

Métodos para coleta remota de dados em coberturas e modelagem de irradiação solar

Methods for remote data collection on roofs and solar irradiation modeling

Marlon Henrique Hetzel Matos, mestrando, Universidade Federal Fronteira Sul – UFFS, Campus Cerro Largo.

marlonhetzel@yahoo.com.br

Jorge Luis Palacios Felix, Dr., Universidade Federal Fronteira Sul – UFFS, Campus Cerro Largo.

jorge.felix@uffs.edu.br

Resumo

A modelagem da irradiação solar incidente em coberturas edifícios é apresentada como uma solução para otimizar o processo de instalação de usinas solares em ambientes urbanos, nesse trabalho abordamos estudos publicados referentes aos variados métodos para coletar dados remotamente de edificações e a aplicação de cálculo da irradiação solar anual em um exemplo prático no Restaurante Universitário (RU) – UFFS. Algumas variáveis impactam diretamente na eficiência dos painéis solares, como o relevo e a presença de vegetação em regiões circundantes aos edifícios. Diferentes metodologias de coleta foram evidenciadas, desde o manual, através de desenhos, até modernos como uso de LiDAR, imagens de satélite e drones (aerofotogrametria), sendo a última, a que mostrou maior eficiência na elaboração dos modelos em comparação com os dados reais coletados. A realização do cálculo da irradiação solar anual no RU, encontrou valores cerca de 6,6% abaixo dos dados disponíveis na bibliografia.

Palavras-chave: Irradiação Solar; Edificações; Aerofotogrametria

Abstract

An incident modeling of solar lighting installations presented as an optimized approach for installations of solar building installations in this work environment, designed for installations of solar lighting installations designed for the annual solar irradiation process in a practical example in the University Restaurant (UR) – UFFS. Some variables directly impact the area of the solar panels, as they are visible in areas surrounding the panels. Different collection methodologies were made, from the manual, through drawings, to modern ones such as the use of LiDAR, satellite images and drones (aerophotogrammetry), being the last evidence, the one that showed the greatest evidence in the elaboration of the models compared to the previous ones. real data thank you. The one below the calculation of

annual solar irradiation in the UR, found values around 6.6% of the bibliography available in the bibliography.

Keywords: *Solar Irradiation; Buildings; Aerial Photogrammetry*

1. Introdução

Segundo Chiabrando et al. (2017) utilizar energia oriunda de fontes renováveis, como a solar, em ambientes urbanos, torna-se muito desafiadora por apresentar um elevado número de edifícios e poucos espaços disponíveis. Determinar essas superfícies adequadas a instalação de sistemas fotovoltaicos é uma questão fundamental, tanto para investidores públicos quanto privados. De modo que a gama de profissionais e administradores interessados nesses dados são de múltiplas competências, é necessário um sistema que forneça resultados confiáveis, através de um processo automático ou semiautomático.

Agugiario et al. (2012) afirma ainda que sistemas fotovoltaicos necessitam estar localizados e orientados de forma apropriada para satisfazer as exigências de geração (tempo de insolação, orientação da superfície, tipo de painel, características da rede de energia, etc.). Para tal, os modelos fornecidos devem oferecer soluções válidas, otimizando a implementação de tecnologias solares. Esta tarefa pode se tornar complexa por requerer uma variedade de dados de entrada com diferentes fontes, muitas vezes ausentes e incompletos, dentre eles podemos citar: séries de dados meteorológicos, modelos geométricos dos edifícios e de terrenos próximos. Outros fatores que podem influenciar na estimativa correta de radiação solar em determinado ponto são as condições atmosféricas (turbidez do ar, nebulosidade, aerossol, vapor de água), topografia (sombreamento por colinas, montanhas, edifícios próximos, vegetação, etc.) e a eficiência do painel solar na conversão de radiação solar em eletricidade.

De acordo com Freitas et al. (2015), em ambiente não urbano, as limitações da geração de energia solar estão relacionadas as condições meteorológicas desfavoráveis, já em espaços urbanos, nem sempre as estruturas são adequadas a implementação de painéis solares, devido principalmente a área limitada disponível e obstruções a entrada de luz solar, dificultando o alcance do potencial solar total. Dessa forma para implementar uma usina solar urbana, é necessário fazer a modelagem do recurso solar local e avaliar a efetividade do sistema. A metodologia que será escolhida dependerá do nível de detalhamento necessário e do objetivo final do projeto. Por exemplo, em telhados de pequena escala, são utilizadas estimativas diretas do potencial solar por métodos simples e generalistas, em contrapartida, pode-se realizar uma completa análise do ambiente urbano, levando em consideração as sombras, o que exige abordagens mais complexas e com maior confiabilidade, especialmente quando são abrangidas superfícies verticais, como fachadas de edifícios.

