

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

BRUNO SHINGO MITSUHASHI

ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM TELHADOS COM
IMAGENS OBTIDAS POR AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS - RPA -
REMOTELY PILOTED AIRCRAFT - UM ESTUDO DE CASO

CAMPO MOURÃO – PR

2019

BRUNO SHINGO MITSUHASHI

ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM TELHADOS COM
IMAGENS OBTIDAS POR AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS - RPA -
REMOTELY PILOTED AIRCRAFT - UM ESTUDO DE CASO

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

Orientador: Prof.º Dr.º José Hilário Delconte Ferreira

CAMPO MOURÃO – PR

2019



TERMO DE APROVAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO INTITULADO

Estimativa do potencial de energia fotovoltaica em telhados com imagens obtidas por aeronaves remotamente pilotadas - rpa - *remotely piloted aircraft* - um estudo de caso

DO(A) DISCENTE

Bruno Shingo Mitsuhashi

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no dia 04 de dezembro de 2019, ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão. O(A) discente foi arguido(a) pela Comissão Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a comissão considerou o trabalho Aprovado com alterações.

Profº. Drº. Edivando Vitor do Couto
Avaliador(a) 1
UTFPR

Profº. Drº. Radames Juliano Halmeman
Avaliador(a) 2
UTFPR

Profº. Drº. José Hilário Delconte Ferreira
Orientador(a)
UTFPR

"O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental".

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus avôs, Mamoru Onodera e Maria Shizue Onodera, que sempre me motivaram e me ajudaram financeiramente, em todo o decorrer desta graduação, se esforçando e não medindo esforços para colaborar durante esses cinco anos.

A minha irmã, Roberta Anna Mitsuhashi, que sempre me motivou, me encorajou, e ficou ao meu lado em toda a minha graduação. Sendo minha psicóloga particular, ajudando a resolver meus problemas diários.

Aos meus amigos e colegas adquiridos neste período, que me aguentaram em momentos difíceis e estresse da vida, e estiveram ao meu lado a todos os momentos. E me ajudaram de alguma forma nesta graduação.

Também agradeço a professora doutora Maria Cristina Rodrigues Halmeman, que me acolheu durante toda a graduação, incluindo-me em projetos e trabalhos, além de me motivar durante os períodos da graduação, e o professor doutor José Hilário Delconte Ferreira, por ter aceito o meu convite para ser o orientador da minha dissertação. Ao professor doutor Edivando Vitor do Couto, que não mediu esforços para realizar o trabalho de campo, e a MONTEC – Topografia e meio ambiente LTDA, representado pelo Sérgio Diego Monteiro de Oliveira, que auxiliou no levantamento de campo, utilizando os equipamentos e auxiliou para que este trabalho fosse realizado. E aos demais professores, que de alguma forma me ajudaram nesta etapa e na minha formação.

“頑張って、負けるな! (*Ganbatte, Makeruna!*)”

(Imai Natsuki; Tsutsumi Yukihiro, 2005)

RESUMO

MITSUHASHI, Bruno Shingo. **Estimativa do potencial de energia fotovoltaica em telhados com imagens obtidas por Aeronaves Remotamente Pilotadas - RPA - *Remotely Piloted Aircraft* - um estudo de caso.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão-PR, 2019.

O intuito deste trabalho foi verificar o potencial de geração de energia fotovoltaica no bairro Jardim Araucária, localizado no município de Campo Mourão-PR. Para realizar essa estimativa, foi utilizada uma aeronave remotamente pilotada – RPA, para obter imagens aéreas do bairro, assim como o modelo digital de elevação, onde foi necessário dividir o bairro em sete partes para adaptar ao tempo de voo disponível com quatro baterias, além de realizar levantamento de campo com GPS-RTK, adquirindo trinta pontos de controle, para obter uma boa precisão no georreferenciamento e obter imagem de boa qualidade. Com o ortomosaico foi possível demarcar o perímetro dos telhados, de forma precisa, de toda área manualmente, e assim determinar a área útil para implantação dos módulos fotovoltaicos, e com a altitude, resultado do modelo digital de elevação, utilizando as ferramentas disponíveis em *softwares* de geoprocessamento, foi possível identificar a inclinação e orientação de todos os telhados, para definir as variáveis de redução da irradiação já estabelecidos em outros trabalhos e determinar a irradiação solar no local. Com todos esses fatores adquiridos, área, irradiação e utilizando a eficiência de conversão do módulo fotovoltaico da marca *Canadian*, foi possível determinar a geração de energia disponível no bairro através de equação matemática já proposta, verificando em qual orientação houve mais produção de energia e se esta geração suprirá a demanda energética no bairro.

Palavra Chave: Drone; Sensoriamento remoto; Energia renovável; Sustentabilidade.

ABSTRACT

MITSUHASHI, Bruno Shingo. **Estimativa do potencial de energia fotovoltaica em telhados com imagens obtidas por Aeronaves Remotamente Pilotadas - RPA - *Remotely Piloted Aircraft* - um estudo de caso.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão-PR, 2019.

The purpose of this work was to verify the potential of photovoltaic energy generation in the Jardim Araucária neighborhood, located in the municipality of Campo Mourão-PR. To make this estimate, a remotely piloted aircraft - RPA was used to obtain aerial images of the neighborhood, as well as the digital elevation model, where it was necessary to divide the neighborhood into seven parts to adapt to the flight time available with four batteries, in addition to conducting field survey with GPS-RTK, acquiring thirty control points, to obtain a good accuracy in georeferencing and obtain good quality image. With the orthomosaic it was possible to precisely demarcate the perimeter of the roofs, manually, of the entire area, and thus determine the useful area for implementation of the photovoltaic modules, and with the altitude, result of the digital elevation model, using the tools available in geoprocessing software, it was possible to identify the inclination and orientation of all the roofs, to define the radiation reduction variables already established in other works and determine the solar irradiation on site. With all these acquired factors, area, irradiation and using the conversion efficiency of the Canadian brand photovoltaic module, it was possible to determine the energy generation available in the neighborhood through the mathematical equation already proposed, verifying in which orientation there was more energy production and if this generation will supply the energy demand in the neighborhood.

Keywords: Drone; Remote sensing; Renewable energy; Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Matriz de geração de energia elétrica no Brasil por origem de geração.	13
Figura 2. Índice mínimo e máximo de irradiação solar nos países da Europa e no estado do Paraná em $\text{kWh.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$	14
Figura 3. Tipos de células fotovoltaicas comumente produzidos.	15
Figura 4. Sequência esquematizado para a formação do painel solar.	16
Figura 5. Curvas das células fotovoltaicas quando ligadas em série (a) e em paralelo (b).	17
Figura 6. Tipos de Aeronaves Remotamente Pilotadas.	19
Figura 7. Localização do bairro Jardim Araucária no município de Campo Mourão - PR.	21
Figura 8. Delimitação das áreas de levantamento e posicionamento dos pontos de controles.	23
Figura 9. Interface do software DroneDeploy.	23
Figura 10. Ortomosaico obtido do bairro Jardim Araucária.	26
Figura 11. Exemplo de junção de imagens do Google Earth.	27
Figura 12. Todos telhados localizados no Jardim Araucária.	28
Figura 13. Hipsometria do bairro Jardim Araucária.	29
Figura 14. Orientação dos telhados no bairro Jardim Araucária.	30
Figura 15. Comparação entre o telhado e o resultado obtido da orientação do telhado.	31
Figura 16. Energia anual normalizada do SFCR sob diversos ângulos de orientação em Curitiba-PR.	32
Figura 17. Irradiação no plano horizontal do bairro Jardim Araucária.	33
Figura 18. Distribuição da geração de energia dos telhados.	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Orientação dos telhados conforme angulação dos telhados.	25
Tabela 2. Orientação e área de telhados no bairro Jardim Araucária.	32
Tabela 3. Irradiação resultante da inclinação dos telhados e orientações.	34
Tabela 4. Geração de energia fotovoltaica com o painel da marca <i>Canadian</i>	34

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	10
1.1.	OBJETIVOS	11
1.1.1.	Objetivo geral	11
1.1.2.	Objetivos específicos	11
1.2.	Justificativa	12
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1.	Energia Solar.....	13
2.2.	Radiação Solar	13
2.3.	Energia Fotovoltaica.....	15
2.4.	Geração e Sistema Fotovoltaico.....	17
2.4.1.	Geração fotovoltaico.....	17
2.4.2.	Sistemas fotovoltaicos	18
2.5.	Aeronave Remotamente Pilotada	19
2.6.	Sensoriamento Remoto.....	19
3.	METODOLOGIA.....	21
3.1.	Caracterização da área de estudo	21
3.2.	Mapeamento de telhados.....	22
3.2.1.	Planejamento de voo.....	22
3.2.2.	Levantamento de voo.....	24
3.2.3.	Processamento de dados	24
3.3.	Potencial de geração por módulo fotovoltaico	25
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
4.1.	Mapeamento dos telhados	26
4.2.	Área e orientação dos telhados	28
4.3.	Estimativa da irradiação solar	32
4.4.	Produção de energia fotovoltaica	34

5. CONCLUSÃO.....	36
REFERÊNCIAS	37

1. INTRODUÇÃO

A sociedade moderna possui alguns fatores essenciais para a sua sobrevivência, e uma delas é a disponibilidade de energia elétrica (HINRICHS; KLEINBACH; REIS, 2010). Com o crescimento populacional e o desenvolvimento industrial desenfreado, faz com que diversos estudos sobre energia sejam realizados, como o aprimoramento no aproveitamento de geradores já existentes, aumentando por consequência a sua eficiência, e buscas por novas fontes de energias limpas e renováveis, que ajudam a suprir as necessidades energéticas de forma sustentável, melhorando assim a qualidade de vida dos seres vivos (LODI, 2011).

No Brasil, o recurso hídrico é abundante, sendo utilizado de forma excessiva para a geração de energia elétrica através das hidrelétricas, podendo este ser classificado como Usina Hidrelétrica (UHE), Central Geradora Hidrelétrica (CGH) e Pequena Central Hidrelétrica (PCH). Na construção das usinas, ocorre a degradação de áreas de vegetação e áreas de uso social (BORGES NETO; CARVALHO, 2012). Além de possíveis rompimentos e extravasamentos de lagos em pequenas e grandes barragens, que podem ocasionar danos ao meio ambiente (SILVA JÚNIOR et al., 2018).

Devido à forte estiagem registrada no Brasil, muitos locais com barragens de hidrelétricas atingiram níveis críticos, fazendo com que sejam criadas estratégias emergenciais (DUPONT; GRASSI; ROMITTI, 2015). Como o acionamento das usinas nucleares Angra 1 e Angra 2, com uma potência máxima de 1.990 MW, mas esta energia possui impactos sociais e ambientais negativos com a geração de resíduos radioativos, podendo provocar contaminação de solo, ar e água, além de ocasionar doenças como câncer (HINRICHS; KLEINBACH; REIS, 2010).

Entretanto, para substituir a fonte geradora atual no todo ou parte dela, é necessário mais estudo para confirmar a eficiência energética do modelo proposto, a viabilidade econômica para a inserção deste no mercado, visando a maior facilidade de aquisição e utilização dos produtos criados (LIMA, 2019).

Esta energia é gerada por fontes renováveis, como energia solar, eólica, hidráulica, e/ou por fontes não renováveis como o petróleo, gás natural, carvão mineral. Mesmo com essa diversidade, o mais utilizado na matriz energética mundial é o combustível fóssil, que por sua vez, é esgotável e possui um alto índice poluidor em sua queima (TORRES, 2012).

Pelas características geográficas do Brasil, principalmente no nordeste brasileiro, existem várias fontes alternativas de energia principais, sendo as principais, a eólica, devido a quantidade de vento no local e a solar, devido a irradiação próxima a linha equatorial. Mesmo no estado do Paraná que fica afastado, possui uma irradiação solar maior que a máxima irradiação da Alemanha, país que é referência na produção de energia fotovoltaica (SALAMONI; RÜTHER, 2007).

A energia fotovoltaica, é uma fonte de energia limpa. Por meio de placas, geralmente localizadas em telhados, produzem energia para o uso próximo ao local de consumo, podendo estender para terceiros ou até se tornar uma usina. Com isso, reduz-se a necessidade de construções de grandes empreendimentos para gerar energia elétrica. E ainda pode alcançar pessoas não beneficiadas com rede de transmissão de energias. (QUIRÓS; POZO; CEBALLOS, 2018; FREITAS; FREITAS, 2018; HASS, 1995).

