas por cada um dos sistemas, foi possível concluir as vantagens e desvantagens dessas placas e estimar um tempo de retorno sobre o investimento de aproximadamente cinco anos e seis meses.

Palavras-chave: Energia fotovoltaica; eficiência energética; radiação solar.

ABSTRACT

SOUZA, R. A. CASE STUDY OF IMPLEMENTATION OF A SOLAR PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEM IN A PUBLIC INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION. 2019. Course Conclusion Paper (Undergraduate) Degree in Civil Engineering. Federal Technological University of Paraná, Campo Mourão, 2019.

With increasing concern for the environment, there is a search for renewable energy and alternatives for the country's energy planning. The work consists of the investigation of energy efficiency between Monocrystalline Silicon, Polycrystalline Silicon and Cadmium Telluride slabs, implanted at the Federal Technological University of Paraná. Energy production by each model was recorded for one month at specified time intervals. From the powers generated by each of the systems, it was possible to conclude as advantages and disadvantages of these boards and to estimate the return on investment time of approximately five years and six months.

Keywords: Photovoltaic energy; energy efficiency; solar radiation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Curva de corrente-tensão do comportamento de uma célula	7
Figura 2 – Camadas de material de uma célula	8
Figure 3 – Esquema de sistema interligado à rede elétrica	9
Figura 4 – Inversor da Estação Solarimétrica da UTFPR	10
Figura 5 - String Box da Estação Solarimétrica da UTFPR.....	11
Figura 6 – Localização do município de Campo Mourão no estado do Paraná	12
Figura 7 – Vista aérea do Campus Campo Mourão da UTFPR	13
Figure 8 – Vista aérea do local de instalação do sistema fotovoltaico	13
Figura 9 – Vista aérea da estação solarimétrica	14
Figura 10 – Estação Solarimétrica da UTFPR	19

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Análise da Potência (W) durante um dia com intervalos de 1 hora.....	17
Gráfico 2 – Análise da Potência (W) média entre as tecnologias	18
Gráfico 3 – Análise da Potência (W) entre as tecnologias em dias chuvosos.....	20
Gráfico 4 – Relação entre Temperatura e Corrente.....	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Módulos Fotovoltaicos	14
Tabela 2 – Potência média nos Inversores	20
Tabela 3 – Potência nos Inversores em dias chuvosos	21

LISTA DE SIGLAS

Aneel	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CdTe	Telureto de Cádmio
CIGS	Disseleneto de Cobre, Índio e Gálio
EE	Eficiência Energética
FV	Fotovoltaico
m-Si	Silício Monocristalino
On-Grid	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica
Off-Grid	Sistema Fotovoltaico Isolado da Rede Elétrica
p-Si	Silício Policristalino
ROI	Retorno do Investimento
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	3
2 OBJETIVOS	5
2.1 Objetivo Geral	5
2.2 Objetivos Específicos	5
3 JUSTIFICATIVA	6
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	7
4.1 Energia Solar Fotovoltaica	7
4.1.1 Silício Monocristalino.....	8
4.1.2 Silício Policristalino.....	8
4.1.3 Telureto de Cádmio	9
4.2 Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (On-grid)	9
4.3 Inversores	10
4.4 String Box	11
5 METODOLOGIA DE PESQUISA	12
5.1 Descrição do Local.....	12
5.2 Área de Instalação dos Painéis e Orientação Geográfica.....	12
5.3 Módulos Fotovoltaicos	14
5.4 Levantamento dos Custos de Aquisição e Instalação	15
5.4 Estudo de Viabilidade Econômica	15
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
6.1 Eficiência e Comparação entre os diferentes tipos de placas	16
6.2 Excitação Térmica	21
6.3 Estudo de Viabilidade Econômica	22
REFERÊNCIAS	25

1 INTRODUÇÃO

A busca por energias renováveis está aumentando, já que a humanidade tem se preocupado cada vez mais com a preservação do meio ambiente. Além disso houve um aumento da demanda por energia elétrica.

Praticamente restrita a aplicações em pequenos sistemas de eletrificação instalados em localidades não atendidas pela rede de energia elétrica, desde o ano de 2012 a energia solar fotovoltaica tornou-se uma importante de complementação energética para o Brasil, tendo sua inserção na matriz energética nacional garantida com a aprovação da resolução normativa nº 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), que incentiva e regulamenta a geração de eletricidade com fontes renováveis de energia em sistemas conectados à rede elétrica de distribuição (VILLALVA,2015).

A energia solar é infinita e inesgotável o que torna a implantação de um sistema fotovoltaico excelente, principalmente para um país como o Brasil que possui uma alta incidência solar. Segundo o Atlas Solarimétrico da Cepel a radiação solar média que incide sobre a superfície do país é de até 2300 quilowatt-hora por metro quadrado (kWh/m²). Esse sistema não produz ruídos, portanto, não é incomodo ao usuário, além de exigir pouca manutenção durante anos e alta vida útil do sistema, geralmente superior a 20 anos.

Em 2014, o Brasil sofreu com uma crise hídrica, a falta de água afetou principalmente a região Sudeste. Essa escassez afetou diretamente a produção de energia, conseqüentemente os preços foram elevados e houve redução da disponibilidade de energia. Esse fator deve ser levado em consideração, um sistema fotovoltaico possui independência, ou seja, não depende de um recurso que possa ser extinto ou que sofra variações com as estações.

Sistemas conectados à rede estão em crescente expansão muito em virtude da aprovação da normativa 482/2012 da ANEEL em 17 de abril de 2012, e modificada pelas Resoluções Normativas ANEEL no 687/2015 e no 786/2017, que permite aos consumidores instalar geradores de pequeno porte em suas unidades consumidoras e utilizar o sistema elétrico da Copel para injetar o excedente de energia, que será convertido em crédito de energia válido por 60 meses. Créditos, estes, que serão consumidos em situações em que o sistema não produz energia suficiente para

atender a demanda do estabelecimento, como à noite, ou em dias nebulosos (ANEEL, 2014).