A modelagem da irradiação solar incidente em coberturas de edifícios é apresentada como uma solução para otimizar a eficiência e o processo de instalação de usinas solares em ambientes urbanos, visto isso, esse trabalho tem como objetivo elaborar uma revisão de estudos publicados referentes aos variados métodos de coleta remota de dados de coberturas e seus resultados, bem como a aplicação de uma metodologia de cálculo da irradiação solar anual na cobertura do Restaurante Universitário (RU) da Universidade Federal Fronteira Sul – UFFS, Campus Cerro Largo.

Este artigo científico está estruturado da seguinte forma: 1. Introdução; 2. Métodos de aquisição de dados geométricos; 3. Materiais e métodos; 4. Resultados e Discussão e; 5. Considerações Finais.

2. Métodos de aquisição de dados geométricos

Para estimar o potencial solar físico e geográfico é necessário realizar uma série de etapas, as quais estão demonstradas na Figura 1. Um Modelo Digital de Superfície (MDS) pode trazer informações importantes sobre as características da área analisada e seu entorno sempre que o projeto exigir um nível de detalhamento mais refinado. Podemos obter esses dados através de algumas técnicas, como imagens aéreas simples ou de satélite, Light Detection and Ranging (LiDAR) ou ainda, imagens estereoscópicas sobrepostas, que através da fotogrametria geram uma superfície digitalizada em uma nuvem de pontos 3D, permitindo a modelagem da região. Aplicações 2D, as quais são extraídas as áreas dos telhados, também podem ser usadas para estimar o potencial solar, de forma mais simples e menos precisa (FREITAS et al, 2015).



Figura 1 - Etapas e opções envolvidas na avaliação do potencial solar em um determinado local. Fonte: Adaptado de Freitas et al. (2015).

Zhang et al. (2019), compara alguns métodos utilizadas para aquisição de dados geométricos no processo de avaliação de potencial fotovoltaico, dentre eles podemos destacar: desenhos, interface baseada na Web, parâmetros de planejamento urbano, RSDOM (Remote Sensing Digital Orthophoto Map), LiDAR e fotogrametria. Ainda segundo o autor desenhos são comumente usados e envolvem a reprodução dos parâmetros geométricos das edificações, no entanto, não trazem informações precisas sobre as regiões circundantes, como árvores e

arbustos, o que pode induzir a um erro na análise do potencial fotovoltaico. Métodos de interface baseados na Web e parâmetros de planejamento urbano, podem ser usados em escala regional, mas teriam um nível de detalhamento baixo, sem resolver o problema das áreas circundantes. O método RSDOM consegue trazer informações rapidamente, porém como não contempla dados altimétricos, os resultados acabam não sendo precisos. Através do método LiDAR, pode-se obter informações com rapidez e precisão, no entanto, o equipamento é relativamente caro, especialmente pelo uso de aeronaves. Mesclar a fotogrametria com SIG (Sistema de Informação Geográfica), pode ser a solução para coletar informações abrangentes do ambiente construído, com alta precisão e a um custo acessível em comparação ao LiDAR.

Nos últimos anos, muitos trabalhos tem sido desenvolvidos para obtenção de modelos em que as simulações de radiação solar levaram em consideração a complexidade do terreno e as formas do telhado, usando especialmente SIG em conjunto com MDS de variadas fontes de dados (FUENTES; MOYA; MONTOYA, 2020).

Chiabrando et al. (2017), obtiveram o MDS de uma região de Turim na Itália, através da fotogrametria, e estimou o seu potencial fotovoltaico, conforme Figura 2, segundo o autor os modelos provaram ser precisos o suficiente em relação aos valores considerados verdadeiros e coletados manualmente.

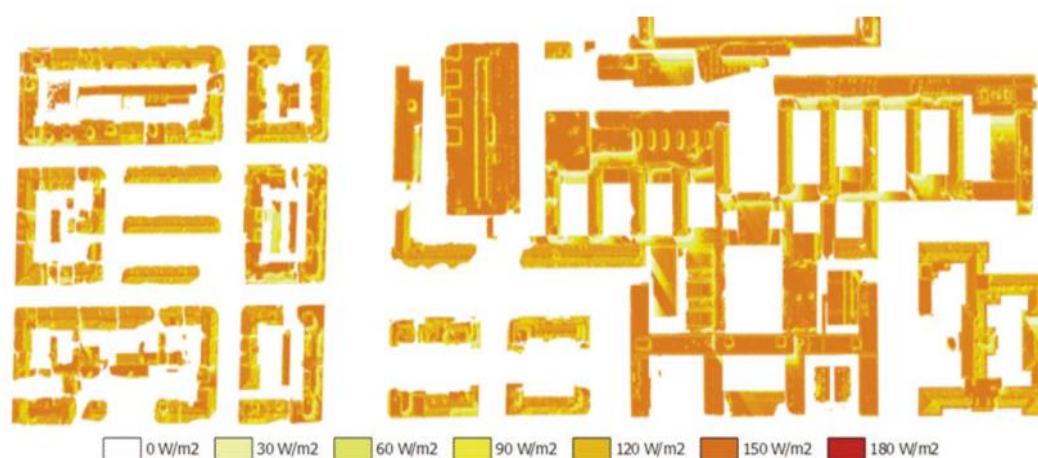


Figura 2 - Análise da radiação solar no mês de junho, na área de estudo em Turim, Itália. Fonte: Chiabrando et al. (2017).

