

# INTRODUÇÃO AO MAPEAMENTO DE POTENCIAL FOTVOLTAICO EM UMA CIDADE NO NORTE DO ESTADO DO PARANÁ

*INTRODUCTION TO MAPPING PHOTOVOLTAIC POTENTIAL IN A CITY IN THE NORTH OF PARANÁ STATE*

*INTRODUCCIÓN AL MAPEO DE POTENCIAL FOTVOLTAICO EN UNA CIUDAD DEL NORTE DEL ESTADO DE PARANÁ*

Edson Henrique da Silva<sup>1</sup>  
Marina Panerai<sup>2</sup>  
Pedro Henrique Linares Gil<sup>3</sup>  
Gabriel Vergara<sup>4</sup>

**Grupo de trabalho:** Grupo de Inovação, Tecnologia e Sustentabilidade da Uninter

## Resumo

Trata-se de uma pesquisa acerca do potencial de geração de energia elétrica por meio de módulos fotovoltaicos na cidade de Londrina/PR, que tem o intuito de trazer maior transparência, clareza e segurança para possíveis investimentos públicos ou privados no setor, bem como fornecer maiores dados para pesquisas e políticas públicas de fomento à energia renovável, em especial a solar. Os principais dados foram retirados do Atlas de Energia Solar do Paraná, IBGE, softwares QGIS e Radasol, entre outros bancos de dados públicos, para mensurar a área total passível de instalação de módulos fotovoltaicos e identificar a irradiação solar local. Foram realizadas pesquisas breves a respeito dos modelos mais comuns dos painéis fotovoltaicos para identificar a área e potência mais comuns entre as marcas; diante disto, foram realizadas algumas considerações para possibilitar os cálculos, tendo em vista a vasta variedade de marcas e modelos disponíveis no mercado. Verificou-se que o potencial de geração de energia solar no município de Londrina é de aproximadamente 33.918.252 MW/h por ano, de acordo com a pesquisa até este momento. Isto corresponde a várias vezes o consumo de energia da população, comércio e poder público de Londrina; no entanto, ainda há necessidade de dados e cálculos para se obter resultados mais precisos e menos genéricos, principalmente levando em consideração o perfil econômico da cidade e o principal dado para cálculo: área passível de instalação de placa fotovoltaicas. É necessário ressaltar que os dados do IBGE são do censo de 2010 e se encontram desatualizados; devido à pandemia de COVID, o novo censo ainda não foi concluído.

**Palavras-chave:** energia solar; painéis fotovoltaicos; potencial elétrico.

## Abstract

This paper presents research on the potential for generation of electricity through photovoltaic modules in the city of Londrina/PR, which aims to bring greater transparency, clarity and safety for future public or private

<sup>1</sup> Estudante do curso de Engenharia da Computação do Centro Universitário Internacional UNINTER.

<sup>2</sup> Estudante do curso de Física - Bacharelado do Centro Universitário Internacional UNINTER.

<sup>3</sup> Estudante do curso de Engenharia da Computação do Centro Universitário Internacional UNINTER.

<sup>4</sup> Professor do Centro Universitário Internacional UNINTER - Orientador.

investments in the sector, as well as provide more data for research and public policies promoting renewable energy, especially solar. The main data were taken from the Solar Energy Atlas of Paraná, IBGE, QGIS and Radasol software, among other public databases, to measure the total area for the installation of photovoltaic modules and identify the local solar irradiation. Brief research was carried out about the most photovoltaic panels common models to identify the most common area and power among the brands; after this, some considerations were made to make the calculations possible, given the wide variety of brands and models available in the market. It was verified that the potential for solar energy generation in the city of Londrina is approximately 33,918,252 MW/h per year, according to the research by now. This corresponds to several times the energy consumption of the population, businesses and public power of Londrina; however, there is still a need for data and calculations to obtain more accurate and less generic results, especially taking into account the economic profile of the city and the main data for calculation: area for installation of photovoltaic plates. It should be noted that the IBGE data are from the 2010 census and are outdated; due to the COVID pandemic, the new census has not yet been completed.