Em abril de 2015, o Convênio ICMS 16 do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ) abriu a possibilidade dos estados isentarem a tributação do ICMS na eletricidade gerada pelo sistema fotovoltaico e injetada na rede de distribuição. Essa medida permitiu diminuir o valor da conta de luz nas residências com placas solares. A participação de cada estado é voluntária e deve ser manifestada de forma independente. O estado do Paraná não aderiu a tal medida (COLAFERRO, 2017). Na Figura 1 observa-se o número de instalações fotovoltaicas já realizadas por estado.

Esse trabalho tem irá analisar a eficiência de um sistema fotovoltaico, através da utilização e implantação de três tecnologias em módulos fotovoltaicos on-grid a serem instalados na Universidade Tecnológica Federal do Paraná no Campus de Campo Mourão.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a eficiência de um sistema fotovoltaico, através da utilização e implantação de três modelos fotovoltaicos na UTFPR no Campus de Campo Mourão no Paraná.

2.2 Objetivos Específicos

- Confrontar a eficiência dos modelos fotovoltaicos instalados;
- Verificar o investimento necessário com equipamentos e instalação das placas fotovoltaicas;
- Investigar o período de recuperação do investimento.

3 JUSTIFICATIVA

Este trabalho apresenta-se em um momento importante de pesquisas, discussões e aprofundamentos no tema do meio ambiente e em um momento em que soluções estão sendo buscadas para conciliar um ambiente global, desenvolvido, com a sustentabilidade dos recursos naturais.

Desta forma, há um estudo vasto no mundo sobre o desenvolvimento sustentável e que está em constante ascendência, assim, este trabalho abrange vários princípios e conceitos.

Com a implantação de um Sistema de Energia Fotovoltaica na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Campo Mourão, foi possível pesquisar a eficiência energética de três tecnologias em placas fotovoltaicas, pautadas nos dados dos equipamentos, podendo assim compará-las, além de verificar o quanto esse sistema será capaz de produzir em energia e calcular o tempo de retorno desse investimento.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Energia Solar Fotovoltaica

Para Zilles (2012) a obtenção da energia solar fotovoltaica, há uma conversão direta da luz solar em energia elétrica, isso ocorre por causa do efeito fotovoltaico. Os módulos fotovoltaicos, que são compostos por várias células fotovoltaicas, feitas de materiais semicondutores, podem ser em grandes quantidades e conectados em série ou em paralelo.

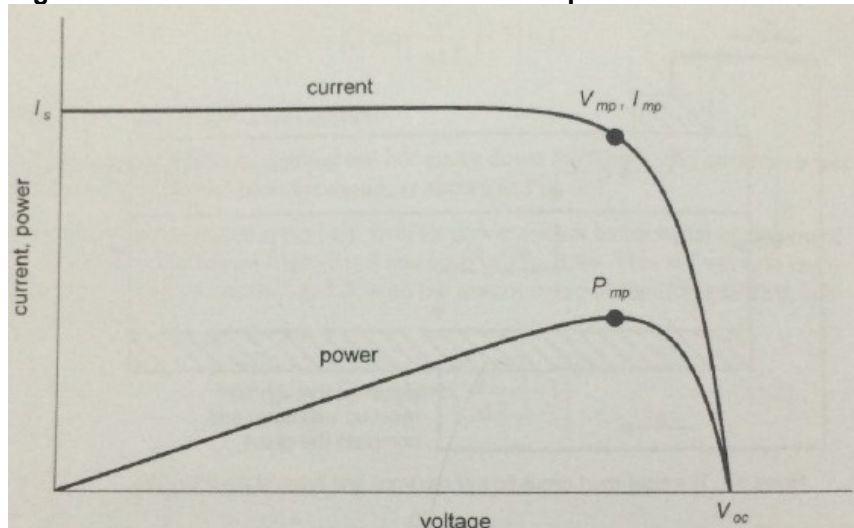
Uma das principais características dos sistemas fotovoltaicos é que só produzem eletricidade quando recebem a luz do sol, isso é o que diferencia esse sistema das outras fontes de energia. Além disso, a quantidade de energia gerada é diretamente proporcional a irradiação solar que incide na superfície das placas.

Existem dois tipos de sistemas fotovoltaicos: os conectados à rede, chamados On-Grid e os isolados da rede ou autônomos, Off-Grid. Para este trabalho o foco será em sistemas conectados à rede.

O material mais empregado em módulos fotovoltaicos atualmente é o silício e pode ser do tipo monocristalino e policristalino. São considerados com eficiência significativa na conversão da radiação solar em energia elétrica, bem difundidos e consolidados no mercado (PINHO E GALDINO, 2014).

Na figura 2 é possível observar o comportamento da curva de corrente-tensão de uma célula.

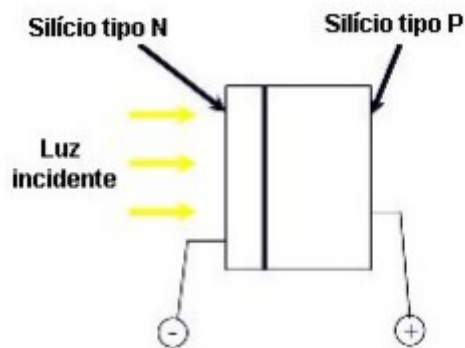
Figura 1 – Curva de corrente-tensão do comportamento de uma célula



Fonte: Wenham et al. (2009)

De acordo com Nascimento (2014) enquanto houver incidência de luz sobre a célula fotovoltaica há um fluxo de elétrons no circuito, portanto uma célula fotovoltaica não é capaz de armazenar energia elétrica. Para isso é necessário um método para armazenamento dessa energia. A maioria das células solares comerciais é feita de silício monocristalino, que são tipicamente do tipo “n sobre p” (PAULA, 2015). Na figura 3 é possível observar a camada fina de material tipo n e a camada de material tipo p.