Para realizar a estimativa e o dimensionamento das placas geradoras de energia, são utilizadas ferramentas de geoprocessamento, onde através de imagens de satélites ou aerofotogrametria, de alta resolução, é possível determinar a real distribuição do potencial solar nas superfícies de construções para análises precisas (LI; LIU, 2017). Para auxiliar as imagens, o LiDAR – *Light Detecting And Ranging*, é utilizado para gerar produtos como o MDT (Modelo Digital de Terreno) e o MDS (Modelo Digital de Superfície), através de feixes de laser na banda do infravermelho próximo, porém o custo deste sensor é muito elevado (BRITO *et al.*, 2011).

Portanto este estudo teve como objetivo estimar a quantidade de energia produzida através de equações matemáticas, no bairro Jardim Araucária do município de Campo Mourão, utilizando imagens de RPA (*Remotely Piloted Aircraft*), conhecido como drone para realizar o mapeamento dos telhados utilizando tecnologias acessíveis de sensoriamento remoto, assim como determinar sua orientação e área útil.

1.1.OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Utilizar o aerolevanteamento por RPA para estimar o potencial de energia fotovoltaica em telhados, no bairro Jardim Araucária do município de Campo Mourão – PR.

1.1.2. Objetivos específicos

Tendo em vista o objetivo geral, será utilizado, no trabalho, alguns objetivos específicos, como:

- Realizar o mapeamento dos telhados através de aerolevanteamento por RPA;
- Identificar a área total e orientação dos telhados para a instalação de placas fotovoltaicas;
- Obter o índice de insolação no município de Campo Mourão – PR; e
- Calcular a estimativa do potencial de geração de energia fotovoltaica no bairro.

1.2. Justificativa

Os estudos existentes de estimativas para a geração de energia fotovoltaica, normalmente é realizado pelo sensor LiDAR, que possui um valor agregado alto, ou por imagens de satélites, porém essas imagens, quando em alta resolução também possuem um valor agregado alto, e os gratuitos estão desatualizados, podendo não existir a construção desejada.

Assim, torna-se importante este estudo, com as imagens de RPA, uma vez que o custo de geração reduz e é possível obter resultados com agilidade e praticidade. Além de obter o MDE (Modelo Digital de Elevação), informação que não está presente na aerofotogrametria tradicional.

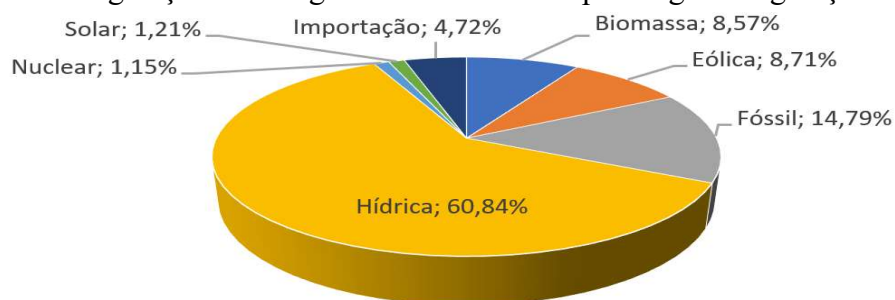
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Energia Solar

A energia solar é uma fonte geradora de calor e luz, sendo utilizada pelas células fotovoltaicas para converter a luz direta incidente em energia elétrica. O Sol é uma fonte inesgotável na escala de tempo terrestre (PINHO; GALDINO, 2014).

A produção de energia elétrica e aquecimento de água, através da radiação solar, vem sendo utilizada no Brasil, para atingir a população isolada e que não possui energia em sua residência devido a inacessibilidade ao local. Além de diminuir a sobrecarga hoje existente nas hidrelétricas, onde no Brasil possui 60,26% da energia gerada, Figura 1 (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2019).

Figura 1. Matriz de geração de energia elétrica no Brasil por origem de geração.



Fonte: Adaptado de Agência Nacional de Energia Elétrica, 2019

2.2. Radiação Solar

A radiação solar, denominada também como energia total incidente sobre a superfície terrestre, depende das condições atmosférica, como nebulosidade, umidade relativa do ar, latitude e período do ano. Isso é ocasionado pela inclinação aproximado de $23,45^\circ$ em relação ao plano equatorial do eixo imaginário de rotação do planeta, e também da translação da Terra, movimento elíptico em torno do Sol. Com isso ocorrem variações na duração de radiação solar em determinados locais, podendo ser 24 horas de insolação em algumas áreas, assim como nulo em outros (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2005).

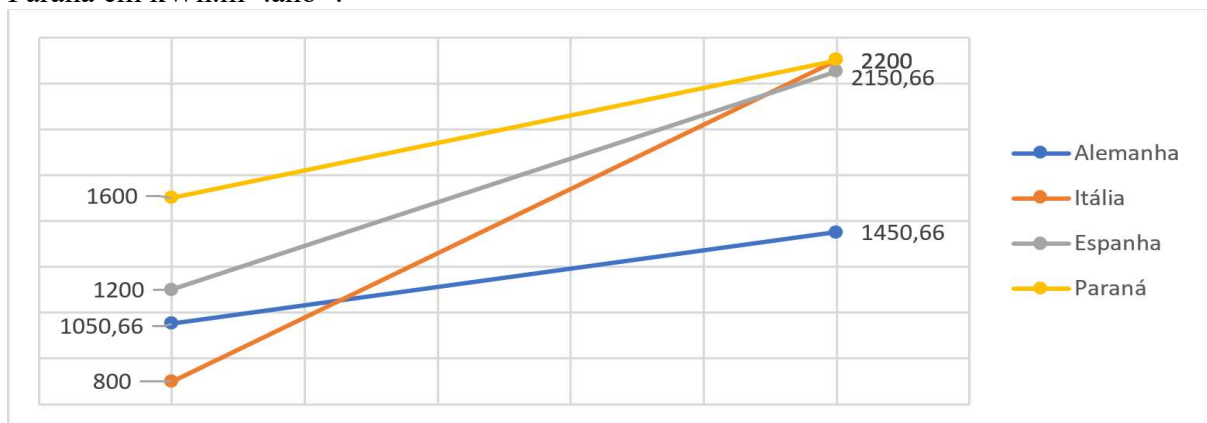
Conforme dados de Vianello e Alves (1991), a maior variação de duração de claridade, ocorrem nas regiões polares e nos períodos de solstício. E nos períodos de equinócio e na linha do Equador, a incidência solar ao longo do ano é constante. O Brasil, em sua maior parte, está localizado relativamente próximo a linha do Equador, porém a maioria da população e as

atividades socioeconômica do País, está localizado nas regiões mais distantes da linha do Equador. Como exemplo, tem-se o município de Porto Alegre, localizado no estado do Rio Grande do Sul, próximo do 30° S, a duração da insolação é de 10 horas e 13 minutos em junho e de 13 horas e 47 minutos em dezembro.

Em um sistema fotovoltaico, para obter um melhor aproveitamento da irradiação solar, o coletor ou painéis solares, podem ser ajustadas conforme a latitude, que é denominado como irradiação solar no plano inclinado, e o período do ano que possua maior tempo de radiação. Como o Brasil localiza-se no hemisfério sul, as placas devem ser orientadas para o norte geográfico com a angulação similar ao da latitude local (PINHO; GALDINO, 2014).

A European Commission, no ano de 2012, disponibilizou a irradiação solar no plano inclinado da Europa, e no Brasil foi disponibilizado no ano de 2006. Os maiores países com capacidade total instalada de energia fotovoltaica, no ano de 2012, era a Alemanha, que possui uma irradiação solar de 1.050 a 1.450 kWh.m⁻².ano⁻¹, a Itália com 800 a 2.200 kWh.m⁻².ano⁻¹ e a Espanha com 1.200 a 2.150 kWh.m⁻².ano⁻¹. E no estado do Paraná, a irradiação solar no plano inclinado é de 1.600 a 2.200 kWh.m⁻².ano⁻¹, valores que quando comparado com a Alemanha, são superiores, onde a menor irradiação do Paraná é superior a maior irradiação da Alemanha, conforme Figura 2 (EUROPEAN COMISSION, 2012; PEREIRA; MARTINS; ABREU; RUTHER, 2006; TIEPOLO; CANGIOLIERI JÚNIOR; URBANETZ JÚNIOR; VIANA; PEREIRA, 2014).

Figura 2. Índice mínimo e máximo de irradiação solar nos países da Europa e no estado do Paraná em kWh.m⁻².ano⁻¹.



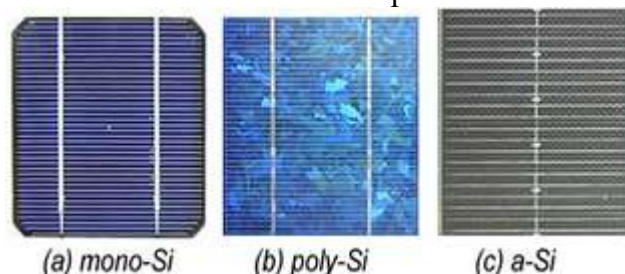
Fonte: Adaptado de EUROPEAN COMISSION, 2012. PEREIRA; MARTINS; ABREU; RUTHER, 2006. e TIEPOLO; CANGIOLIERI JÚNIOR; URBANETZ JÚNIOR; VIANA; PEREIRA, 2014.

2.3. Energia Fotovoltaica

O módulo fotovoltaico possui um *design* simples e robusto, não há necessidade de muitas manutenções, e com o auxílio de baterias estacionárias, é possível criar uma rede autônoma de geração de energia. A geração de energia fotovoltaica ocorre de forma direta, onde a energia luminosa é convertida para energia elétrica sem a necessidade de um motor térmico instalado, sendo utilizado como uma fonte de energia, bombeamento de água, edificações remotas, comunicações, satélites e veículos espaciais, e até para usinas elétricas (PARIDA; INIYAN; GOIC, 2011).

Para que ocorra a conversão direta da radiação solar para energia elétrica, é necessário um material semicondutor, comumente utiliza-se o silício cristalino com uma representatividade de 87,9% do mercado nacional no ano de 2011. E os módulos são classificados de acordo com o tipo de cristalização utilizado para a criação das células, sendo divididos em três tipos (Figura 3), o monocristalino (mono-Si), o policristalino (poly-Si) e o silício amorfo (a-Si) (PINHO; GALDINO, 2014).

Figura 3. Tipos de células fotovoltaicas comumente produzidos.



Fonte: CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA, 2015

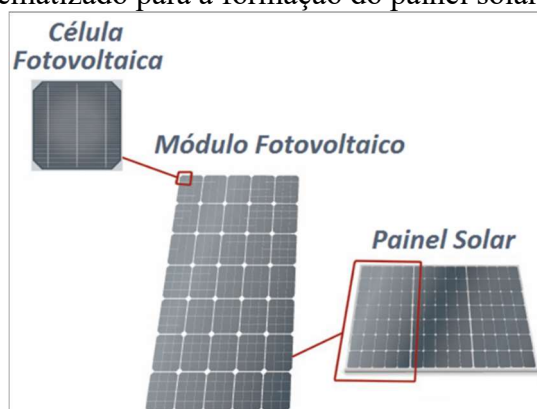
As células de silício monocristalino, são formadas por um único cristal de silício, com organização atômica simétrica e perfeita, sendo o tipo mais usado nos mercados, uma vez que a sua eficiência máxima é de 23%. O silício policristalino, é formado por um agrupamento de silício, em uma única barra retangular e recortada em bloco em lâminas finas, tendo como vantagem a diminuição do preço do produto final, devido a redução do custo na fabricação, com a eficiência abaixo de 15%. E o silício amorfo, é uma das primeiras tecnologias de filme fino desenvolvida, constituída sem a formação de uma rede cristalina de silício, e propenso à degradação, com a eficiência de até 7% e com a dupla ou tripla junção a eficiência é de até 10% (RUTHER, 2004; PARIDA; INIYAN; GOIC, 2011; EL CHAAR; LAMONT; EL ZEIN, 2011).

Existem também outros materiais semicondutores utilizados para a produção de células fotovoltaicas, como o cádmio na forma de telureto de cádmio (CdTe) e sulfeto de cádmio (CdS), arsenieto de gálio (GaAs), disseleneto de cobre índio (CuInSe₂) e dióxido de titânio (TiO₂), que possuem um rendimento de conversão tão boa quanto o silício, porém devido ao elevado custo de produção e problemas quanto a toxicidade ou dificuldade de reciclagem dos elementos, estes não são utilizados (PARIDA; INIYAN; GOIC, 2011; HINRICHS; KLEINBACH, 2010).