Santos et al. (2014) analisaram uma região chamada Alvalade, freguesia situada na cidade de Lisboa, Portugal. No estudo eles construíram o modelo 3D através do sistema LiDAR e determinaram o potencial fotovoltaico dos telhados da área Figura 3. No estudo, os autores determinaram que 25% da demanda local por eletricidade pode ser suprida com a instalação de painéis solares e a maior parte do potencial solar da paisagem urbana se localiza em edifícios de múltiplos proprietários, levando a crer que para a implementação em larga escala, é necessária a aplicação de ações governamentais de incentivo a utilização de energia solar nesses imóveis. Também é destacado que para uma análise mais completa, é preciso implementar mais variáveis, como a renda dos moradores, pois em regiões com maior potencial solar, caso seja habitada por cidadãos com menor poder aquisitivo, os mesmos dificilmente investirão em energia solar em suas residências, evidenciando mais uma vez a necessidade de políticas públicas.



Figura 3 - Eletricidade produzida por painéis fotovoltaicos em telhados residenciais. Fonte: Santos et al. (2014).

Fuentes, Moya e Montoya (2020), realizaram um estudo de caso em um edifício localizado no Campus da Univercidade de Cali, na Colômbia, o qual instalou recentemente painéis solares e propuseram comparar os resultados obtidos através da aerofotogrametria com drone, estipulando os valores de geração de energia fotovoltaica, com os resultados reais apresentados pelo sistema, também foi usado o modelo do software PVSyst para validar as informações. Os resultados obtidos podem ser observados no Quadro 1. O trabalho demonstrou que os dados coletados através do MDS, obtiveram valores com variação de 7,05% para irradiância, já a produção de energia para o ano de 2019 apresentou uma diferença de 17,7% para Wh/m² e 17,5% para MWh, lembrando que os painéis solares trabalham com uma eficiência média menor que 20%. No caso foi estipulada a eficiência de e 16.82%, segundo a fabricante.

Variável	Dados Drone-MDS (Área do painel solar)	Estimativa PVSyst	Dados do Estudo de Caso do Sistema Fotovoltaico
Irradiância média anual no telhado (kWh / m ²)	1417.98	1661.5	1317.88
Irradiância média mensal no telhado (kWh / m ²)	118.16	138.46	109.8
Irradiância média diária no telhado (kWh / m ²)	3.88	4.61	3.66
Produção de energia para o ano de 2019 (Wh / m ²)	1236.96	246.92	217
Produção média anual de energia (MWh) para 2019	1334.68	268.9	236.95

Quadro 1 -- Diferenças nas variáveis relacionadas aos cálculos de irradiância solar a partir de dados de UAV, Estimativa de PVSyst e painéis solares. Fonte: Adaptado de Fuentes, Moya e Montoya (2020).

Kodysh et al. (2013) usou imagens obtidas através de LiDAR da cidade Knox County, Tennessee, USA. Nesse trabalho são comparadas regiões residenciais e comerciais, o autor destaca a influência do sombreamento da vegetação circundante às construções sobre o potencial fotovoltaico do telhado, Figura 4. Já os edifícios comerciais devido a maior área de cobertura oferecem um maior potencial de geração fotovoltaica que os residências, demonstrado na Figura 5.

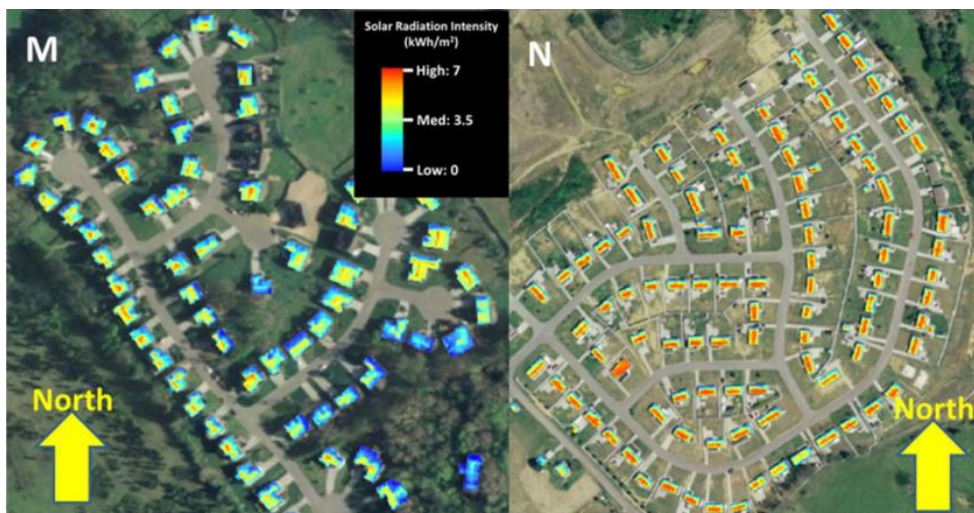


Figura 4 - Uma comparação de estimativas de radiação solar para duas subdivisões residenciais diferentes. Fonte: Kodysh et al. (2013).