Figura 2 – Camadas de material de uma célula



Fonte: Nascimento (2004)

4.1.1 Silício Monocristalino

Este tipo de célula fotovoltaica possui rendimento elétrico razoavelmente elevado, apesar de possuírem uma complexidade para a produção e serem caras, chegam a gerar aproximadamente 16%.

Por utilizarem materiais muito puros, é necessário em sua fabricação uma grande quantidade de energia.

4.1.2 Silício Policristalino

As células policristalino apresentam um rendimento elétrico inferior, quando comparado ao monocristalino, entre 11% e 13%. Essa redução de rendimento é dada pela imperfeição do cristal. Por necessitarem de menos energia para fabricação, o custo de produção é inferior.

4.1.3 Telureto de Cádmio

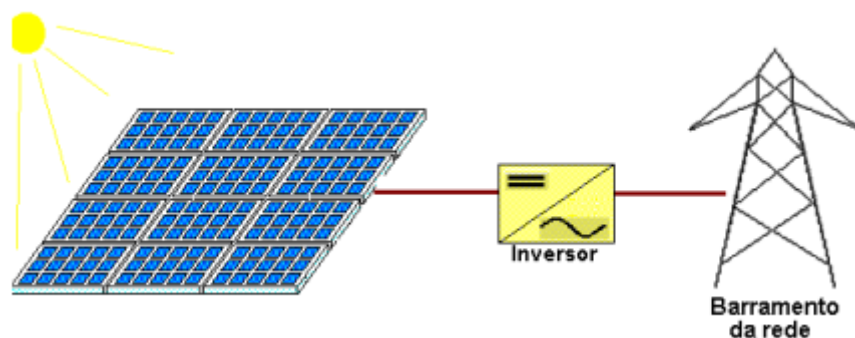
Possui eficiência entre 9% e 11%, além de ter um bom custo/benefício. É geralmente utilizado em grandes campos, como em usinas de energia solar.

4.2 Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (On-grid)

O objetivo principal dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica é maximizar anualmente a produção de energia elétrica produzida no país.

É necessário que o sistema fotovoltaico esteja conectado à rede de distribuição de energia, além de um inversor, que terá a função de converter a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), e sincronizar o sistema com a rede pública. Esse Sistema não possui dispositivo de armazenamento, por esse motivo, toda energia excedente gerada - que não é consumida pelo usuário - é enviada para a rede de distribuição e é convertida em créditos de energia elétrica, figura 4.

Figura 3 – Esquema de sistema interligado à rede elétrica



Fonte: CRESESB (2009)

4.3 Inversores

Os inversores, figura 5, são dispositivos eletrônicos que fornecem energia elétrica em corrente alternada a partir de uma fonte de energia elétrica em corrente contínua (PINHO & GALDINO, 2014).

Esses inversores, são necessários para sistemas on-grid, pois a corrente que é utilizada pela rede de distribuição de energia é a corrente alternada e o sistema fotovoltaico gera energia em corrente contínua, portanto é preciso que haja essa conversão de corrente para que o excedente de energia elétrica das placas seja injetado na rede elétrica.

Figura 4 – Inversor da Estação Solarimétrica da UTFPR



Fonte: Autoria própria (2019)

4.4 String Box

A String Box quando conectada ao lado das correntes contínuas, protege tanto a instalação quanto as placas solares das descargas elétricas recebidas ou geradas pelo campo magnético dos fios. Devendo ser conectada ao inversor de frequência da placa de energia solar e também ao quadro de proteção da rede elétrica, protegendo a instalação contra as eventuais descargas atmosféricas, ilustrado na figura 6.