**Keywords:** solar energy; photovoltaic panels; electric potential.

### Resumen

Esta es una investigación acerca del potencial de generación de energía eléctrica a través de placas fotovoltaicas en la ciudad de Londrina/PR, cuyo objetivo es ofrecer mayor transparencia, claridad y seguridad a las posibles inversiones públicas o privadas en el sector, así como proporcionar más datos para la investigación y políticas públicas destinadas a la promoción de energías renovables, especialmente la solar. Los principales datos fueron extraídos del Atlas de Energía Solar de Paraná, IBGE, del software QGIS y Radasol, entre otras bases de datos públicas, para medir el área total en donde se podrían instalar módulos fotovoltaicos e identificar la irradiación solar local. Se realizaron breves estudios sobre los modelos más comunes de paneles fotovoltaicos para identificar el área y potencia más frecuentes entre las marcas; para ello, se hicieron algunas consideraciones para viabilizar los cálculos, teniendo en cuenta la gran variedad de marcas y modelos disponibles en el mercado. Se constató que el potencial de generación de energía solar en el municipio de Londrina es de aproximadamente 33.918.252 MW/h al año, según investigaciones realizadas hasta la fecha. Esto corresponde a varias veces el consumo de energía de la población, empresas y poder público en Londrina; sin embargo, aún existe la necesidad de datos y cálculos para obtener resultados más precisos y menos genéricos, teniendo en cuenta principalmente el perfil económico de la ciudad y el dato principal para el cálculo: la superficie en donde se pueden instalar paneles fotovoltaicos. Es necesario señalar que los datos del IBGE son del censo de 2010 y están desactualizados; debido a la pandemia de COVID, el nuevo censo aún no se ha completado.

**Palabras-clave:** energía solar; paneles fotovoltaicos; potencial eléctrico.

### Introdução

Desde muito cedo, a energia é vital para a cultura da humanidade. A partir do momento em que os seres humanos passaram a usar de forma mais eficiente os recursos ao seu redor e descobriram o uso do fogo, houve uma significativa melhoria e evolução; em consequência disso, começaram a se defender dos animais, cozinhar alimentos e aprimorar as suas ferramentas. É bastante coerente dizer que as fontes energéticas estão fortemente relacionadas com o avanço da civilização em nosso planeta Terra.

Segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2021, p. 63), a matriz energética nacional está composta por 64% hidráulica, 9% gás natural, 9% biomassa, 9% eólica, 1% derivados de petróleo, 2% carvão, 2% solar e 2% diversas. Com base nessas

informações estatísticas, nota-se que a matriz energética brasileira está focada, quase que exclusivamente, em fontes produtoras de energia que acabam de alguma maneira agredindo o ecossistema como, por exemplo, a energia hidráulica que, apesar de ser considerada renovável, não é limpa, uma vez que afeta a flora e a fauna da região inundada (QUEIROZ *et al.*, 2013). Para Ponath (2022), o aumento exponencial da população acaba causando uma geração excessiva de resíduos, por conta do consumo irresponsavelmente despreocupado dos recursos naturais.

Os objetivos principais deste mapeamento são mostrar como informações claras e simplificadas podem ajudar e incentivar à população a conhecer melhor e utilizar energia fotovoltaica; com isso pode-se reduzir o impacto causado pela crescente demanda de energia, bem como servir de base para outros estudos e políticas públicas de fomento à energia fotovoltaica.

Como primeiro estudo de caso, escolhemos apenas uma cidade: Londrina/PR. Averiguar-se-á o potencial fotovoltaico de Londrina por meio de um mapeamento da área urbana e rural e dados do censo, uma vez que estes elementos ajudam a filtrar as zonas mais propícias para implementação de sistemas geradores de energia fotovoltaica, considerando, em um primeiro momento, sistemas residenciais.

## **Metodologia**

O presente artigo é um estudo de caso de natureza quantitativa, apoiado em método dedutivo. Classifica-se, também, como pesquisa de campo, com levantamento e avaliação dos dados pertinentes. A principal técnica utilizada foi a de estudo de caso.