E com o desenvolvimento das células orgânicas fotovoltaicas com filme finos de aproximadamente 10nm de semicondutores orgânicos como polímeros e compostos de pequenas moléculas como pentaceno, polifenileno venileno, ftalocianina de cobre e fulerenos de carbono, que possuem características atraentes como a flexibilidade e a semitransparência, a possibilidade de fabricação em um processo contínuo, integração com outros dispositivos, baixo custo de produção e vantagens ecológicas, porém a barreira que a célula orgânica enfrenta é a vida útil, que varia de 3 a 5 anos, onde as placas de silício possuem vida útil de aproximadamente 25 anos (EL CHAAR; LAMONT; EL ZEIN, 2011; BRABEC; HAUCH; SCHILINSKY; WALDAUF, 2005).

O painel fotovoltaico, demonstrado na Figura 4, é formado por um conjunto de módulos, e cada módulo por um conjunto de células. A quantidade de células conectadas com arranjos que podem ser em série e/ou paralelo, variam de acordo com a tensão e a corrente desejada (KHAIR, 2016).

Figura 4. Sequência esquematizado para a formação do painel solar.

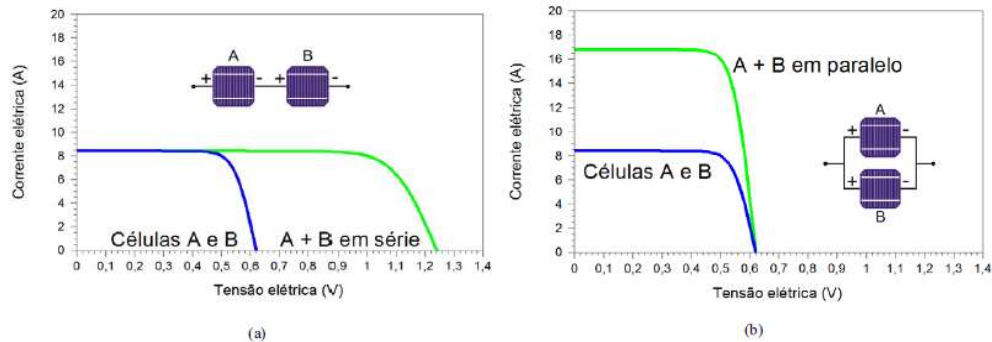


Fonte: Khair (2016)

Em algumas atividades, um único módulo não é capaz de suprir a necessidade de energia, sendo preciso realizar o aumento na tensão (V) ou aumento na corrente elétrica (I). Os

módulos podem ser associados em série, Figura 5(a), quando o terminal positivo de um módulo é ligado no terminal negativo de outro módulo, as tensões são somadas e a corrente elétrica não é afetada. E quando o módulo é associado em paralelo, Figura 5(b), os terminais positivos dos módulos são interligados assim como os terminais negativos, a tensão não é afetada e a corrente elétrica é somada (PINHO; GALDINO, 2014).

Figura 5. Curvas das células fotovoltaicas quando ligadas em série (a) e em paralelo (b).



Fonte: Adaptado de Pinho e Galdino (2014).

2.4. Geração e Sistema Fotovoltaico

2.4.1. Geração fotovoltaico

No Brasil, o modelo mais tradicional na atualidade é a geração centralizada, onde grandes centrais geradoras, usinas, produzem energia elétrica e encaminham através da rede de distribuição. Existe também a geração distribuída, onde a energia elétrica é produzida próxima do local onde será consumido, ou seja, na residência, na empresa, na área rural, desde que haja incidência de luz solar e este pode estar conectado na rede de distribuição ou não (BRAUN-GRABOLLE, 2010).

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (2015), com a Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015, define que:

- Microgeração distribuída é dada para a central geradora de energia elétrica que utilize fonte renováveis que possui uma potência instalada inferior ou igual a 75 kW, conectada na rede de distribuição por meio de instalação de unidades consumidoras;
- Minigeração distribuída para a central geradora que possua uma potência instalada inferior ou igual a 5 MW, para fontes renováveis, e conectada na rede de distribuição por meio de instalação de unidades consumidoras; e

- Sistema de compensação de energia elétrica, é quando o sistema produz energia elétrica e cede para a distribuidora local, introduzindo na rede distribuidora local. Que posteriormente a energia é consumida pelo gerador.

No Brasil, com o fracasso da Medida Provisória nº 579 de 2012, que previa a redução das tarifas de energia, ocasionando o endividamento das concessionárias, e com a Resolução Normativa nº 687 de 2015, ocorreu um aumento significativo da implantação de novos sistemas de geração distribuída por consumidores residenciais e comerciais. A isenção do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) válido até 31 de dezembro de 2021, suporte do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), facilitando o financiamento de projetos para geração distribuída, também auxiliou para o crescimento na geração distribuída fotovoltaica com um crescimento de 90% e um crescimento de 1490% na potência instalada de 2015 a 2017 (LUNA; CUNHA; MOUSINHO; TORRES, 2019), com uma geração de 2,1032 GW por radiação solar, sendo 2,8383 MW por microgeração e 52,5793 MW por minigeração.

2.4.2. Sistemas fotovoltaicos

O sistema de rede isolado (*off-grid*) com armazenamento, é utilizado, em sua maioria das vezes, em áreas inacessíveis, onde não haja rede de distribuição no local. Assim, a geração de energia deverá ser superior ao consumo diário, armazenando a energia em baterias estacionárias para ser utilizado em períodos que não haja presença de luz solar, ocorrendo em horários noturnos ou com alta presença de nebulosidade. No armazenamento é necessário que haja um controlador de carga e inversor de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA). Já o sistema sem armazenamento, é utilizado para o consumo de energia pontual, muito utilizado em bombeamento de água, onde não há necessidade de armazenar a energia elétrica.

No sistema de rede híbrido é a soma de fontes geradoras de energia elétrica, onde utiliza-se da energia fotovoltaica enquanto houver energia luminosa e ao escurecer, utiliza-se outro tipo de fonte como energia eólica, gerador de energia a diesel, hidrelétrica, entre outros.

E o sistema conectado à rede (*on-grid*), que vem sendo utilizado em sua maioria nas áreas urbanas, onde há presença de rede de distribuição, para que ocorra a troca de energia através de um medidor bidirecional, sendo aferido a demanda e a produção de energia. Neste sistema toda a produção é utilizada ou a sobra é transferida para a rede pública de distribuição (PINHO; GALDINO, 2014; RUTHER, 2004; PARIDA; INIYAN; GOIC, 2011).

2.5. Aeronave Remotamente Pilotada

Aeronave Remotamente Pilotada, em inglês *Remotely Piloted Aircraft* (RPA), são popularmente denominados como Drone, e para a classificação dessas aeronaves, utiliza-se a Instrução ICA 40-100, expedida pelo Comando da Aeronáutica Brasileira (BRASIL, 2017).

Uma aeronave remotamente tripulada, é qualquer aparelho que fique suspenso na atmosfera, a partir da reação do ar que não sejam as reações do ar contra a superfície da Terra, e que a operação deste seja realizada sem piloto a bordo.

As aeronaves podem conter asa rotativas (Figura 6-b), com quatro, seis, oito hélices, ou mais, depende da situação de uso, e as aeronaves com asa fixa (Figura 6-a), sendo utilizados para segurança como em apoio tático, reconhecimento e controle de áreas de risco, segurança patrimonial, avaliação da condição de rodovias e linhas férreas, tendo seu uso para o meio ambiente através do monitoramento de áreas de preservação permanente, monitoramento de poluentes, avaliação ambiental, avaliação de zonas de desastre, também na agropecuária com agricultura de precisão e monitoramento de rebanhos e pastagens (YEPES; BARONE, 2018).

Figura 6. Tipos de Aeronaves Remotamente Pilotadas.



Fonte: Adaptado de Horus (2019) e DJI (2019).

Esses aparelhos com auxílio de um *software* para realizar o processamento das imagens obtidas, reproduzem mapas de Modelo Digital de Elevação da mesma forma que o sensor Lidar, de uma forma mais barata e com a mesma eficácia, e os ortomosaicos com resolução espacial de aproximadamente cinco centímetros e precisão de 2 centímetros de erro, quando realizado o georreferenciamento com GPS-RTK (LEMES; AMORIM; GALO; CAMARGO, 2016).

2.6. Sensoriamento Remoto

As imagens obtidas pela Aeronave Remotamente Pilotada, tanto o ortomosaico como o Modelo Digital de Elevação, podem ser tratadas através de *software*, o processo de captura

onde o sensor e a superfície terrestre, ou aquática, não tiver contato, esse procedimento é denominado como sensoriamento remoto. Sendo utilizados em mapeamentos temáticos, monitoração ambiental, identificação do desmatamento florestal, cartografia de precisão, entre outros (GORGENS; SILVA; RODRIGUE, 2014; MENEZES; ALMEIDA, 2012).

A resolução espacial é a capacidade de um sensor captar um objeto quanto as formas e distância entre objetos, então, quanto menor a resolução espacial, mais detalhes, ou maior capacidade de distinguir os objetos. E a resolução espectral é a medida de faixas espectrais, que se refere à sensibilidade da faixa espectrais (NOVO,2011). Onde no Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais foi o marco para o avanço nacional no uso dessas tecnologias e estudos em sensoriamento remoto (MENEZES; ALMEIDA, 2012).

Com os produtos obtidos, imagens, é feito o processamento e realizado a fotointerpretação, que é a análise dos produtos obtidos, de forma visual, em monitores, ou material impresso. Sendo necessário ter paciência e ter experiência nas áreas a serem trabalhadas (PARANHOS FILHO; LASTORIA; TORRES, 2008).

Para a identificação de telhados, a escala é importante, pois esta limita o serviço a ser feito, facilitando ou dificultando o mapeamento. Alguns fatores são importantes além da imagem, como taxa de aproveitamento da placa, a área do telhado da edificação, a sombra que pode existir, inclinação e orientação dos telhados (LANGE 2012; RÜTHER, 2004).

Sendo a tecnologia mais moderna para realizar levantamentos de telhados, o LiDAR (*Light Detection and Ranging*), este sensor cria modelos tridimensionais do terreno com alta resolução, com dados coletados a laser com aeronaves. Com esta tecnologia, é possível calcular a elevação, orientação, sombreamento, sendo uma das ferramentas para este tipo de serviço (MITISHITA; CENTENO, 2015; TORRES, 2015).

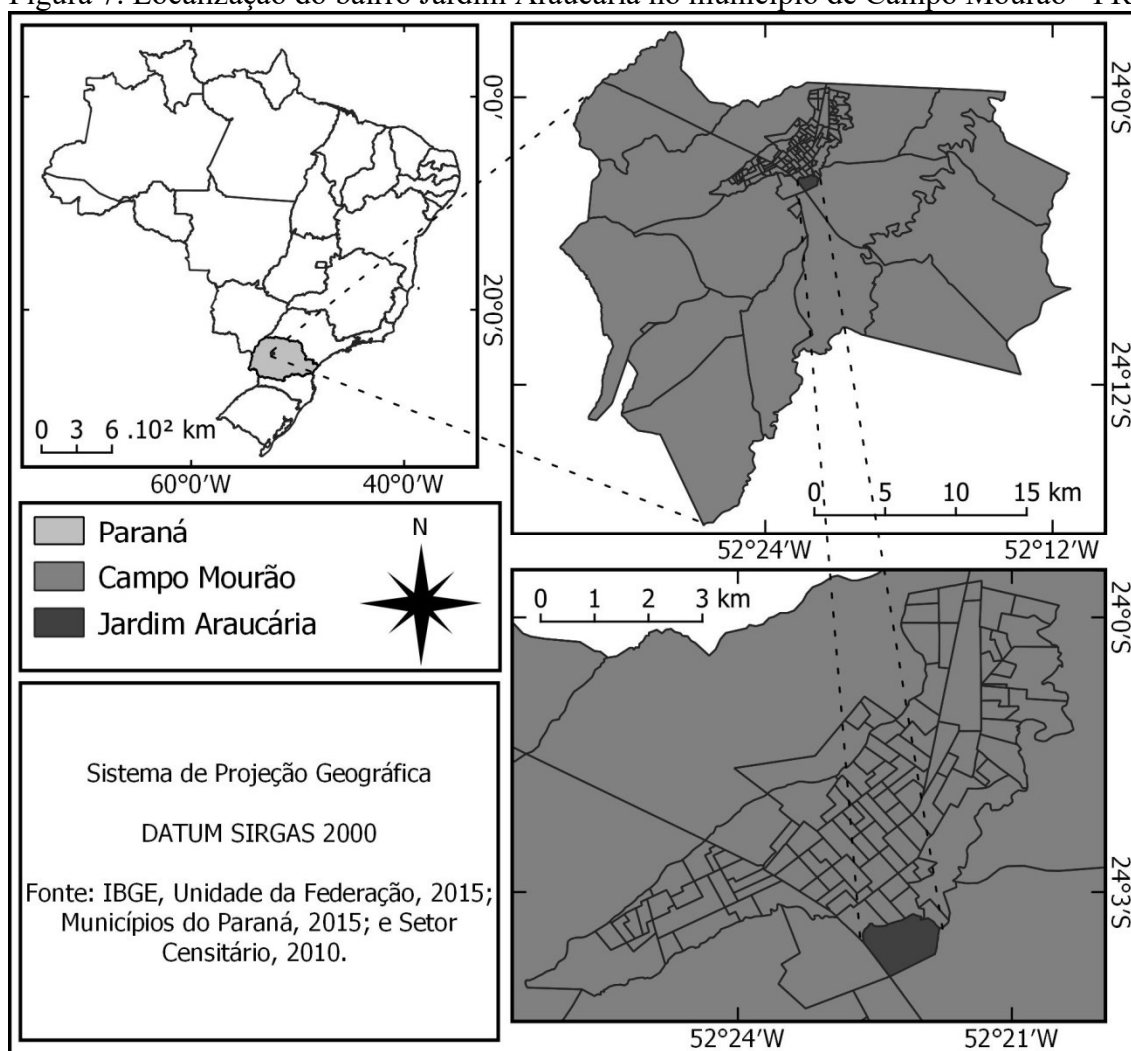
Um dos *softwares* utilizados para realizar o processamento dos dados obtidos no sensoriamento remotos é o Sistema de Informação Geográfica (SIG), ou *Geographic Information System* (GIS) do inglês, esses recursos para Torres (2015), são um dos melhores para estimar o potencial fotovoltaico em uma área, onde é possível cruzar dados de informações de diversos formatos, sendo imagens, polígonos, linhas, altitude do terreno, entre outros, representando o resultado final em mapas.