Figura 5 - Demonstrando a diferença nos valores de radiação solar entre telhados residenciais e comerciais. Fonte: Kodysh et al. (2013).

Nelson e Grubestic (2020), desenvolveram sua pesquisa em um bairro denominado Sunnyslope na cidade de Phoenix, EUA e estimaram seu potencial fotovoltaico, conforme Figura 6. Os autores comparam dados coletados através da fotogrametria e com a tecnologia LiDAR. Foi verificado que os dados coletados com LiDAR podem subestimar os potencial fotovoltaico em até 32%. Em contraponto, dados coletados a partir da fotogrametria com drones apresentam valores próximos ao que deveríamos esperar da área de estudo.

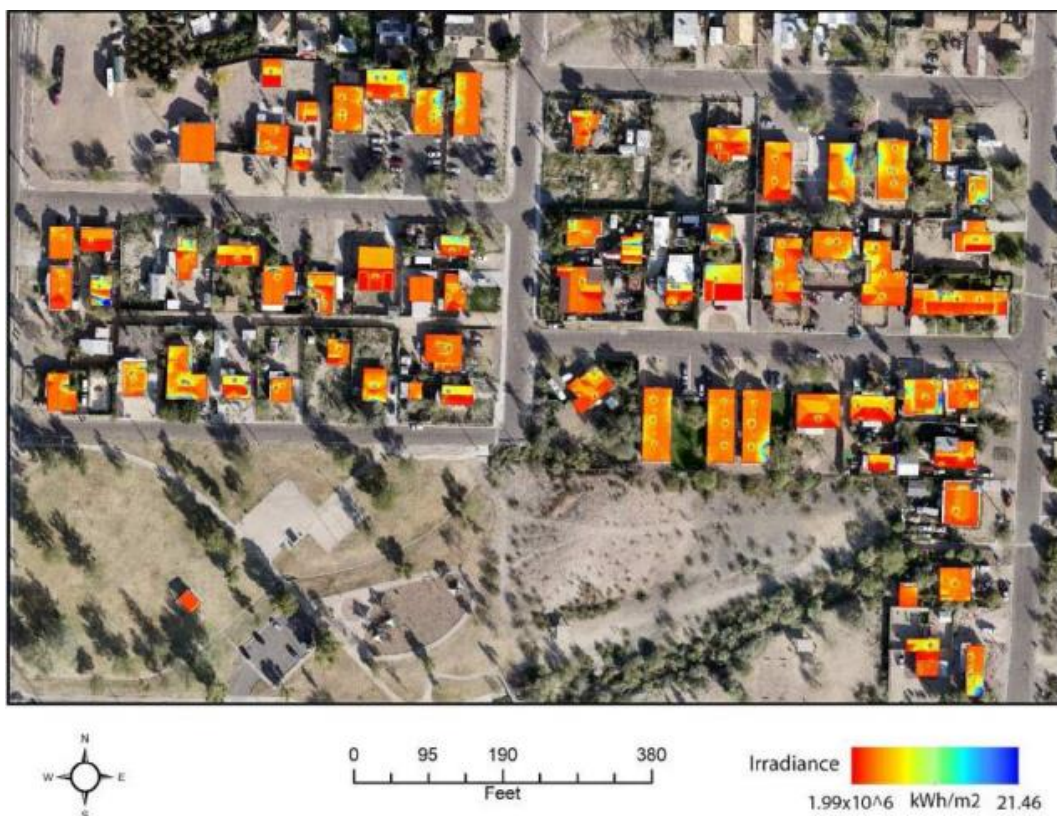


Figura 6 - Valores de irradiância solar dos telhados da área de estudo. Fonte: Nelson e Grubestic (2020).

3. Materiais e Métodos

A área do Refeitório Universitário da Universidade Federal Fronteira Sul (UFFS) – Campus Cerro Largo, conforme Figura 7, foi escolhida para o desenvolvimento da metodologia. A cobertura da edificação possui aproximadamente 1.931m^2 e já dispõe de um sistema de aquecimento solar de água.

Segundo a prefeitura de Cerro Largo (2022) o município de Cerro Largo situa-se na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, distante cerca de 498km da capital, Porto Alegre, possui como municípios limítrofes: Campina das Missões, Ubiretama, Guarani das Missões, Mato Queimado, Rolador e Salvador das Missões. De acordo com o censo 2010, apresenta uma população de 13.289 habitantes, área de $177,674\text{ km}^2$ e está a uma altitude de 211 metros do nível do mar. Conforme dados do Climate-Data (2022), Cerro Largo apresenta um clima quente e temperado com grande volume de chuvas (1894mm/ano) e temperatura média de $20,5^\circ\text{C}$, classificada como Cfa por Köppen e Geiger.