Figura 5 – String Box da Estação Solarimétrica da UTFPR



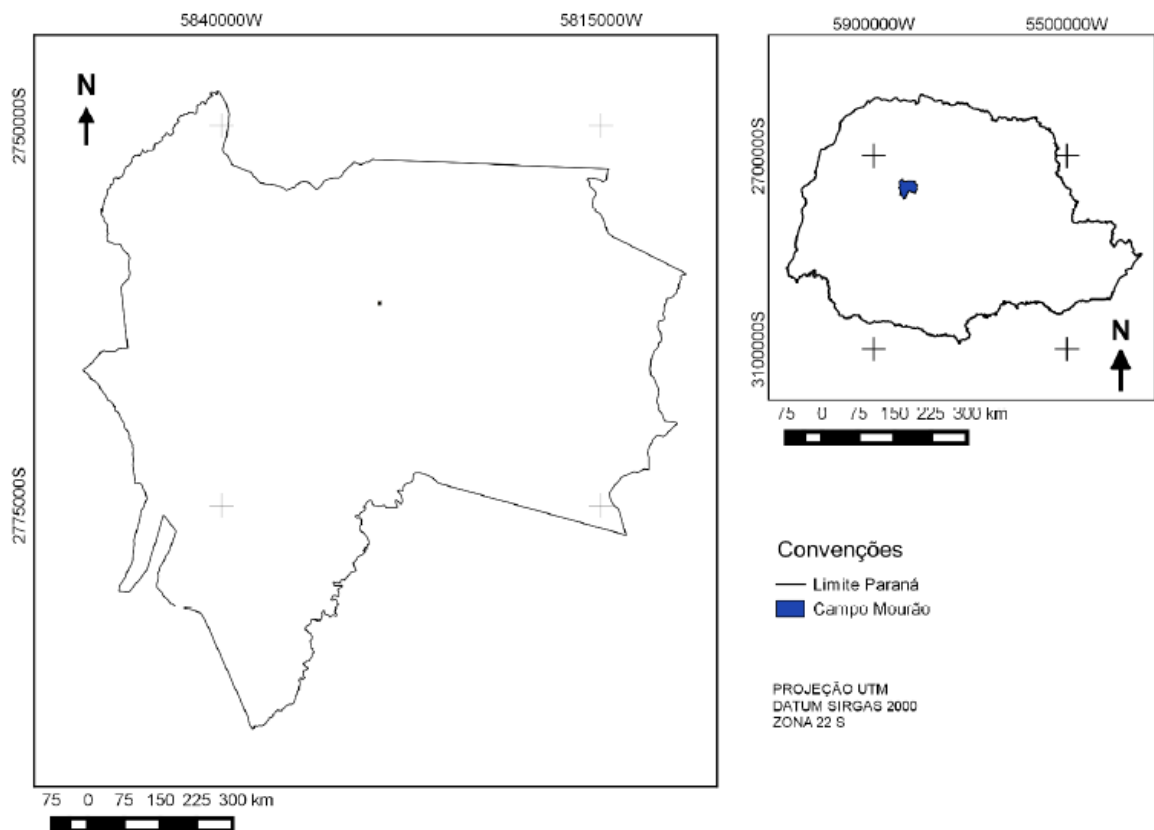
Fonte: Autoria própria (2019)

5 METODOLOGIA DE PESQUISA

5.1 Descrição do Local

O local de estudo dos módulos de energia solar fotovoltaica é o Campus Campo Mourão da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, na mesorregião centro-ocidental do Estado do Paraná, como pode ser visto na figura 7.

Figura 6 – Localização do município de Campo Mourão no estado do Paraná.



Fonte: Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística (2019)

A população da cidade de Campo Mourão é de 87.194 habitantes, com densidade demográfica de 115,05 hab/km² (INSTITUTO..., 2019).

5.2 Área de Instalação dos Painéis e Orientação Geográfica

Quando a luz do sol bate no painel solar, células trabalham produzindo eletricidade, portanto a implantação de um sistema fotovoltaico

em uma região sombreada não é eficiente. Na figura 8 pode-se observar o Campus da UTFPR e na figura 9 o local em que foram implantadas a placas solares.

Figura 7 – Vista aérea do Campus Campo Mourão da UTFPR



Fonte: Memorial Descritivo do Campus da UTFPR de Campo Mourão (2019)

Figura 8 – Vista aérea do local de instalação do sistema fotovoltaico



Fonte: Memorial Descritivo do Campus da UTFPR de Campo Mourão (2019)

5.3 Módulos Fotovoltaicos

A estruturação apresentada na tabela 1, indicam os modelos fotovoltaicos bem como as especificações utilizadas para a análise da energia gerada no sistema fotovoltaico.

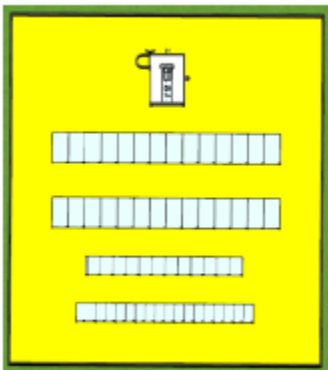
Tabela 1 – Módulos Fotovoltaicos.

TIPO DE MÓDULO FOTOVOLTAICO	Telureto de Cádmio (CdTe) de filmes finos	Disseleneto de Cobre, Índio e Gálio (CIGS)	Silício Monocristalino (m-Si)	Silício Policristalino (p-Si)
QUANT.	18	12	14	14
FABRICANTE	Calyxo	Solibro	QCells	QCells
MODELO	modelo CX3 85	Solibro SL2 CIGS	Q.Peak L-G5.0.G	Q.Power L-G5
POTÊNCIA NOMINAL (Wp)	85	140	365	335
DIMENSÃO (mm)	1200x600x6,9	1190x789,5x7,3	1960x991x35	1960x991x35
PESO UNIT. (kg)	12,0	16,5	22,5	22,5

Fonte: Memorial Descritivo do Campus da UTFPR de Campo Mourão

Na figura 10 encontra-se um esquema de como as diferentes tecnologias foram implantadas em uma vista aérea da estação solarimétrica e, de cima para baixo, as 14 placas de Silício Monocristalino e Silício Policristalino, as 12 de Disseleneto de Cobre, Índio e Gálio e por fim as 18 placas de Telureto de Cádmio, respectivamente. Para esse trabalho serão analisadas as placas de Silício Monocristalino, Silício Policristalino e Telureto de Cádmio.

Figura 9 – Vista aérea da estação solarimétrica



Fonte: Memorial Descritivo do Campus da UTFPR de Campo Mourão (2019)

Todos os módulos foram instalados sobre suportes de aço galvanizado, com altura inicial de 0,80 m a partir do solo, voltados para o norte com uma inclinação igual à latitude de Campo Mourão, ou seja, 24 graus, e terão todos a mesma exposição. Os sistemas de fixação da estrutura têm proteção contra intempéries e resistem a rajadas de vento, com velocidade de até 120 km/h.

A conexão com a rede lógica e a interligação com o sistema elétrico foram feitas por meio dos quadros de proteção e de automação.

5.4 Levantamento dos Custos de Aquisição e Instalação

Para levantamento dos custos de aquisição foi montada uma planilha com os valores das placas e equipamentos necessários.