3. METODOLOGIA

3.1. Caracterização da área de estudo

Este trabalho foi realizado no bairro Jardim Araucária, Figura 7, situado no município de Campo Mourão, localizado no Centro Oeste do estado do Paraná, com uma área de 763,637 km², e uma população estimada para 94.212 habitantes no ano de 2018, e uma densidade demográfica de 123 hab.km⁻² (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2018; INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL, 2019).

Figura 7. Localização do bairro Jardim Araucária no município de Campo Mourão - PR.



Fonte: Autoria própria (2019).

O município possui um clima do tipo subtropical úmido (Cfa) pela classificação de Köppen-Geiger (1948), com verões quentes, poucas geadas e uma concentração de chuva nos meses de verão. A média para temperaturas no mês mais frio é inferior a 18°C e a temperatura

média no mês mais quente é acima de 22°C. Com temperatura média anual de 18,2 °C, e a precipitação bem distribuída ao decorrer dos meses, com uma média não muito superior a 1.000 mm (ALVARES; STAPE; SENTELHAS; GONÇALVES; SPAROVEK, 2014).

Na hidrografia do município, o Rio Mourão corta a cidade de Sul a Norte, sendo o maior potencial hidrodinâmico com potência instalada de 8,2 MW, este produzido pela Usina Hidrelétrica Mourão, que está localizado na margem direita do rio, sentido a jusante e a usina Salta Natal, logo abaixo, localizado a 6 km do centro da cidade (COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA, 1999). Outros rios como o rio Km 119 e o Rio do Campo, afluentes da margem esquerda do Mourão são importantes por serem condicionantes físico-naturais à expansão urbana de Campo Mourão.

3.2. Mapeamento de telhados

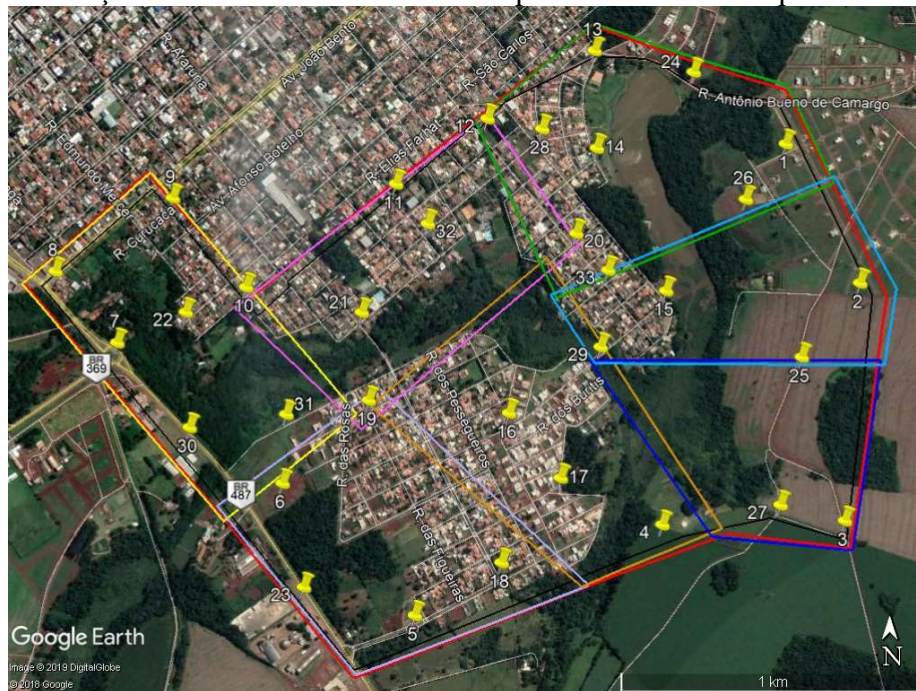
Para determinar a estimativa de produção de energia fotovoltaica em um local, foram identificados alguns parâmetros, como a área total disponível para a instalação dos módulos e a orientação dos telhados disponíveis.

A área total e orientação de telhados disponíveis no bairro Jardim Araucária, foi realizado através de geoprocessamento de imagem aérea, utilizando o ortomosaico e modelo digital de elevação (MDE), obtidas pelo RPA.

3.2.1. Planejamento de voo

Para o planejamento de voo e para a obtenção de ortomosaico e MDE por imagens de RPA, foi necessário delimitar a área, do bairro Jardim Araucária, utilizando o *software* Google Earth Pro, versão 7.3.2.5776 (64 bits), com a ferramenta polígono. Com o contorno desenhado, o bairro foi dividido em sete parcelas, com tamanho inferior à capacidade de varredura que o RPA conseguirá realizar utilizando quatro baterias, sendo estimado uma área de no máximo 65 hectares. E também, foi determinado no mínimo 30 pontos de controle, Figura 8, utilizados para realizar o georreferenciamento das imagens, sendo necessário para uma melhor precisão e qualidade no resultado do processamento da imagem. Os locais dos pontos de controle, devem ser de fácil acesso, com pouca movimentação, de pessoas ou veículos, fácil visualização, sem obstruções visuais na parte superior, como árvores, postes, prédios, entre outros.

Figura 8. Delimitação das áreas de levantamento e posicionamento dos pontos de controle.



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro (2019).

As parcelas foram importadas no software DroneDeploy, programa que realiza ajustes para o voo do RPA. Neste programa, Figura 9, é definida a altura de voo, que foi de 120 metros, é preciso verificar se há alguma rede de transmissão de energia elétrica ou construção de risco de colisão, nas configurações avançadas define-se a sobreposição frontal e lateral das imagens, será utilizado 80%, velocidade de voo do drone, em 15 m.s^{-1} , direção de voo para determinar o início e final do levantamento. Sendo necessário realizar o ajuste para cada uma das sete parcelas para realizar o voo.

Figura 9. Interface do software DroneDeploy.



Fonte: Adaptado de DroneDeploy (2018).

3.2.2. Levantamento de voo

Antes de realizar o levantamento de voo com o drone para a obtenção das imagens aéreas, é necessário que seja escolhido dias em que não haja muita nebulosidade, onde o céu não possua grandes quantidades de nuvens, e ausência de rajadas de ventos, uma vez que acontece o deslocamento do RPA nas rajadas causando ruído nas fotos obtidas.

Escolhido o dia, foram realizadas marcações para os pontos de controle, utilizando um *banner* com um corte no meio em formato de “x” estendido no solo e com o auxílio do pó de cal, este será espalhado dentro do corte para que a marcação fique no local desejado. E com o auxílio de um aparelho com GPS (*Global Positioning System*, do inglês, Sistema de Posicionamento Global) e RTK (*Real Time Kinematic*, do inglês, Posicionamento Cinemático em Tempo Real), da marca GeoMax, modelo ZENITH 25, foram coletados os pontos de controle. A base será instalada dentro de uma residência com as coordenadas 360.764,091 E (*east*) e 7.338.910,46 S (*south*), para evitar danos e roubos do aparelho. Para esse procedimento, é importante verificar ao redor, para que não haja nenhum obstáculo que possa de alguma forma esconder a marca nas fotos obtidas pelo RPA.

Com o drone *Phantom 4*, da marca DJI, foi realizado o voo sobre a área do bairro Jardim Araucária, com as rotas definidas pelo DroneDeploy. Com a finalização do voo, foi realizado o *backup* das imagens em um computador e em um *HardDisk* (HD) externo.

3.2.3. Processamento de dados

Os pontos coletados pelo aparelho GPS RTK, precisam ser processados, e foi utilizado o *GeoMax Geo Office* (GGO), para reduzir os erros nas coordenadas e nas altitudes. E as imagens obtidas pelo RPA também precisam ser processadas, uma vez que o drone possui apenas GPS de navegação, onde os erros podem chegar a metros de deslocamento.

O processamento da imagem obtida pelo drone foi realizado no *software Agisoft Metashape Professional*, versão 1.5.1 build 7618. Neste programa, é importado as imagens captadas pelo RPA, assim como os pontos coletados para servir como ponto de coleta. Sendo realizado o alinhamento das imagens e sendo desenvolvido o ortomosaico e o MDE.

Para definir a área total de telhado disponível para a implantação de painéis fotovoltaicos, foi utilizado o software QGIS, versão 3.4 e o ortomosaico. Onde através das ferramentas disponíveis no programa, foi realizado uma classificação manual.

Para determinar a inclinação e orientação do telhado, foi utilizado o MDE, , no *software* QGIS, através da ferramenta declividade e aspecto. A inclinação é dado em porcentagem, e a orientação pelo aspecto em angulação com relação ao norte (azimute), respectivamente, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Orientação dos telhados conforme angulação dos telhados.

ORIENTAÇÃO	ANGULAÇÃO (°)
N	337,5 - 22,5
NE	22,5 - 67,5
E	67,5 - 112,5
SE	112,5 - 157,5
S	157,5 - 202,5
SW	202,5 - 247,5
W	247,5 - 292,5
NW	292,5 - 337,5

Fonte: Aatoria própria, 2019.

3.3. Potencial de geração por módulo fotovoltaico

A irradiação e a incidência solar por dia, foram estimadas através da literatura de Pereira, Martins, Abreu e Rütther (2006), que realizou estudos em um período de julho de 1995 a dezembro de 2005 para a obtenção dos resultados. E também será utilizado módulos fotovoltaicos da marca Canadian, modelo 355P, que possui uma eficiência de 18,26% de conversão, e uma potência nominal de 355W (Canadian Solar, 2019).