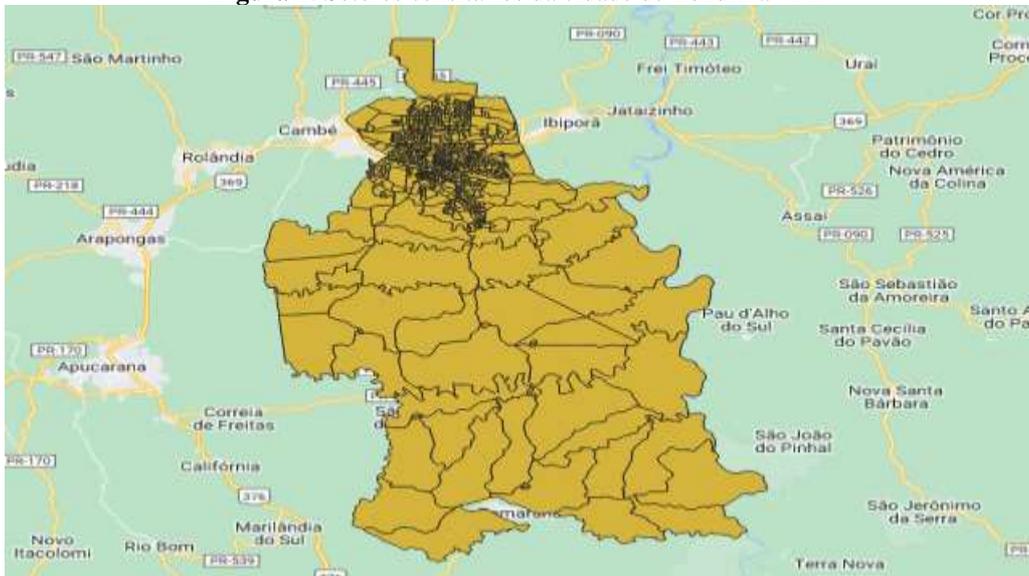
Para a realização do estudo de caso, escolheu-se o município de Londrina, localizado no estado do Paraná. O mapeamento dos telhados aptos à instalação de painéis fotovoltaicos foi realizado através do software QGIS, utilizando dados obtidos em bases nacionais. Inicialmente, considerou-se a base de dados do estado do Paraná para a extração de informações dos setores censitários do município de Londrina. Posteriormente, foram excluídos os setores referentes às áreas rurais, por não se enquadrarem na área de interesse do estudo, em função da escassa quantidade de telhados em relação à extensão territorial. Coletaram-se também informações referentes à irradiação e irradiância médias da cidade, com o uso do software Radasol e Atlas de Energia Solar do Paraná (TIEPOLO *et al.*, 2017).

## Resultados e discussão

Por meio do levantamento dos dados das fontes citadas na metodologia, os principais resultados encontrados expõem-se a seguir.

A figura 1 apresenta os setores censitários da cidade de Londrina. Um setor censitário é uma unidade territorial estabelecida para fins de controle cadastral, formado por área contínua, situada em um único quadro urbano ou rural, com dimensão e número de domicílios que permitam o levantamento por um recenseador (IBGE, 2010). Ao norte da cidade encontra-se a maioria dos setores, por se tratar de área predominantemente urbana e mais populada. Os setores ao sul representam áreas rurais, mais extensas em território.