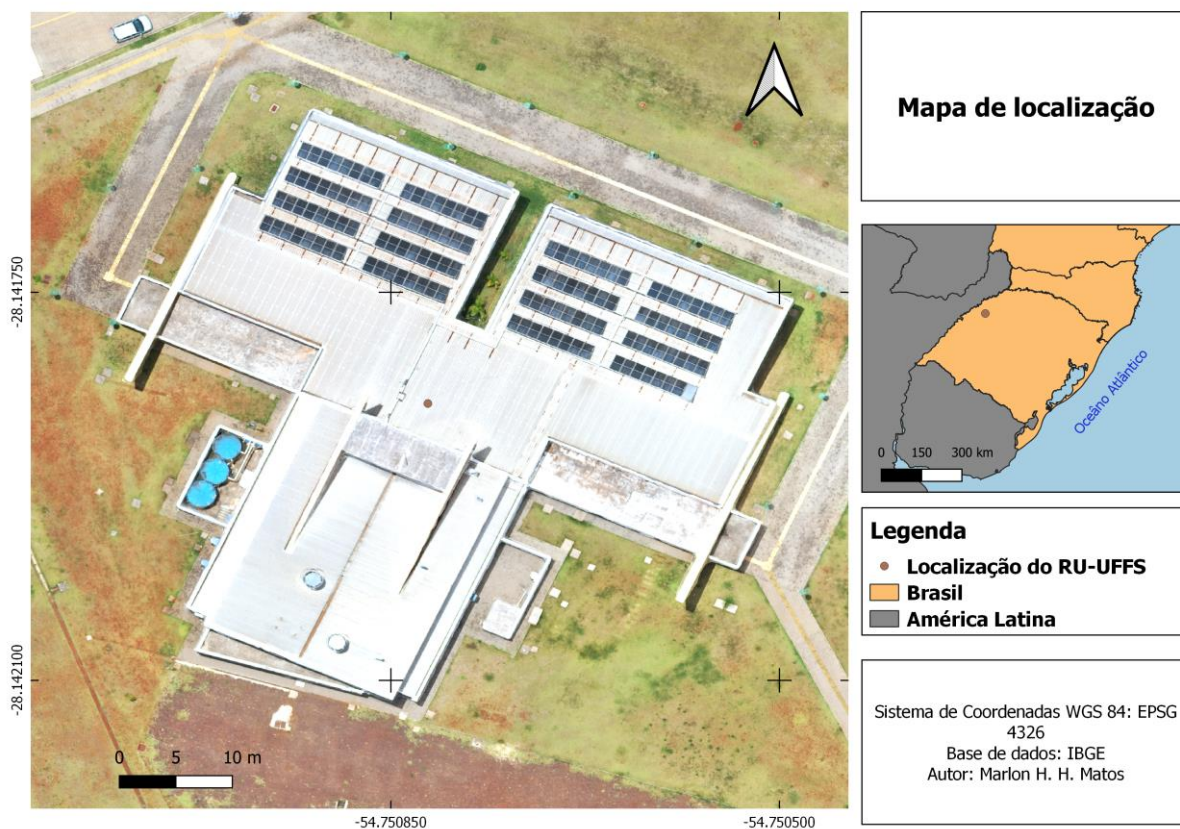


Figura 7 - Mapa de localização RU, UFFS - Campus Cerro Largo. Fonte: elaborado pelos autores.

A aerofotogrametria com drones foi a tecnologia de modelagem que demonstrou maior eficiência e custo-benefício segundo a bibliografia consultada, portanto a escolhida para o desenvolvimento do estudo. Um drone marca Dji Mavic 2 Pro foi utilizado na captura de dados, bem como o aplicativo Pix4dcapture, para planejamento de voo, e ainda os softwares Pix4dmapper 4.12 e Arcgis 10.8, para processamento dos dados obtidos em campo.

A etapa inicial consiste em realizar a captura das imagens através do drone, utilizando o aplicativo de planejamento de voo, conforme indicado pelo piloto e o fabricante (PIX4D, 2022). Foram realizadas 2 missões, na primeira um voo tipo grid, com a câmera a nadir (inclinação de 90° graus), velocidade de captura de 6m/s e altura de 90m, o qual resultou em 58 imagens, o segundo compreendeu um voo tipo cruzado com inclinação de câmera em 65°, para melhor visualização das feições da construção, velocidade de 6m/s e altura de 70m, gerando 170 imagens, conforme Figura 8.