Para o cálculo da geração de energia, será utilizada a Equação 1, onde E_m é a energia produzida diariamente, A é a área do módulo, η é a eficiência do módulo e E_s é a irradiação solar local. E conforme a orientação do telhado a irradiação altera.

$$E_m = A * \eta * E_s \quad (1)$$

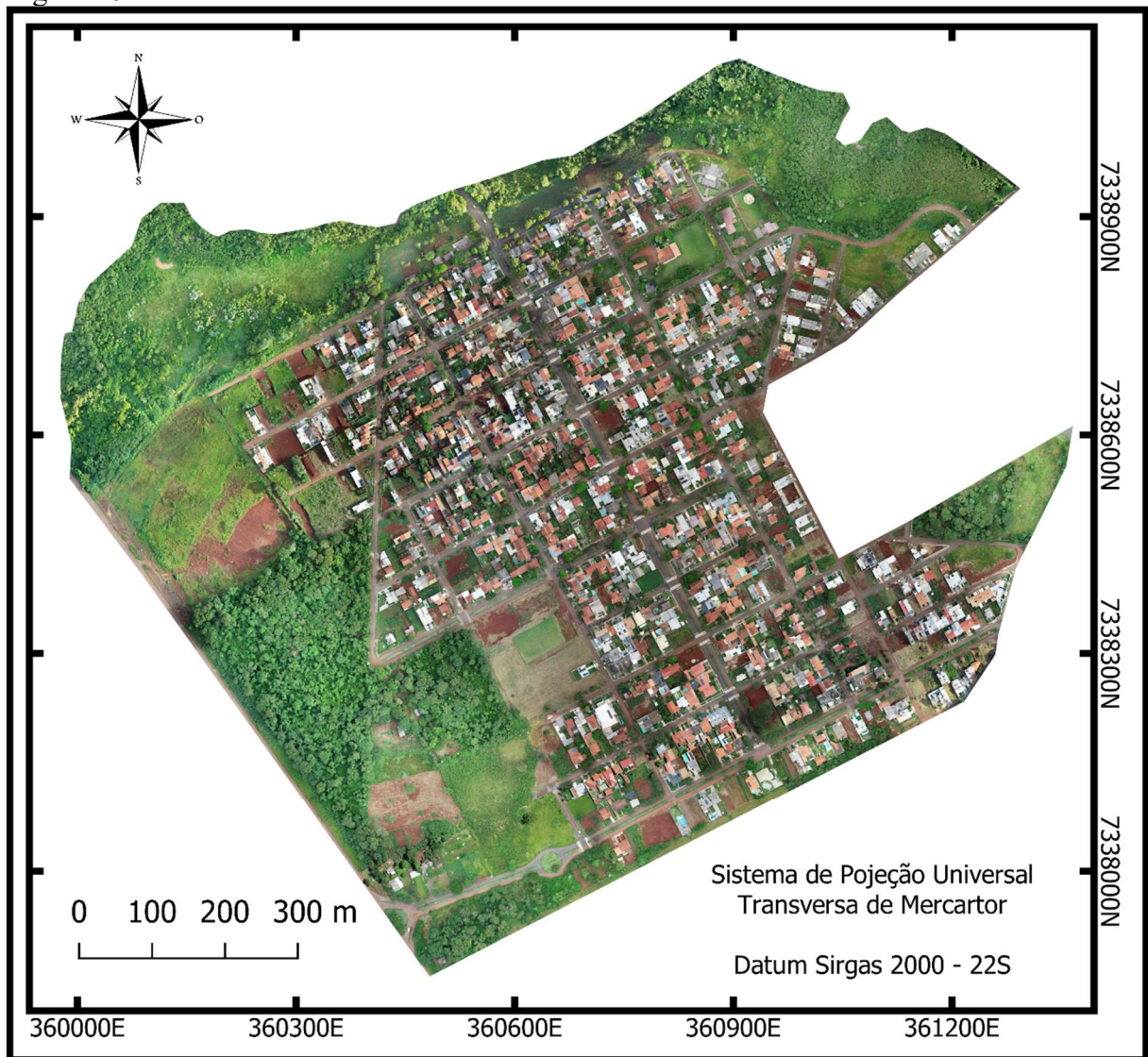
E o total de geração de energia fotovoltaica no bairro Jardim Araucária, foi realizada a soma de todos os painéis instalados nos telhados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Mapeamento dos telhados

No levantamento da área de estudo, foram obtidas 6.415 fotos, importadas no software *Metashape Agisoft*, para realizar o processamento das imagens, obtendo assim a imagem do bairro Jardim Araucária, conforme Figura 10. Com uma resolução espacial de 0,144 metros, sendo a área do pixel de 0,021 metros quadrados, o erro médio da imagem é de 0,013 metros no eixo da longitude, 0,011 metros no eixo da latitude e 0,008 metros na altitude, sendo uma precisão total de 0,019 metros.

Figura 10. Ortomosaico obtido do bairro Jardim Araucária.



Fonte: Autoria própria (2019).

Existem outros modelos de imagens georreferenciada que poderiam ser utilizadas, como as obtidas através do *Bing Aerial*, com uma resolução de 0,084 m² por pixel. Mas as imagens são antigas, do ano de 2013. E com o crescimento ascendente nas construções, mudanças nas legislações ambientais, muito foi mudado neste período de tempo, ficando inviável a utilização deste produto. O Google Earth, também possui imagens de alta resolução, porém há diversas normas de direitos autorais para a utilização deste produto, e os georreferenciamento das imagens não são precisos, fazendo com que duas imagens de épocas distintas não fiquem encaixadas de forma correta, conforme Figura 11.

Figura 11. Exemplo de junção de imagens do Google Earth.

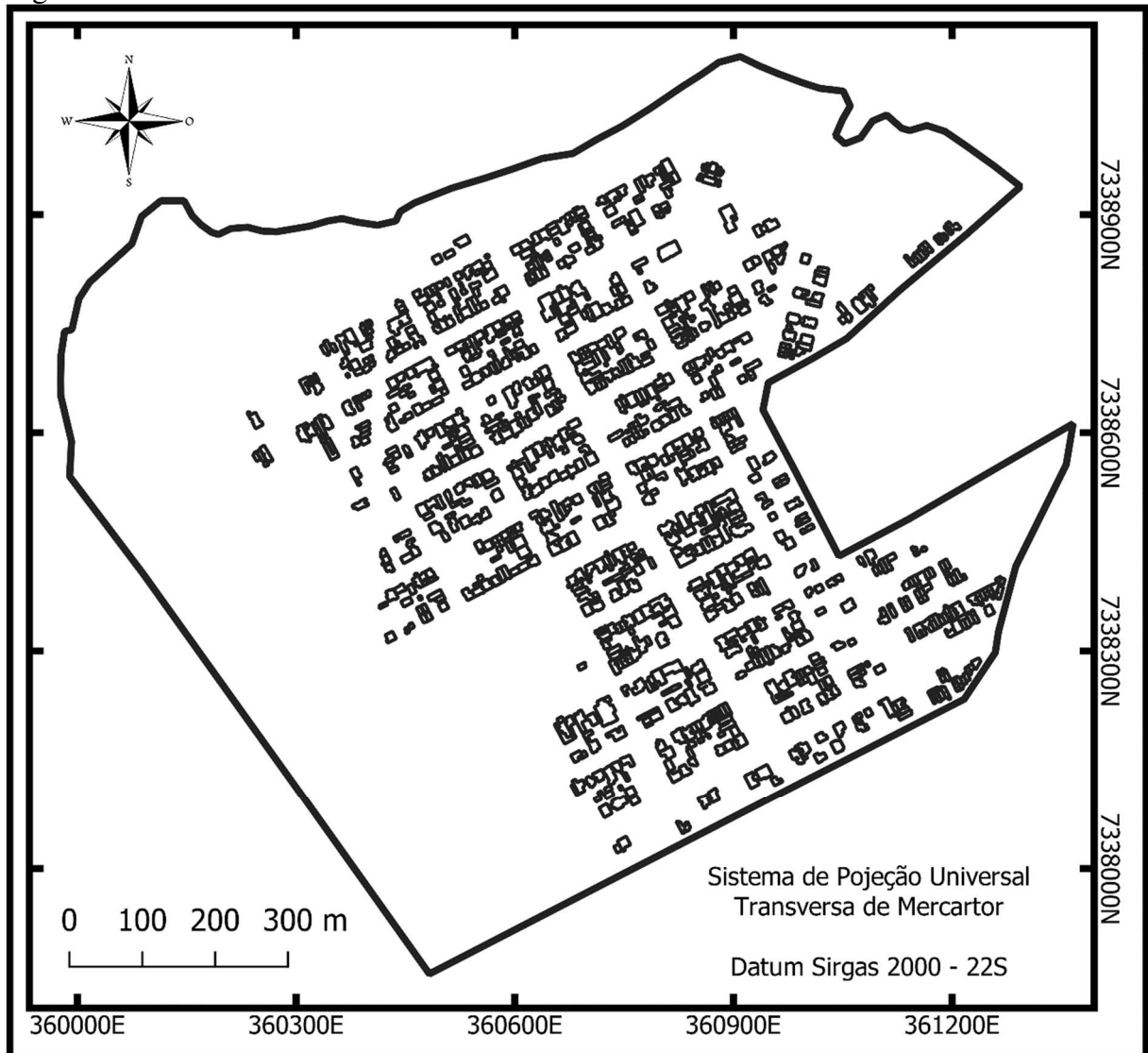


Fonte: Adaptado de LOPES (2009)

No bairro foram contabilizados 943 telhados (Figura 12), delimitadas manualmente utilizando os recursos que o *software* Qgis oferece. A classificação semiautomática foi dispensada, uma vez que devido à grande quantidade de detalhamentos resultante da alta quantidade de pixels, não foi possível alcançar uma quantidade mínima de amostragem para ser realizado a classificação da área. No caso de Molina (2017), foram verificados erros médios de 20 por cento, em uma imagem obtida pelo Bing Maps, onde a resolução é de aproximadamente quatro vezes menor do que a obtida pelo drone. No trabalho por se tratar de uma área menor, a delimitação foi feita manualmente.

No estudo realizado por Szabó et. al (2016), utilizando o sensor LiDAR, obteve-se um resultado muito próximo do real dos telhados, porém o custo desta tecnologia é muito alta, além de ser necessário equipamentos de pós processamento de última geração, agregando ainda mais valor sobre o serviço prestado.

Figura 12. Todos telhados localizados no Jardim Araucária.



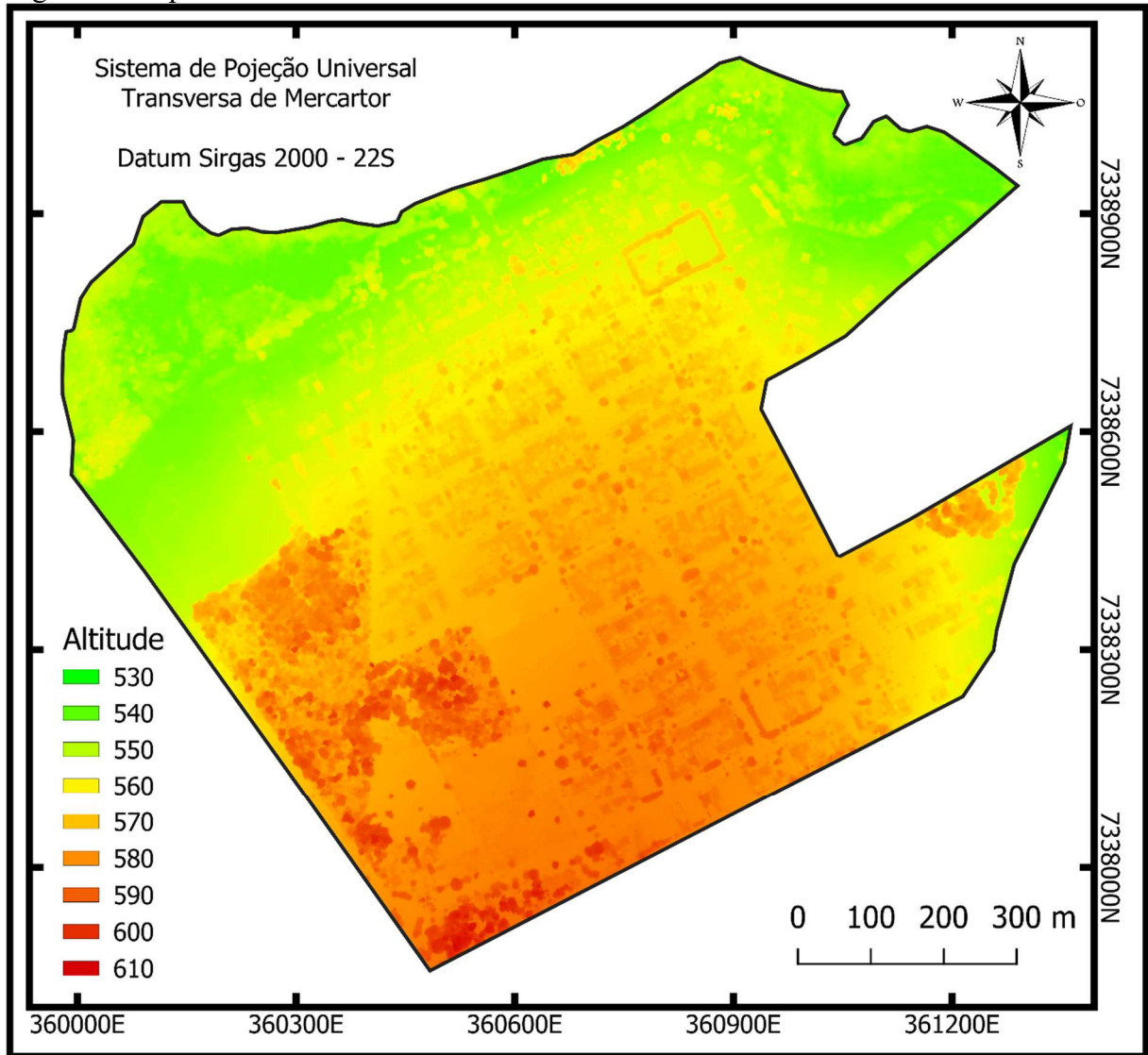
Fonte: Autoria própria (2019).