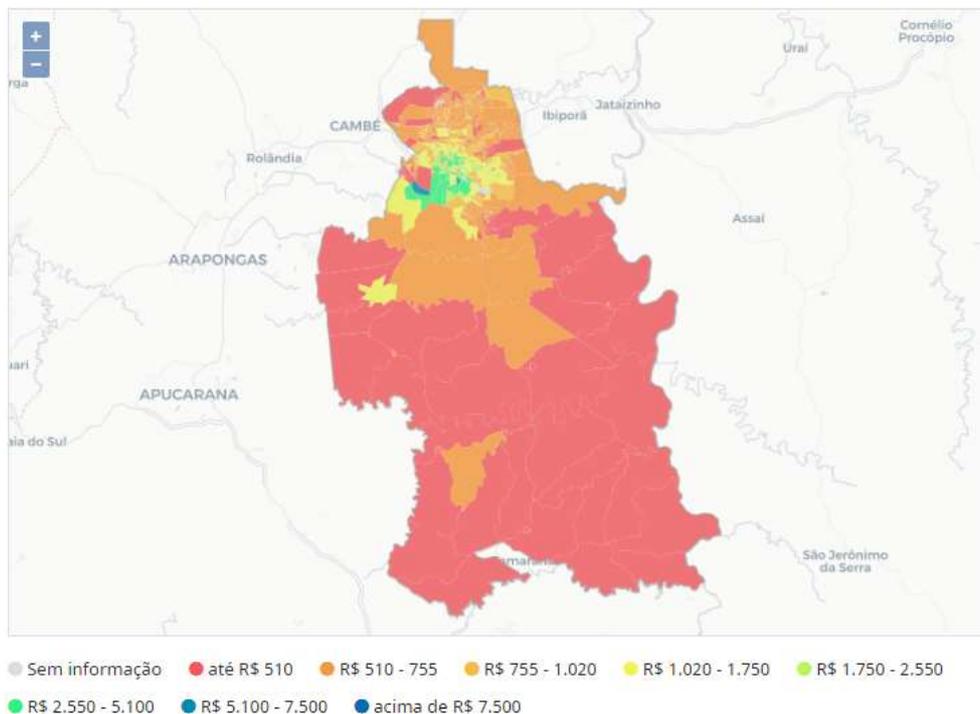
**Figura 1:** Setores censitários da cidade de Londrina - PR



**Fonte:** IBGE (2010); software QGIS. Org: os autores (2022)

De forma a integrar informações a respeito da realidade do local estudado, foi feita uma classificação por renda dos setores censitários, com base nos dados do censo. A figura 2 apresenta os valores do rendimento nominal médio mensal das pessoas com 10 ou mais anos de idade, com ou sem rendimento, residentes na cidade de Londrina, referentes ao ano de 2010, o último censo disponível.

**Figura 2:** Renda média nos setores censitários (2010)



**Fonte:** Atlas Brasil 2013 – Censo IBGE 2010 (org. Datapedia.info)

A tabela 1 apresenta uma comparação entre o rendimento mensal per capita, a classe social correspondente e o número de domicílios. Os nomes das classes foram utilizados com base na classificação nacional, o Critério Brasil (ABEP, 2010). Considera-se o valor do salário-mínimo vigente no ano de 2010 (R\$ 510,00), bem como o Critério por Faixa Salarial vigente no referido ano.

**Tabela 1:** Número de domicílios por faixa de renda

<b>RENDIMENTO MENSAL PER CAPITA</b>	<b>CLASSE SOCIAL</b>	<b>NÚMERO DE DOMICÍLIOS</b>
Sem rendimento	D2	3.632
Até ¼ de salário-mínimo	D2	3.038
Mais de ¼ a ½ salário-mínimo	D2	12.375
Mais de ½ a 1 salário-mínimo	D2	40.998
Mais de 1 a 2 salários-mínimos	D	52.035
Mais de 2 a 3 salários-mínimos	C	20.169
Mais de 3 a 5 salários-mínimos	B	16.847
Mais de 5 salários-mínimos	A e A2	15.802

**Fonte:** IBGE, 2010 (organizada pelos autores, 2022)

Com o uso das ferramentas de edição do software QGIS, foi possível escolher amostras entre os setores censitários e mapear os telhados de forma a obter a área média de telhados, utilizando-se o mapa-base como referência. Foram excluídos setores de área rural e aqueles com predominância de construções não residenciais, como indústrias. Multiplicando-se a área média de telhados pela quantidade de setores urbanos referentes a cada faixa de renda, foi possível estimar a área média de telhados em cada faixa econômica. Considerou-se que setores com a mesma classificação de renda possuem valor de área construída muito próximos, por se enquadrarem no mesmo nível de poder aquisitivo. Utilizando-se como referência o percentual de 30% adotado por Magoga, Leite e Melo (2019), foi possível calcular a área aproveitável de telhados. Ressalta-se que o número de setores é uma aproximação em razão da indisponibilidade de informações precisas, portanto é possível a ocorrência de variação nos resultados, apresentados na tabela 2.