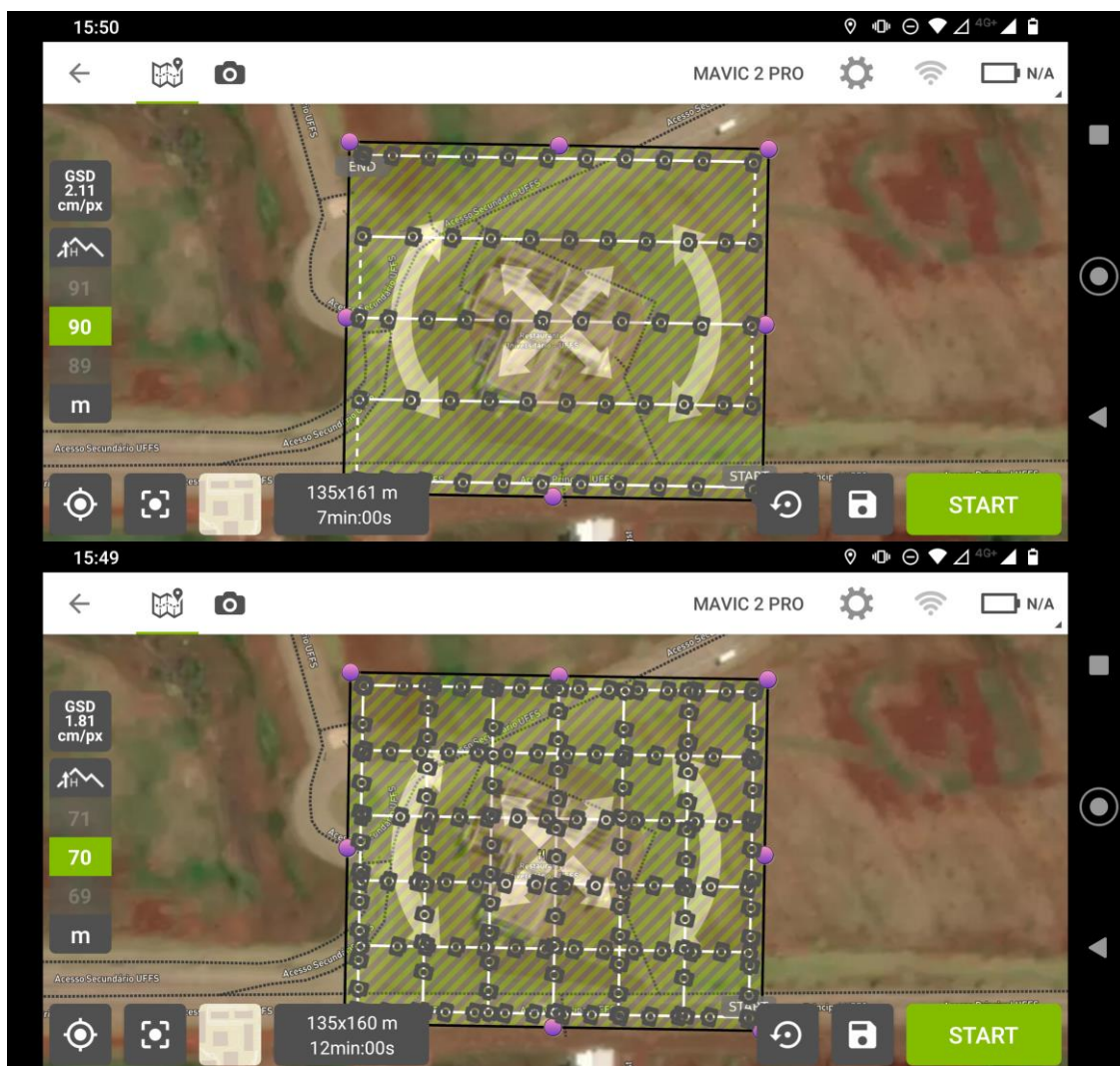


Figura 8 - Planos de voo. Fonte: elaborado pelos autores.

Após a coleta das imagens, é executado o processamento no software Pix4d mapper que, através dos princípios da aerofotogrametria, obtemos alguns produtos como nuvem esparsa e densa de pontos, malha tridimensional de triângulos, ortomosaico, MDS e MDT (Modelo Digital de Superfície e Terreno).