4.2. Área e orientação dos telhados

No bairro Jardim Araucária, o conjunto de todos os telhados, totalizam uma área 115.083,1056 metros quadrados, e esses telhados estão orientados em sua maioria para o noroeste e sudeste, devido ao planejamento do bairro.

Na Figura 13, é possível verificar que o bairro foi projetado para que o escoamento pluvial, fosse realizado perpendicularmente ao rio do Campo, que contorna o limite do bairro, fazendo com que os padrões nos telhados das casas fossem direcionados para o noroeste, nordeste, sudeste e sudoeste, dependendo do ponto de referência. Já os telhados direcionados ao norte, leste, sul e oeste, não acompanha o formato das ruas, e por isso com menor ocorrência.

Figura 13. Hipsometria do bairro Jardim Araucária.



Fonte: Autoria própria (2019).

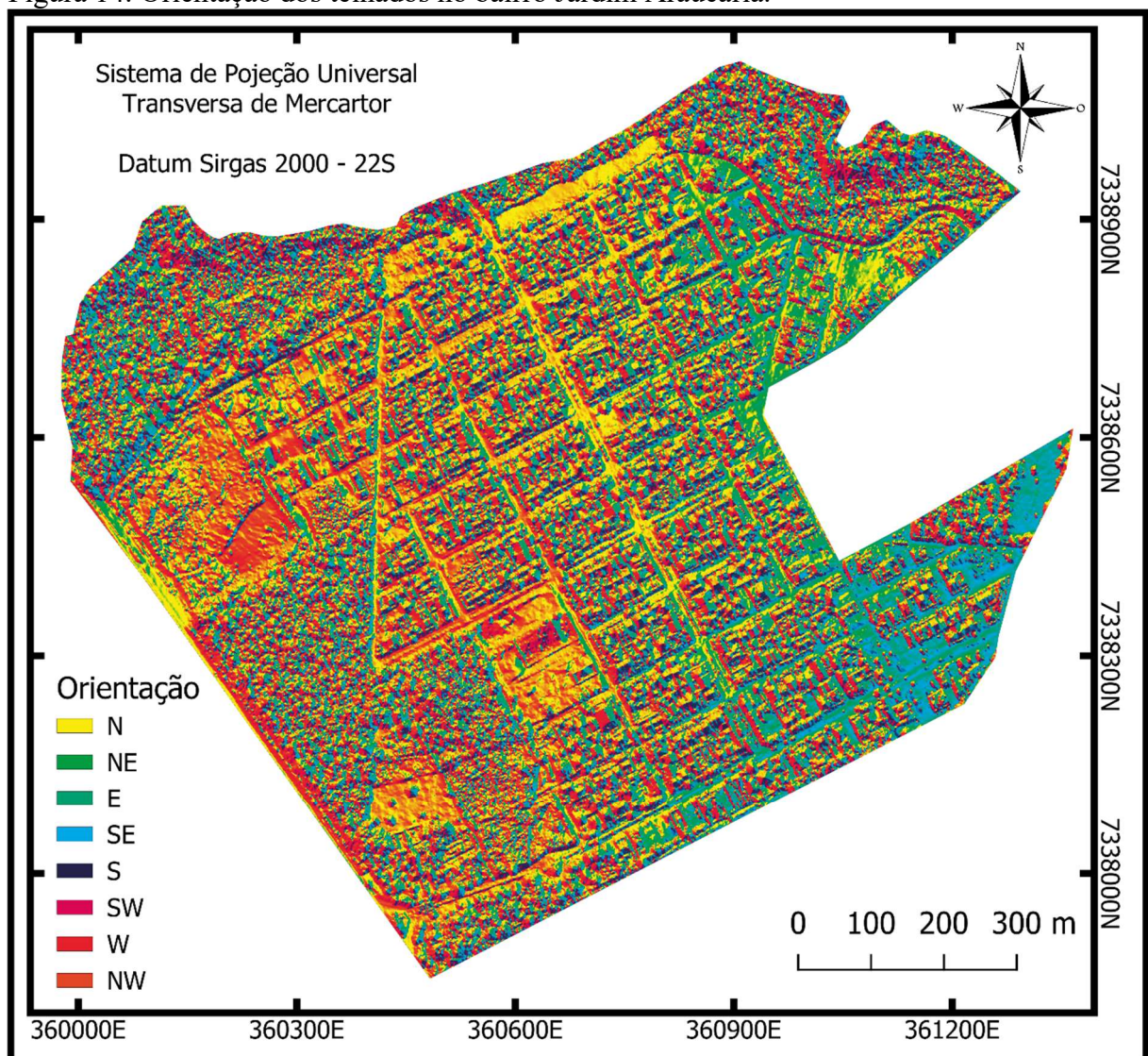
O Modelo Digital de Elevação, pode ser obtido através de cartas topográficas, disponibilizadas pelo Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná, delimitando todas as cotas e gerando através do QGIS, porém nesta metodologia como as cotas possuem uma distância de 20 metros, a precisão da elevação fica defasada (ITCG, 2019). Ou através de imagens obtidas pelo satélite *Landsat 2*, disponibilizado pelo *The Alaska Satellite Facility*, onde a resolução espacial é de 15 metros, ou seja, 225 metros quadrados por pixel, portanto cada pixel seria maior do que a maioria dos telhados das residências, não sendo possível utilizar esses documentos ofertados para este tipo de serviço.

Com o perfil de elevação obtidas pelo resultado do levantamento de RPA, é possível utilizar esse produto para realizar o perfil de curva de nível, verificar possíveis veias de

escoamentos de água ocasionador de futuras erosões, verificar onde se encontra as possíveis nascentes, entre outros serviços que são realizados a laser, que possui um alto custo e os resultados são similares (FERREIRA et. al, 2013).

No bairro, os telhados possuíam orientação para todos os 8 lados dos pontos cardeais, sendo o de maior quantidade ao noroeste com área de 18.319,1056 metros quadrados, seguido do sudeste com 16.879,9938 metros quadrados. Na Figura 14, demonstra todo o bairro e suas respectivas orientações.

Figura 14. Orientação dos telhados no bairro Jardim Araucária.

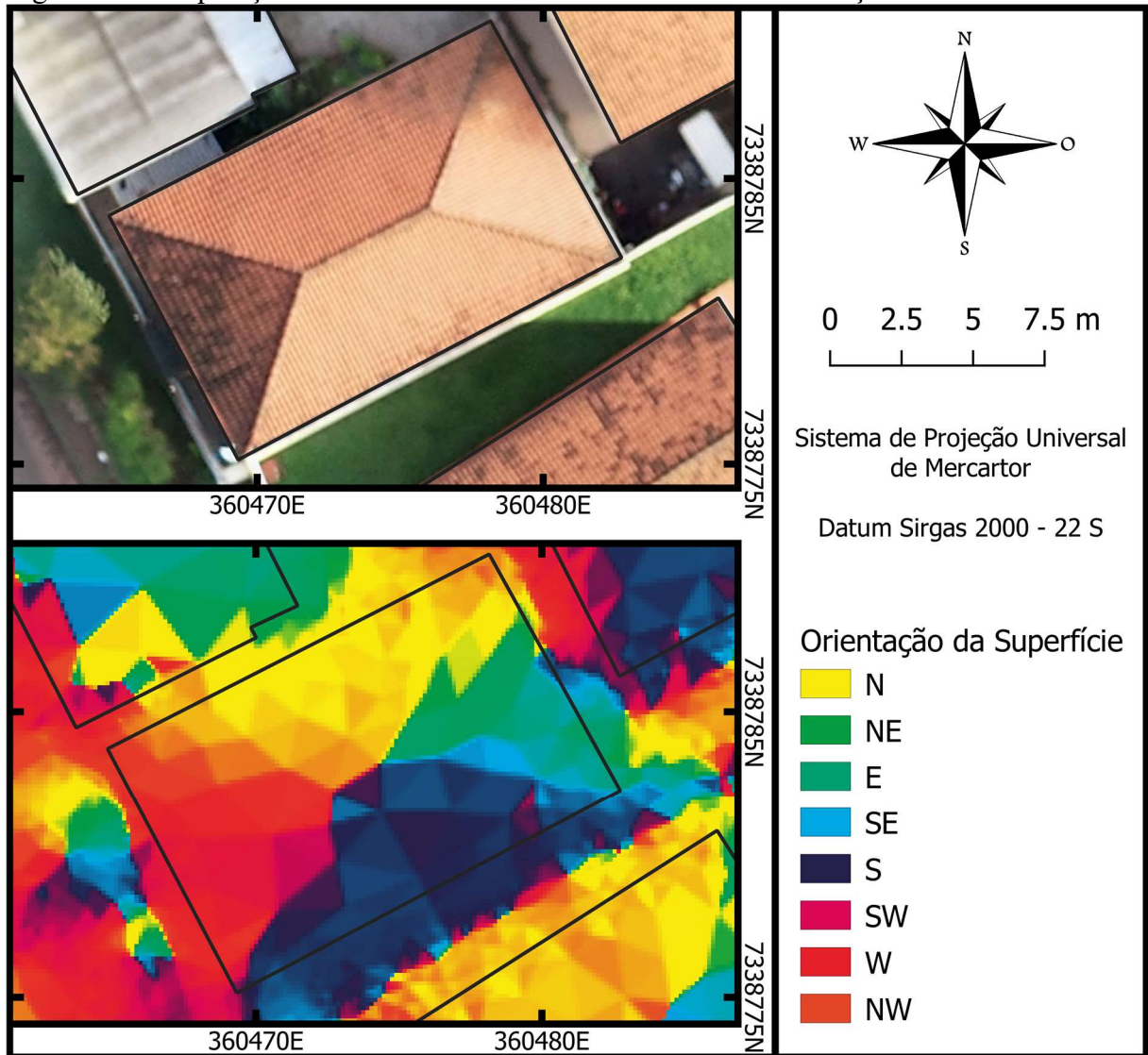


Fonte: Autoria própria (2019).

Para uma melhor análise de como ficou a orientação de cada telhado, a Figura 15 demonstra como o telhado está disposto no ortomosaico e como ficou após a classificação da imagem. É possível verificar alguns problemas, devido a precisão do levantamento de 1,44

centímetros, sendo que o telhado não é plano, e possui ondulações, que ficam aparente após a classificação.

Figura 15. Comparação entre o telhado e o resultado obtido da orientação do telhado.



Fonte: Autoria própria (2019).

Para totalizar os 115.083,6407 metros quadrados de telhados, houveram vários fatores a serem consideradas ou desconsideradas. Não foi desconsiderada a presença de árvores, telhados de casas que não caberiam um painel fotovoltaico, áreas de cobertura com pergolado não foram consideradas como telhados, áreas com sombra ocasionada por árvores ou construções com o piso superior, foram considerados como telhado, ficando a Tabela 2.

Já no estudo realizado por Quirós, Pozo e Ceballos (2018), as sombras produzidas por construções com piso superior e árvores com copas altas, foram desconsideradas, mas no estudo

de Jalal e Bani (2019), demonstra a importância das sombras para os cálculos de irradiação solar nos telhados com sombra.

Tabela 2. Orientação e área de telhados no bairro Jardim Araucária.

Orientação	Área (m ²)
Norte	14808,8568
Nordeste	15945,0843
Leste	11902,9906
Sudeste	16879,9938
Sul	11930,4268
Sudoeste	13521,0549
Oeste	11776,1279
Noroeste	18319,1056
TOTAL	115083,6407

Fonte: Autoria própria (2019)

4.3. Estimativa da irradiação solar

O estudo realizado por Gasparin e Krenzinger (2017), Figura 16, determinou algumas condições nas quais são necessários cálculos de aproveitamento da irradiação nos telhados. E adaptando a inclinação dos telhados para 18° de inclinação, para dar os 30% de inclinação conforme Associação Brasileira de Normas Técnicas (1983).

Figura 16. Energia anual normalizada do SFCR sob diversos ângulos de orientação em Curitiba-PR.