Os gastos relacionados aos serviços de instalação giram em torno de 25% do valor do final do sistema fotovoltaico (RÜTHER, 2004), esse valor foi acrescentado ao final do levantamento.

5.4 Estudo de Viabilidade Econômica

Para investigar a viabilidade econômica da instalação do sistema fotovoltaico calcularam-se os indicadores econômicos ROI e Payback, que para estudos de longo prazo são tomados como padrão nas análises de investimento. Os cálculos foram realizados com base nos índices de irradiação solar da região de Campo Mourão e nas faturas dos últimos 25 meses das contas de energia.

O Payback calcula o tempo de retorno do investimento em anos, já o ROI, o retorno do investimento é dado por uma porcentagem e mede o ganho ao investir. Desse último indicador pode-se ter um controle do quanto à implantação dos sistemas fotovoltaicos ajudam a diminuir custos.

O valor da energia elétrica não é fixo, sofre aumentos ao longo dos anos, e para realização dos cálculos de Payback e ROI, considerou-se uma estimativa para a inflação.

Para estimar uma média anual de economia considerou-se o produto entre a geração de energia em kWh/mês, o valor médio da tarifa energética em R\$/kWh e os 12 meses do ano.

O retorno do investimento (ROI) foi calculado a partir da seguinte fórmula:

$$\text{ROI} = \frac{\text{média anual de economia}}{\text{total do investimento}} \cdot 100 \quad (1)$$

O payback foi calculado da seguinte maneira:

$$\text{Payback} = \frac{\text{total do investimento}}{\text{média anual de economia}} \quad (2)$$

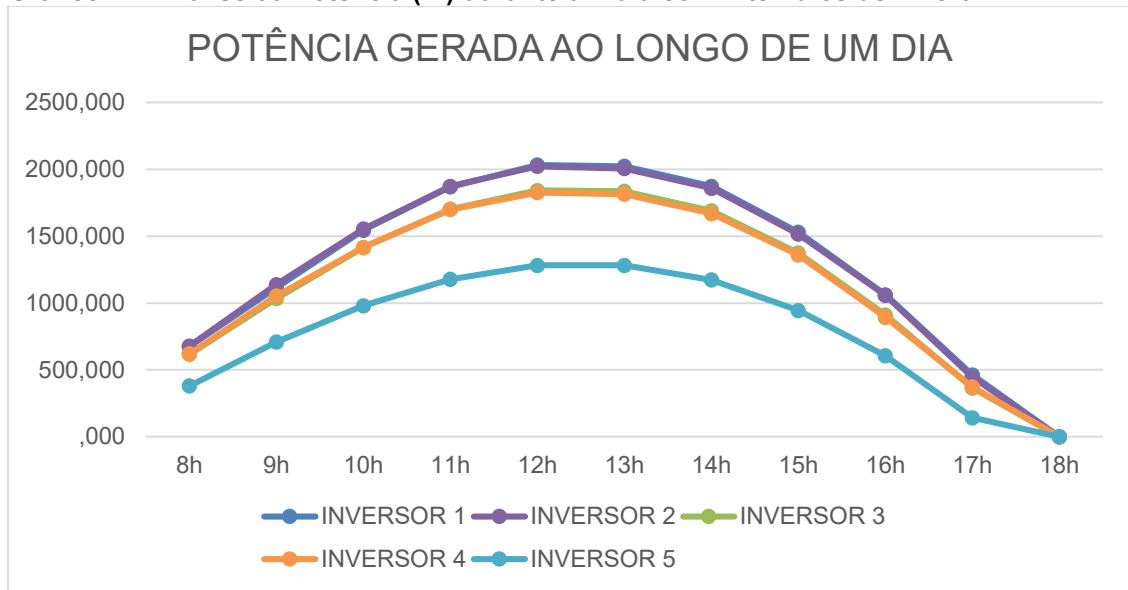
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Eficiência e Comparação entre os diferentes tipos de placas

A partir dos dados gerados pelos modelos fotovoltaicos, analisou-se os rendimentos e a eficiência energética (EE) das placas.

Através dos resultados obtidos diariamente pelo Sistema durante um mês, foi possível comparar a eficiência energética gerada pelo conjunto.

O gráfico 1 apresenta um comparativo da potência produzida pelas placas em Watts, ao longo de um dia, com intervalos de uma hora, iniciando às 8 horas e indo até às 18 horas. A temperatura mínima nesse dia foi de 17,8°C e máxima de 33,5°C.