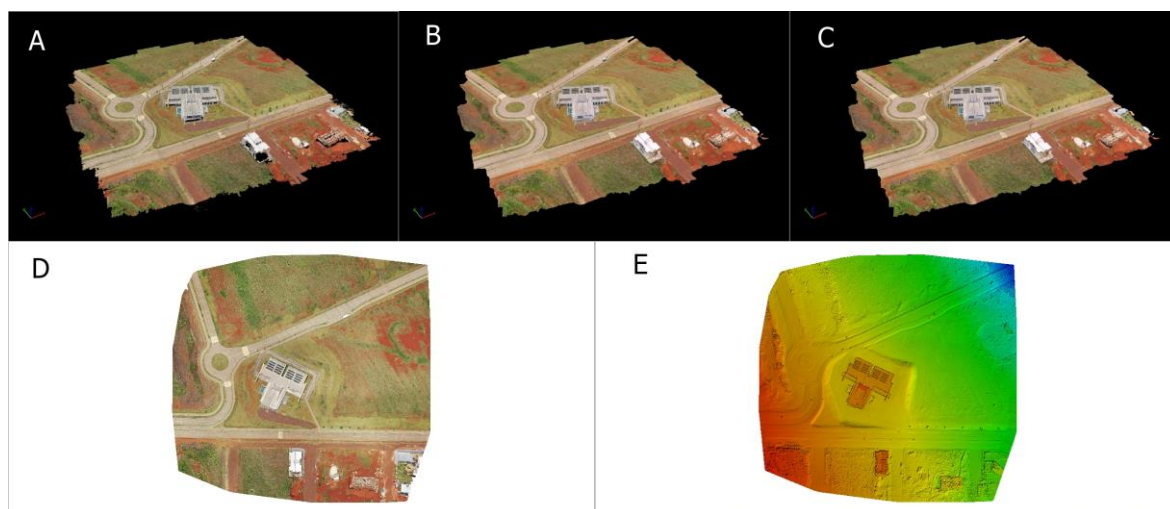


Figura 9 - Resultados do processamento digital de imagens de drone, (A) nuvem esparsa de pontos, (B) nuvem densa de pontos, (C) malha tridimensional de triângulos, (D) ortomosaico e (E) modelo digital de superfície. Fonte: elaborado pelos autores

Para o seguimento da metodologia utilizamos o MDS e o ortomosaico, os quais podemos visualizar informações como a área útil da cobertura do edifício e suas medidas verticais. Através da ferramenta Area Solar Radiation, presente no software ArcGis e seguindo as orientações da fabricante (ESRI, 2022), podemos modelar a estimativa de irradiação solar em uma determinada área, tendo como dado de entrada o MDS, o ano de referência para esse trabalho foi o de 2021 e o parâmetro de observação da irradiação inserido na ferramenta foi a cada 1 hora.

4. Resultados e Discussão

Durante a pesquisa bibliográfica, foram evidenciadas diferentes técnicas de coletas de dados, bem como suas vantagens e desvantagens, o método de aerofotogrametria com drones demonstrou ter o melhor custo-benefício segundo os literatura consultada, nesse estudo utilizamos oito artigos de diferentes bases de dados, maior parte na língua inglesa, o que pode evidenciar uma carência de pesquisas com essa temática em nosso país.

Após a modelagem, obteve-se o mapa de irradiação anual para a área de estudo, Figura 10, podemos observar que a irradiação máxima anual observada foi de aproximadamente 1.600,2 KW/m², convertendo para dias, obtemos uma média de aproximadamente 4,38 KW/m², segundo dados da CRESESB, a média de irradiação anual para a cidade de Cerro Largo é de 4,69 KW/m², estando então o valor cerca de 6,6% abaixo do esperado. Também podemos observar através do modelo, áreas com maior e menor potencial de geração de energia fotovoltaica, no caso de um projeto de instalação de usina solar. É importante salientar que não foram utilizados pontos de controle em solo para melhorar precisão geográfica dos dados obtidos devido à falta de um equipamento de precisão RTK, podendo assim gerar uma interferência nos resultados finais.