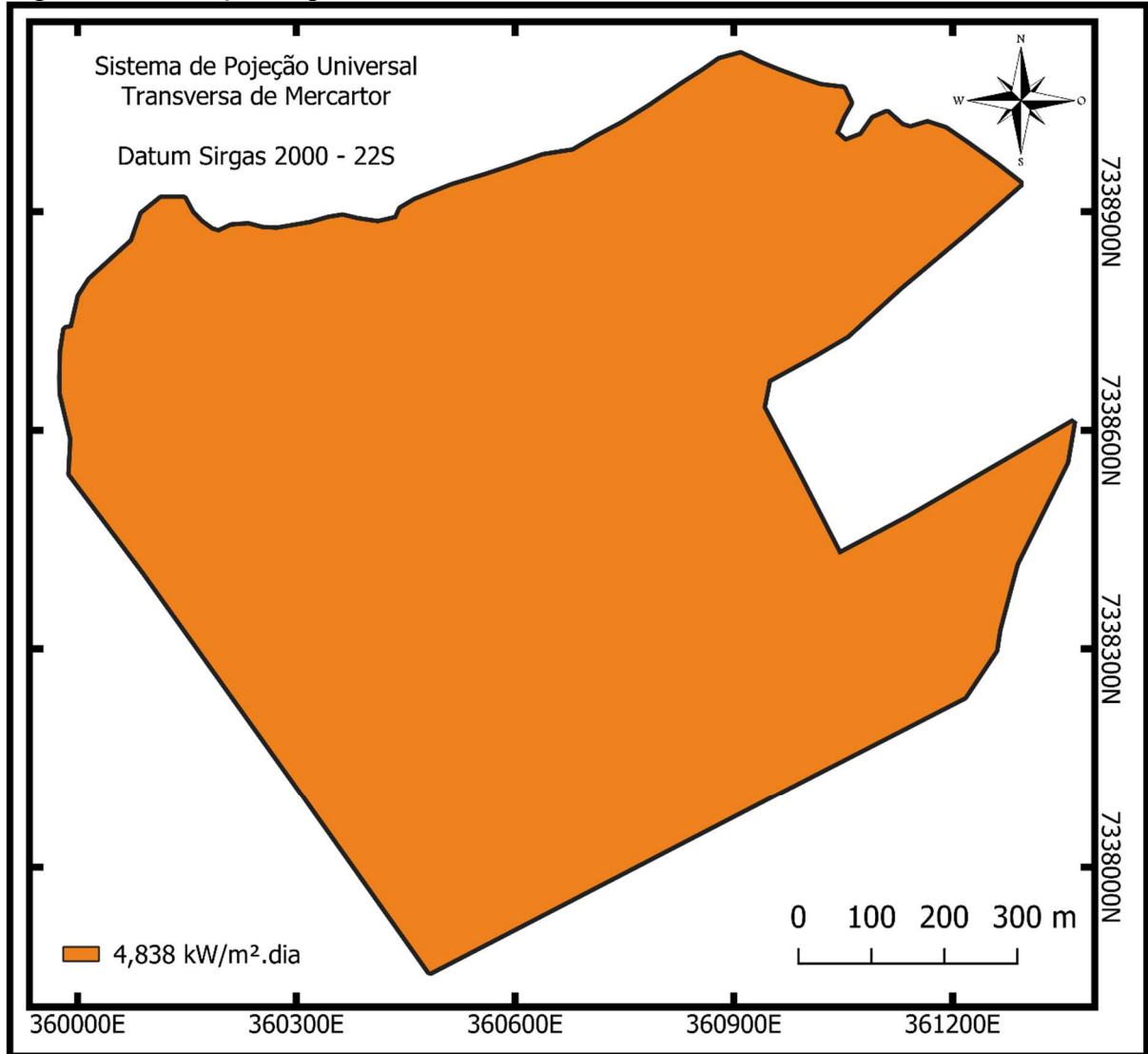
azimute (°)	Sul			Oeste							Norte			Leste				
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
0	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
5	0.89	0.90	0.93	0.94	0.94	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.94	0.94	0.94	0.93	0.92	0.90
10	0.86	0.88	0.93	0.94	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.96	0.95	0.95	0.93	0.91	0.87
15	0.82	0.86	0.92	0.95	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.97	0.96	0.95	0.92	0.90	0.84
20	0.78	0.82	0.91	0.95	0.97	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.92	0.88	0.80
25	0.73	0.79	0.90	0.94	0.97	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.96	0.94	0.90	0.86	0.77
30	0.67	0.75	0.88	0.93	0.97	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98	0.97	0.95	0.93	0.89	0.84	0.73
35	0.62	0.71	0.86	0.91	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.98	0.97	0.96	0.94	0.92	0.87	0.81	0.68
40	0.57	0.67	0.84	0.89	0.94	0.96	0.97	0.97	0.98	0.97	0.97	0.95	0.94	0.92	0.90	0.85	0.79	0.64
50	0.48	0.59	0.78	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.93	0.93	0.92	0.91	0.89	0.87	0.85	0.79	0.73	0.56
60	0.41	0.52	0.72	0.79	0.83	0.85	0.86	0.86	0.86	0.86	0.85	0.84	0.82	0.80	0.78	0.73	0.67	0.49
70	0.33	0.45	0.65	0.72	0.76	0.77	0.78	0.78	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.72	0.70	0.66	0.60	0.43
80	0.28	0.39	0.58	0.64	0.67	0.68	0.68	0.68	0.67	0.66	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0.58	0.53	0.38
90	0.24	0.35	0.51	0.56	0.58	0.58	0.58	0.57	0.56	0.55	0.55	0.54	0.54	0.54	0.53	0.51	0.47	0.33

Fonte: Gasparin e Krenzinger (2017).

No bairro em estudo, conforme o Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA et. al, 2017), possui uma irradiação média anual no plano horizontal de 4,838 kWh/m², conforme

Figura 17. Essa irradiação varia, uma vez que o Nordeste possui a maior irradiação anual no plano horizontal e no Sul, próximos ao litoral a irradiação é a menor.

Figura 17. Irradiação no plano horizontal do bairro Jardim Araucária.



Fonte: Adaptado de PEREIRA et. al (2017).

Na Tabela 3, é possível verificar que o aproveitamento é maior no Norte, seguido de noroeste e nordeste, porém existe a possibilidade de geração de energia no lado Sul. Isso ocorre em países que ficam localizados no hemisfério sul do planeta, no caso dos países que estiverem no hemisfério norte, a maior eficiência será ao Sul.

No estudo realizado por Quirós, Pozo e Ceballos (2019), o maior aproveitamento da irradiação solar ocorre quando os telhados estão orientados para o Sul, uma vez que a Espanha está localizada no hemisfério norte, assim como Babagana, Silas e Mustafa (2012) e Bolaji (2008), garantem que quando o coletor for posicionado para o norte geográfico, em caso de

países situado no hemisfério Sul, haverá uma maior média de incidência solar, devido a inexistência da perda dos raios solares durante o dia todo, a placa coletora ficará exposta ao sol, durante todo o dia.

Tabela 3. Irradiação resultante da inclinação dos telhados e orientações.

	Aproveitamento (18°)	Irradiação resultante (kW/m².dia)
Norte	0,995	4,8138
Nordeste	0,955	4,6203
Leste	0,89	4,3058
Sudeste	0,82	3,9672
Sul	0,8	3,8704
Sudoeste	0,84	4,0639
Oeste	0,915	4,4268
Noroeste	0,9795	4,7388

Fonte: Autoria própria (2019).

4.4. Produção de energia fotovoltaica

Conforme levantamento realizado pela Empresa de Pesquisa Elétrica (2019), uma residência localizada no Sul do país, o consumo médio por mês é de aproximadamente, 5,3789 Kwh/dia. Já nos estados localizados no Norte do país, o consumo médio deles é de aproximadamente 2,2157 Kwh/dia, sendo o consumo do Norte 41,1934 por cento da energia consumida no Sul. Como temos 943 telhados, presumisse, que cada telhado é uma residência, então para o local, seria necessária uma produção de 5.072,3027 kWh/dia.

No cálculo para determinação de produção de energia, utilizando a fórmula $E_m = A * \eta * E_s$, foi possível obter uma estimativa de geração fotovoltaica, Tabela 4.

Tabela 4. Geração de energia fotovoltaica com o painel da marca *Canadian*.

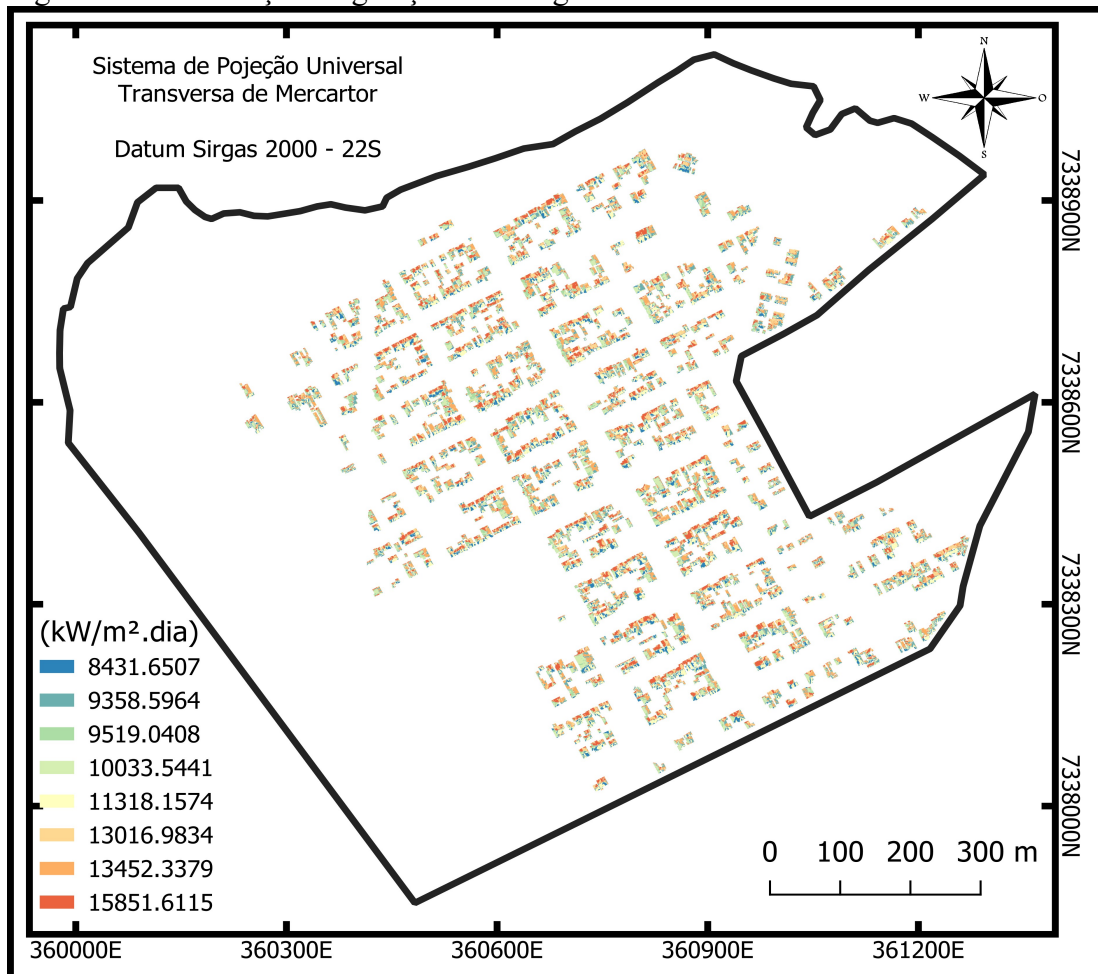
Orientação	Geração de Energia (kWh/dia)
Norte	2.376,90
Nordeste	2.456,40
Leste	1.708,88
Sudeste	2.066,70
Sul	1.539,62
Sudoeste	1.832,13
Oeste	1.738,18
Noroeste	2.894,50
Total	16.613,30

Fonte: Autoria própria (2019)

Caso, haja interesse dos proprietários para instalação das placas fotovoltaicas, em todos os telhados existentes no bairro, sobrarão aproximadamente 10.000 kWh/dia, podendo este ser direcionada para rede de distribuição de energia. Já no estudo realizado por Molina (2017), onde ele encontrou uma média para irradiação de 22,24 kWh/mês, a produção nos telhados do bairro seria de 15.578,58 kWh/dia, sendo 1.000,00 kWh/mês a menos de diferença. Onde essa diferença pode estar nas diferentes proporções das orientações dos telhados distribuídos pela cidade. Em outras cidades, como no município de Chapadinha-MA, a Silva Lima (2019), teve uma produção média mensal de 51.654,71 kWh/mês, mesmo utilizando um painel solar com uma eficiência menor do que a utilizado neste trabalho, essa produção ocorre devido a irradiação nestes locais serem maiores, ficando mais viável a instalação dos módulos.

A Figura 18, representa a produção de energia por residência, onde as cores quentes representam os telhados com uma eficiência melhor, e as cores frias, representam os telhados com eficiência menor.