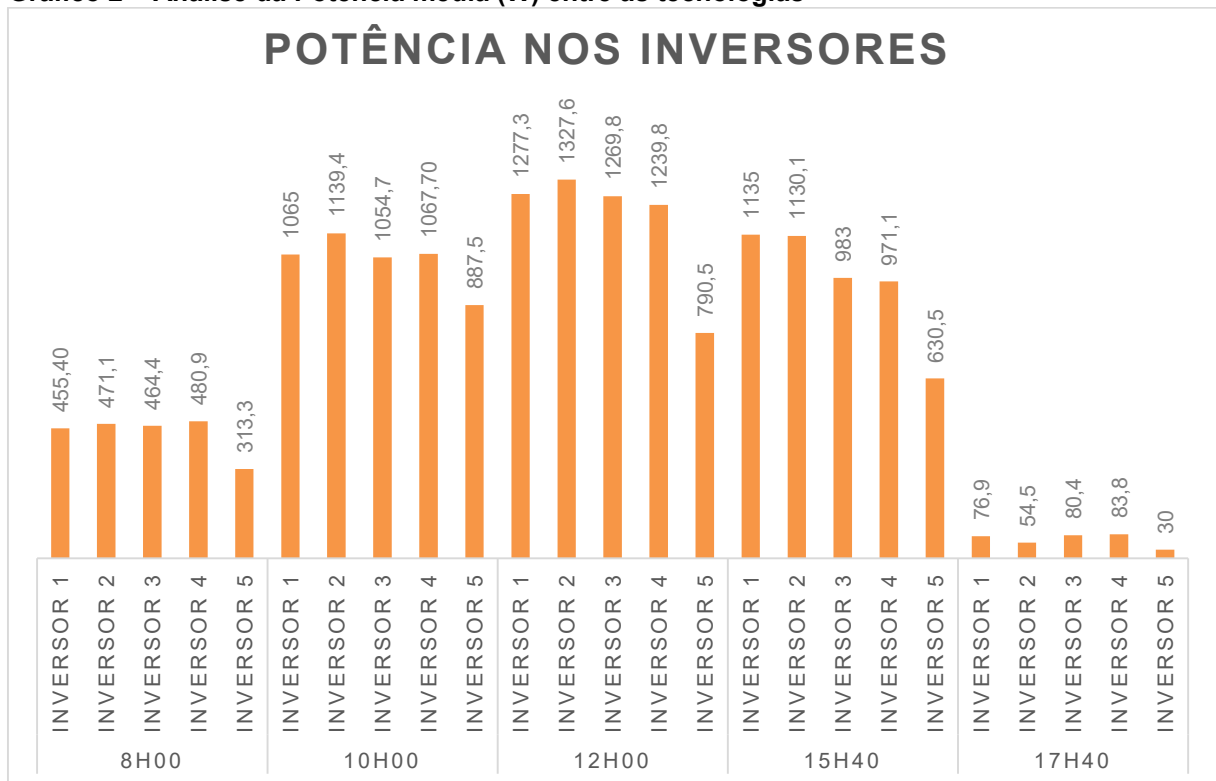
Gráfico 1 – Análise da Potência (W) durante um dia com intervalos de 1 hora

Fonte: Autoria própria (2019)

Continuando no gráfico 1, é possível observar a curva da potência, de forma clara percebe-se que a produção de energia durante um dia acontece gradativamente formando uma parábola, potência por hora.

Os inversores 1 e 2 estão conectados às placas de silício monocristalino enquanto que as placas de silício policristalino, aos inversores 3 e 4, já o inversor 5 conectado às placas de telureto de cádmio. Sabendo disso, pode-se observar no gráfico 2 a potência gerada em diferentes períodos do dia, conforme os horários indicados. Percebe-se que nos horários de menor incidência solar a variação na produção de energia entre as placas é pequena, enquanto que nos horários de maior incidência de radiação solar a variação entre as tecnologias tem maior destaque, nesses períodos a eficiência de ambos os modelos entram em evidência.

Gráfico 2 – Análise da Potência média (W) entre as tecnologias



Fonte: Autoria própria (2019)

Fazendo uma análise entre as placas eletrovoltaicas de silício monocristalino (inversores 1 e 2) e as de silício policristalino (inversores 3 e 4), nos intervalos de 10h, 12h e 15h40, onde há maior radiação solar, é perceptível uma diferença no valor das potências, os módulos de silício monocristalino possuem maior eficiência, isso ocorre devido a composição do substrato de silício usado para compor as células. Vê-se ainda que as placas de telureto de cádmio (inversor 5), que são de filme fino, possuem a eficiência por m^2 inferior quando comparado com as placas de silício monocristalino e policristalino, contudo são placas esteticamente mais bonitas, visível na figura 11, e possuem um menor valor de mercado.