Irradiação Anual RU - UFFS Campus Cerro Largo

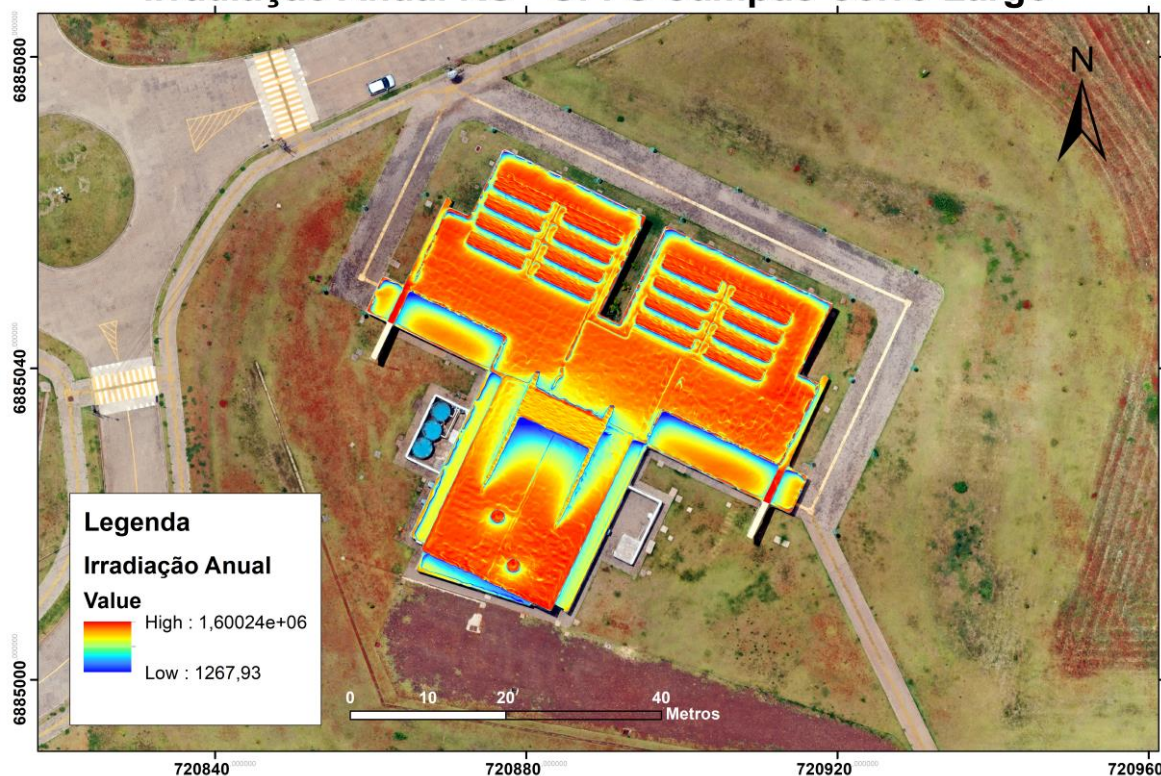


Figura 10 - Irradiação anual sobre a cobertura do RU, UFFS - Campus Cerro Largo. Fonte: elaborado pelos autores.

5. Considerações Finais

O presente trabalho procurou demonstrar estudos de irradiação solar sobre as coberturas de edificação e suas respectivas conclusões, podemos observar algumas variáveis importantes demonstradas pelos autores, como a presença de vegetação nas regiões circundantes aos edifícios que podem diminuir a eficiência dos painéis solares, bem como os diferentes métodos de coletas desde a manual através de desenhos, até métodos modernos como uso de LiDAR, imagens de satélite e drones (aerofotogrametria), a qual se mostrou mais eficiente na elaboração dos modelos em comparação com os dados reais coletados.

A metodologia foi aplicada no RU da UFFS – Campus Cerro Largo, onde obteve-se a irradiação anual total em sua cobertura, o valor modelado ficou próximo ao presente na bibliografia consultada. Para trabalhos futuros, podemos estender o estudo para as demais edificações da Universidade, ou qualquer região de interesse, como bairros do município.

Referências

AGUGIARO G. et al. **Solar radiation estimation on building roofs and web-based solar cadastre**. Disponível em: < <https://www.isprs-ann-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/I-2/177/2012/isprsannals-I-2-177-2012.pdf> > Acesso em: 05 jan. 2022.

CHIABRANDO, Filiberto et al. **3D roof model generation and analysis supporting solar system positioning**. Disponível em:

<<https://cdnsicepub.com/doi/abs/10.5623/cig2017-301>> Acesso em: 02 jan. 2022.

CLIMATE-DATA. **Clima Cerro Largo**. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rio-grande-do-sul/cerro-largo-43782/>> Acesso em: 07 jan. 2022.

CRESESB. **Potencial Solar - SunData v 3.0**. Disponível em:

<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#localidade_2558> Acesso em: 02 jan. 2022.

ESRI. **Area Solar Radiation (Spatial Analyst)**. Disponível em:

<<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/2.8/tool-reference/spatial-analyst/area-solar-radiation.htm>> Acesso em: 07 jan. 2022.

FREITAS, S. et al. **Modelling solar potential in the urban environment: State-of-the-art review**. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032114007461>> Acesso em: 04 jan. 2022.

FUENTES, Jose Eduardo; MOYA, Francisco David; MONTTOYA, Oscar Danilo; **Method for Estimating Solar Energy Potential Based on Photogrammetry from Unmanned Aerial Vehicles**. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-9292/9/12/2144?type=check_update&version=1> Acesso em: 02 jan. 2022.

KODYSH, Jeffrey B. et al. **Methodology for estimating solar potential on multiple building rooftops for photovoltaic systems**. Disponível em: <

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670713000036>> Acesso em: 04 jan. 2022.

NELSON, Jake R; GRUBESIC, Tony H. **The use of LiDAR versus unmanned aerial systems (UAS) to assess rooftop solar energy potential**. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670720305746>> Acesso em: 03 jan. 2022.

PIX4D. **Manual and Settings (Android) - PIX4Dcapture**. Disponível em:

<<https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/360019848872-Manual-and-Settings-Android-PIX4Dcapture>> Acesso em: 09 nov. 2021.

PREFEITURA DE CERRO LARGO. **Dados Gerais**. Disponível em:

<<https://www.cerrolargo.rs.gov.br/site/conteudos/2040-dados-gerais>> Acesso em: 29 abr. 2022.

SANTOS, T. et al. **Applications of solar mapping in the urban environment**.

Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143622814000587>> Acesso em: 06 jan. 2022.

ZHANG, Wen; et al. **Evaluation of the photovoltaic potential in built environment using spatial data captured by unmanned aerial vehicles**. Disponível em:

<<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ese3.408>> Acesso em: 07 jan. 2022.