Figura 18. Distribuição da geração de energia dos telhados.



Fonte: Autoria própria (2019).

5. CONCLUSÃO

No presente trabalho foi possível verificar a eficácia do RPA para realizar o levantamento da área de estudo, que combinado com os *softwares* de SIG, é possível realizar o mapeamento dos telhados manualmente, uma vez que devido à alta resolução da imagem, não é viável a utilização das classificações semi-automáticas.

A área total e as orientações dos telhados foram fundamentais para o resultado. Uma vez que essas informações foram necessárias para realizar o cálculo da estimativa de geração, onde foi possível através do MDE gerado pelo RPA, realizar a declividade e aspecto do *raster*.

A insolação do município de Campo Mourão, foi obtida através de cada tipo de inclinação, e com a orientação dos telhados. Sendo possível verificar, que os telhados com orientações para o Sul, são baixos, porém existe incidência de sol. Com isso, e que a inclinação próxima do ideal, é aproximadamente a latitude do local de estudo.

O estudo foi realizado no bairro Jardim Araucária, para que fosse possível verificar a quantidade de telhados disponíveis para a instalação de painéis fotovoltaicos, e realizar o cálculo para estimar a produção de energia no bairro. Foi obtido um resultado satisfatório para a produção de energia no bairro, havendo sobras, mesmo utilizando apenas as orientações Norte, Nordeste e Noroeste, onde a eficiência seria maior.

Fica para futuros trabalhos, realizar um estudo de viabilidade econômica para o bairro Jardim Araucária, utilizando apenas os telhados com orientação Norte, Nordeste, Sudeste, ou utilizando toda a área de telhados. Assim como realizar uma análise técnica do município de Campo Mourão com o RPA e realizar a estimativa de produção no município e corroborar o resultado com o estudo realizado com imagem de satélite de Molina (2017).

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2. Ed. Brasília, 2005. 243 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Matriz de Energia Elétrica**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>. Acesso em: 26 de maio de 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015**. São Paulo, 2015. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 29 de maio de 2019.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G.. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8039 NB 792: Projeto e execução de telhados com telhas cerâmicas tipo francesa**. Rio de Janeiro, p. 5. 1983.

BONDARIK, R.; PILATTI, L. A.; Horst, D. J.. Uma visão geral sobre o potencial de geração de energias renováveis no Brasil. **Interciencia**, v. 43, n. 10, p. 680-688, 2018.

BORGES, R. de O.; FAZAN, A. J.; SOBRAL, L. T.; RIBEIRO, R. de F; LANZA, D. S.. **Utilização de Drones de Pequeno Porte como Alternativa de Baixo Custo para Caracterização Topográfica da Infraestrutura de Transportes no Brasil**, pp. 1–5, 2017.

BORGES NETO, M. R.; CARVALHO, P. C. M. de. **Geração de energia elétrica: fundamentos**. São Paulo: Érica, 2012.

BRAUN-GRABOLLE, P.. **A integração de sistemas solares fotovoltaicos em larga escala no sistema elétrico de distribuição urbana**. 2010. 257 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

BRITO, M.C.; GOME, N.; SANTOS, T.; TENEDÓRIO, J.A.. Photovoltaic potential in a Lisbon suburb using LiDAR data. **Solar Energy**, [s.l.], v. 86, n. 1, p.283-288, jan. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2011.09.031>.

CABRAL, I. de S.; TORRES, A. C.; SENNA, P. R.. Energia Solar – Análise comparativa entre Brasil e Alemanha. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 6, 2013, Bahia. **Anais**.

CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J.; II, F. M.. Spring: Integrating remote sensing and gis by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA AS ENERGIAS SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. **Visita Virtual à Casa Solar**. 2015. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&catid=91. Acesso em: 28 de maio de 2019

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **Usina Hidrelétrica Mourão I**. Campo Mourão: Companhia Paranaense de Energia, [1999]. Disponível em:

<[http://copel.com/hpcopel/root/pagcopel2.nsf/arquivos/relambientalmou/\\$FILE/RelAmbientaIMOU.pdf](http://copel.com/hpcopel/root/pagcopel2.nsf/arquivos/relambientalmou/$FILE/RelAmbientaIMOU.pdf)>. Acessado em 22 de maio de 2019.

DAS, A. K.; AGRAWAL, R.; MOHAN, S.. Topographic correction of ALOS-PALSAR images using InSAR-derived DEM. **Geocarto International**, [s.l.], p.1-9. 2014.

DUPONT, F. H.; GRASSI, F.; ROMITTI, L.. Energias Renováveis: buscando por uma matriz energética sustentável: Renewable Energies: seeking for a sustainable energy matrix. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 19, n. 1, p.70-81, 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/reget/article/viewFile/19195/pdf>>. Acesso em: 03 de abril de 2019.

EUROPEAN COMMISSION, 2012. Institute for Energy and Transport (IET). **Solar radiation and photovoltaic electricity potential country and regional maps for Europe**. Disponível em: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_download/map_index.html. Acesso em: em 26 de maio de 2019.

FERREIRA, A. M. R.; ROIG, H. L.; MAROTTA, G. S.; MENEZES, P. H. B. J.. Utilização de aeronaves remotamente pilotadas para extração de mosaico georreferenciado multiespectral e modelo digital de elevação de altíssima resolução espacial. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE, **Anais**.

FREITAS, J. da S.; FREITAS, J. da S.. Matriz Energética Amazônica: Convencional ou Renovável?, **Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana**, 2018.

GASPARIN, F. P.; KRENZINGER, A.. Desempenho de um sistema fotovoltaico em dez cidades brasileiras com diferentes orientações do painel. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v.8, n. 1. P. 10-17, 2017.

GOOGLE EARTH PRO 7.3.2. 2019. **Campo Mourão**, PR. Coordenadas 24° 03'36,40"S, 52° 22'04,40"W, elevação 576m. Data de Visualização: 22 de maio de 2019. Data da Imagem: 26 de março de 2019.

HASSANALIAN, M.; ABDELKEFI, A.. Classifications, applications, and design challenges of drones: A review. **Progress in Aerospace Sciences**, v. 91, p. 99-131, 2017.

HINRICHS, R.A.; KLEINBACH, M.; REIS, L.B. **Energia e meio ambiente**. Tradução da 4ª edição norteamericana. Cengage Learning, 2010.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Classificação Climática**. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=863>>. Acessado em 22 de maio de 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Campo Mourão**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/campo-mourao/panorama>>. Acessado em 22 de maio de 2019.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Caderno Estatístico: Município de Campo Mourão**. Disponível em: <<http://www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=87300>>. Acessado em 22 de maio de 2019.

INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOLOGIA DO PARANÁ. **Folhas Topográfica 1:50.000.** Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=105>>. Acessado em 14 de outubro de 2019.

JALAL, S. J.; BANI, R. K. Impact of shadow distribution on optimizing insolation exposure of roofs according to harness or transfer of solar energy in Sulaimani city, Iraq. **Renewable Energy**, 2019.

KAHN, J. M.; KATZ, R. H.; PISTER, K. S. J.. Next century challenges: mobile networking for Smart Dust, in: **Proceedings of the 5th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking**, ACM, 1999, pp. 271–278.

KHAIR, C.. **Fontes de Energia Alternativa: Energia Solar.** 2016. Disponível em: <http://www.recicloteca.org.br/noticias/fontes-de-energia-alternativa-energia-solar>. Acesso em: 28 de maio de 2019.

LI, Yan e LIU, Chunlu. **Estimating solar energy potentials on pitched roofs.** *Energy and Buildings*, v. 139, p. 101–107, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.070>>. Acesso em: 12 de setembro de 2019.

LODI, C.. **Perspectivas para a Geração de Energia Elétrica no Brasil Utilizando a Tecnologia Solar Térmica Concentrada.** 2011. 127 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Programa de Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://antigo.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/cristiane_lodi.pdf>. Acessado em 12 de setembro de 2019.

LUNA, M. A. R.; CUNHA, F. B. F.; MOUSINHO, M. C. A. de M; TORRES, E. A.. Solar photovoltaic distributed generation in Brazil: The case of Resolution 482/2012. **Energy Procedia**, v. 159, p. 484-490, 2019.

LUPPICINI, R.; SO, A.. A technoethical review of commercial drone use in the context of governance, ethics, and privacy. **Technology in Society**, v. 46, p. 109-119, 2016.

MOLINA, L. de S.. **Desenvolvimento de uma metodologia para estimar o potencial de energia fotovoltaica em telhados para o município de Campo Mourão – PR.** 2017. 70 f. Dissertação (TCC) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão.

PARIDA, B.; INIYAN, S.; GOIC, R.. A review of solar photovoltaic technologies. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 15, n. 3, p.1625-1636, abr. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.032>.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; RUTHER, R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. J. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. de. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** 2. Ed. São José dos Campos, 2017. 80 p.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A.. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** CEPTEL-CRESESB. Rio de Janeiro, 2014. 529 p.

NANNI A. S.; DESCOVI FILHO L.; VIRTUOSO M. A.; MONTENEGRO D.; WILLRICH G.; MACHADO P. H.; SPERB R.; DANTAS G. S.; CALAZANS Y.. **Quantum GIS** - Guia do Usuário, Versão 1.7.4 'Wroclaw'. Acesso em: 29 de maio de 2019. Disponível em: <http://qgisbrasil.org>. 291p., il.

QUIRÓS, E.; POZO, M.; CEBALLOS, J.. Solar potential of roof in Cáceres city, Spain. **Journal of Maps**, v. 14, n.1, p 44-51, 2018.

RODRIGUES, D. A.; GALLARDO, A. M. C. F.. Vantagens da Aerofotogrametria por Drones na Obtenção de Dados Topográficos em Estudos de Lixões e Aterros Sanitários. In: Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade, 7, 2018, São Paulo. **Anais**.

RÜTHER, R.. **Edifícios solares fotovoltaicos**: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil. Florianópolis: Ufsc / Labsolar, 2004. 114 p. Disponível em: <http://fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/livros/livro-edificios-solares-fotovoltaicos.pdf>. Acesso em: 28 de maio de 2019.

SALAMONI, I.; RÜTHER, R. Potencial Brasileiro da Geração Solar Fotovoltaica conectada à Rede Elétrica: Análise de Paridade de Rede. IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Ouro Preto, 2007, **anais**.

SILVA, J. E. C. F. da; BOTELHO, M. F.. Cadastro Ambiental Rural utilizando imagem de drone aerofotogramétrico. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 9, n. 2, p. 73-83. 2017.

SILVA JUNIOR, C. A. da; COUTINHO, A. D.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F. de; TEODORO, P. E.; LIMA, M.; SHAKIR, M.; GOIS, G. de; JOHANN, J. A.. Analysis of the impact on vegetation caused by abrupt deforestation via orbital sensor in the environmental disaster of Mariana, Brazil. **Land Use Policy**, v. 76, n. 1, p. 10-20, 2018

SILVA JUNIOR, C. A. D. da.

SILVA LIMA, J.. **Energia Solar Fotovoltaica**: estudo de viabilidade técnica-financeira de implantação de sistema de geração de energia fotovoltaica para o Centro de Ciências Agrárias e Ambientais – CCAA, na cidade de Chapadinha –MA. 2019. 86 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Maranhão, Maranhão, 2019.

SZABO, S.; ENYEDI, P.; HORVATH, M.; KOVACS, Z.; BURAI, P.; SZABO, G.; CSOKNYAI, T.. **Automated registration of potential locations for solar energy production with Light Detection And Ranging (LiDAR) and small format photogrammetry**. Journal of Cleaner Production, v. 112, p. 3820–3829, 20 Jan 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615010483>>. Acesso em: 14 de outubro de 2019.

TIEPOLO, G. M.; CANCEGLIERI JÚNIOR, O.; URBANETZ JÚNIOR, J.; VIANA, T.; PEREIRA, E. B.. Comparação entre o Potencial de Geração Fotovoltaica no Estado do Paraná com Alemanha, Itália e Espanha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 5, 2014, Recife. **Anais**.

TORRES, R. C.. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais**. 2012. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São

Carlos, 2012. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18147/tde-18032013-091511/publico/dissertacao_final_rct.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2016.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R.; **Meteorologia básica e aplicações**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2013. 460 p.

WARE, J.. **Teaching with Drones: The Challenges and the Opportunities**. 2017. Disponível em: <https://www.asprs.org/wp-content/uploads/2018/03/12-17-SI.pdf>. Acesso em: 29 de maio de 2019.

YEPES, I.; BARONE, D. A. C.. Robótica Educativa: Drones e Novas Perspectivas. **Renote**. s.l., v. 16, n. 2, p. 1-10. 2018.