Figura 10 – Estação Solarimétrica da UTFPR

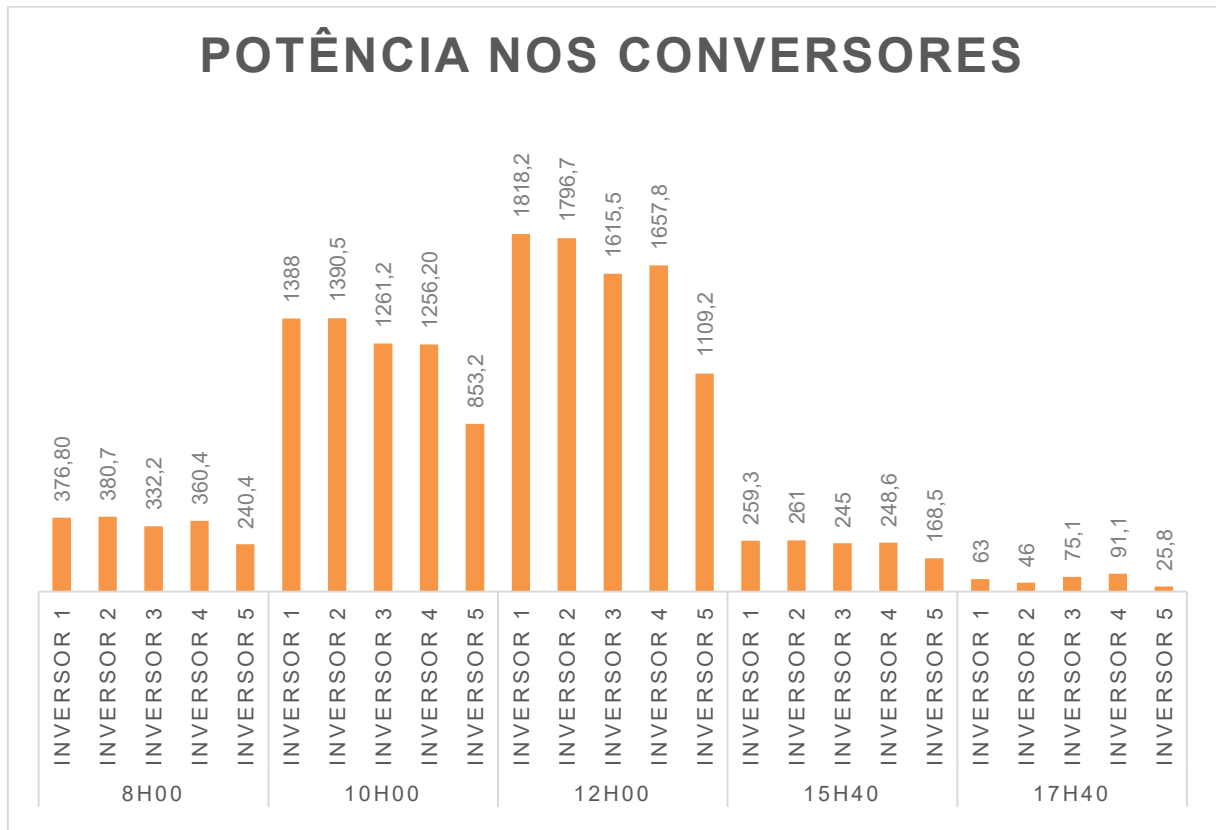


Fonte: Autoria própria (2019)

Em dias chuvosos a eficiência da produção de energia é reduzida e podemos observar esse fenômeno através do gráfico 3, que seguiu as mesmas condições do gráfico 2, contudo, nesse dia, às 15h40 estava chovendo. Confrontado os gráficos 2 e 3, pode-se estimar que houve uma queda de 68,6% a 76,2% da potência gerada pelos inversores, calculado a partir das tabelas 2 e 3.

Ainda analisando os gráficos 2 e 3, notou-se que os módulos de Telureto de Cádmio, em dias chuvosos, sofreram menos com a redução da incidência solar, desse modo, podemos afirmar que este modelo é o menos impactado quando temos uma redução na radiação solar. Em regiões que possuem menos dias de céu limpo durante o ano, como a cidade de Curitiba no Paraná, este modelo pode ser mais adaptável por sofrer menos com a variação da incidência solar.

Gráfico 3 – Análise da Potência (W) entre as tecnologias em dias chuvosos



Fonte: Autoria própria (2019)

Tabela 2 – Potência média nos Inversores

Tecnologias Fotovoltaicas	Silício Monocristalino		Silício Policristalino		Telureto de Cádmio
	Inversor 1	Inversor 2	Inversor 3	Inversor 4	Inversor 5
Horário	PCA (W)	PCA (W)	PCA (W)	PCA (W)	PCA (W)
8h	455,40	471,10	464,40	480,90	313,30
10h	1065,00	1139,40	1054,70	1067,70	887,50
12h	1277,30	1327,60	1269,80	1239,80	790,50
15h40	1135,00	1130,10	983,00	971,10	630,50
17h40	76,90	54,50	80,40	83,80	30,00

Fonte: Autoria própria (2019)

Tabela 3 - Potência nos Inversores em dias chuvosos

Tecnologias Fotovoltaicas	Silício Monocristalino		Silício Policristalino		Telureto de Cádmio
	Inversor 1	Inversor 2	Inversor 3	Inversor 4	Inversor 5
Horários	PCA (W)	PCA (W)	PCA (W)	PCA (W)	PCA (W)
8h	376,80	380,70	332,20	360,40	240,40
10h	1388,00	1390,50	1261,20	1256,20	853,20
12h	1818,20	1796,70	1615,50	1657,80	1109,20
15h40	259,30	261,00	245,00	248,60	168,50
17h40	63,00	46,00	75,10	91,10	25,80

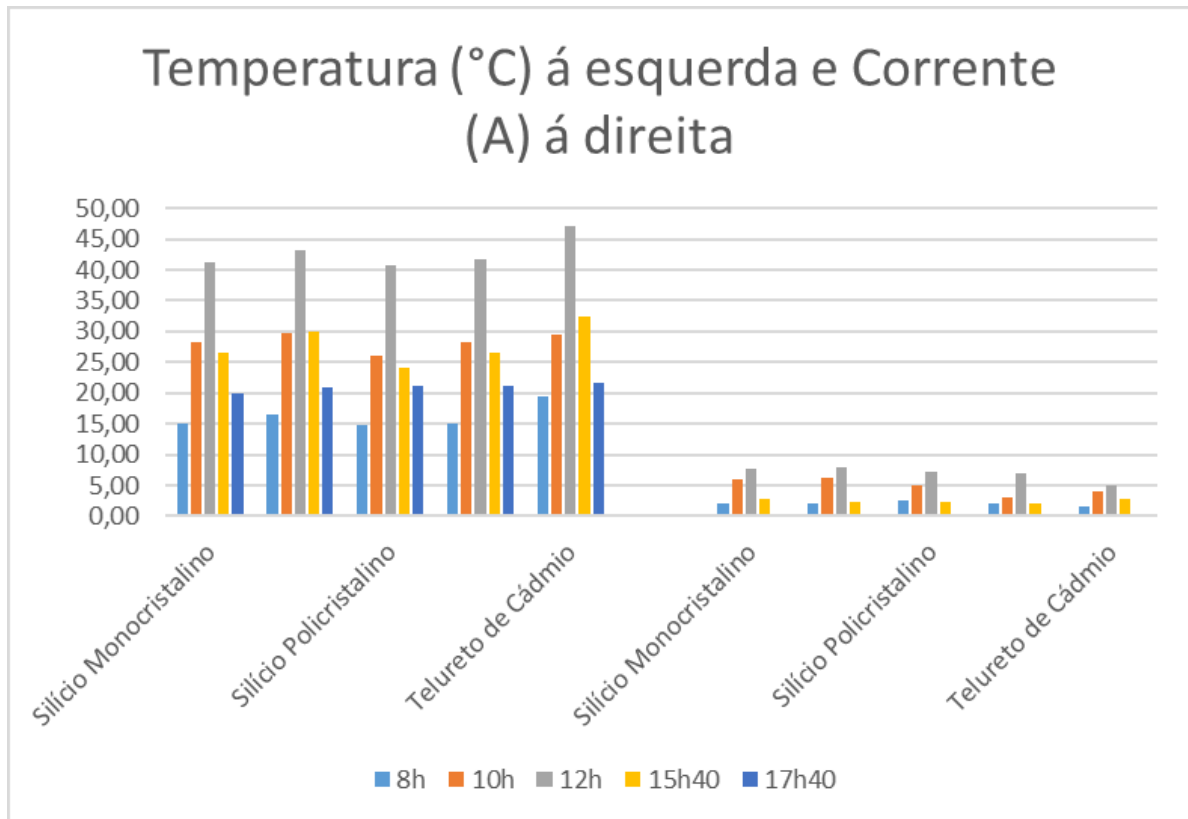
Fonte: Autoria própria (2019)

6.2 Excitação Térmica

Segundo Fadigas (1993) materiais semicondutores são caracterizados por possuírem uma banda de valência totalmente preenchida por elétrons e uma banda de condução totalmente vazia a temperaturas muito baixas.

Desta forma, pode-se observar no gráfico 4, à medida que a temperatura das placas fotovoltaicas se eleva há também uma elevação na corrente do sistema, isso acontece porque com o aumento da temperatura os elétrons excitados são coletados, gerando uma corrente útil.

Gráfico 4 – Relação entre Temperatura e Corrente



Fonte: Autoria própria (2019)

6.3 Estudo de Viabilidade Econômica

Com base na localização da UTFPR em Campo Mourão, o nível de irradiação solar é de 5,29 kWh/m², segundo dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Analisando as faturas de energia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, em 25 meses, no período de novembro de 2017 a novembro de 2019, o valor médio da tarifa é de R\$0,80/kWh.

Avaliando a geração das placas ao longo de um mês, o valor médio produzido de energia somando os três modelos fotovoltaicos é de aproximadamente 1.466,25 kWh/mês.

Para estimar o investimento total, foram realizados três orçamentos em sites de empresas e feita uma média dos valores encontrados. Para esse orçamento foram considerados os preços das placas, dos inversores, da String Box, das eletroferragens e para mão de obra e serviços um custo de 25% do total.

A estimativa da média anual de economia encontrada foi de R\$16.005,60. Enquanto que o investimento total foi de R\$88.000,51.

Calculando o retorno do investimento (ROI) encontramos uma rentabilidade de 18,2% ao ano.

Nessas condições, o tempo aproximado para se ter um retorno financeiro ao investir em módulos fotovoltaicos é de cinco anos e seis meses. Lembrando que a vida útil das placas é de 25 anos, podendo chegar a mais de 40 anos, com as devidas manutenções.

7 CONCLUSÃO

O uso de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica é uma alternativa para a diversificação da produção de eletricidade no país.

Com a implantação do Sistema Fotovoltaico na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, foram encontrados diferentes cenários, após as análises.

Relacionando as diferentes tecnologias, foi possível averiguar a viabilidade de cada um dos sistemas. As placas de Silício Monocristalino foram as que apresentaram maior eficiência energética, conseqüentemente, são mais caras, já as placas de Silício Policristalino têm eficiência um pouco menor que as de Silício Monocristalino e são mais baratas. Os módulos de Telureto de Cádmio são os que possuem menor eficiência energética, porém são esteticamente mais bonitas.

A implantação de sistemas fotovoltaicos é uma alternativa para economia de energia, pois além de reduzirem impactos ambientais, o tempo de retorno do investimento é rápido, quando comparado com seu ciclo de vida.

Para trabalhos futuros, pode-se sugerir o estudo incluindo as placas de Disseleneto de Cobre, Índio e Gálio, a influência das estações do ano na produção de energia e verificar o efeito do sombreamento em módulos fotovoltaicos.

REFERÊNCIAS

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº482**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: Junho de 2019.

ANEEL, C. T. Micro e minigeração distribuída. Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Brasília, DF, Brasil: Centro de Documentação–Cedoc, 2014.

Atlas Solarimétrico do Brasil. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf>. Acesso em: Novembro de 2019.

CRESESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Energia Solar: Princípios e Aplicações**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: Junho de 2019.

COLAFERRO, L. Energia Solar no Brasil. Blue Sol, 2017. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-no-brasil-panorama/>>. Acesso em: Novembro de 2019.

FADIGAS, E.AF. A Dimensionamento de fontes fotovoltaicas e eólicas com base no índice de perda de suprimento e sua aplicação para atendimento à localidades isoladas. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993, 162p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Cidades: Campo Mourão. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=410430>> Acesso em: Novembro de 2019.

LABENS. Laboratório de Energia Solar. **Memorial Descritivo do Campus da UTFPR de Campo Mourão**. Curitiba, 2019.

NASCIMENTO, C. **Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica**. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004. 23 f.

PAULA, S. E. A. **Estudo do Ganho de Energia Elétrica em Painéis Fotovoltaicos Usando Rastreamento Solar Baseado em Sistemas Embarcados**. São Paulo, 2015.

VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e aplicações**. Editora Erica, São Paulo, 2015.

WENHAM, S. R. et al. **Applied photovoltaics**. 2 ed. Australia: Centre for photovoltaic Engineering of UNSW, 2009.

ZILLES, R.; MACÊDO, W. N.; GALHARDO, M. A. B.; OLIVEIRA, S.H.F. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede elétrica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.