**Tabela 2:** Levantamento da área média aproveitável de telhados

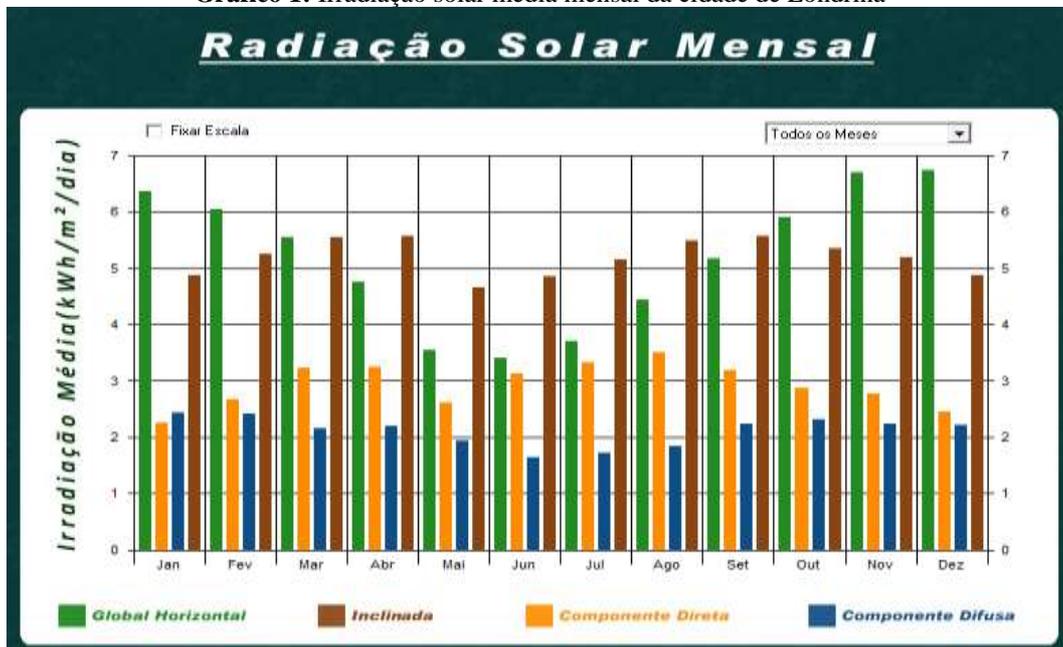
<b>FAIXA SALARIAL (R\$)</b>	<b>CLASS E SOCIAL</b>	<b>ÁREA MÉDIA DE TELHADOS POR SETOR (M<sup>2</sup>)</b>	<b>NÚMERO APROXIMADO DE SETORES POR CLASSE SOCIAL</b>	<b>ÁREA MÉDIA TOTAL DE TELHADOS POR CLASSE SOCIAL (M<sup>2</sup>)</b>	<b>ÁREA MÉDIA APROVEITÁVEL (M<sup>2</sup>)</b>
5100-7500	A	498,6	2	997,2	299,16
2550-5100	A2	479,73	15	7.196	2.158
1750-2550	B	239,57	10	2.395	718,5
1020-1750	C	150,51	18	2.709	812,7
755-1020	D	103,25	12	1.238	371,4
510-755	D	120,65	20	2.412	723,6
Até 510	D2	133,96	15	2.009	602,7

**Fonte:** Os autores (2022)

Com um total aproximado de 28.270.170,45m<sup>2</sup> de área total de telhados, e utilizando dados disponíveis no perfil de Londrina de 2021 — conjunto de dados disponibilizados pela própria Prefeitura Municipal de Londrina [PML] —, existiam cerca de 22.580.015m<sup>2</sup> de telhados residenciais em 2020 (LONDRINA, 2021). Aplicando a regra dos já mencionados 30%, restariam em torno de 6.774.004,5m<sup>2</sup> aproveitáveis, em telhados residenciais, para a instalação de painéis fotovoltaicos na cidade de Londrina/PR.

A partir dos dados do Atlas de Energia Solar do Paraná (TIEPOLO *et al.*, 2017) e do gráfico 1, verifica-se que a irradiação global horizontal média por ano em Londrina é de aproximadamente 1800 kWh/m<sup>2</sup>, com uma média diária de irradiação solar global horizontal de 4.87 kWh/m<sup>2</sup>. O gráfico 2 apresenta a relação irradiância x tempo na cidade de Londrina.

**Gráfico 1:** Irradiação solar média mensal da cidade de Londrina

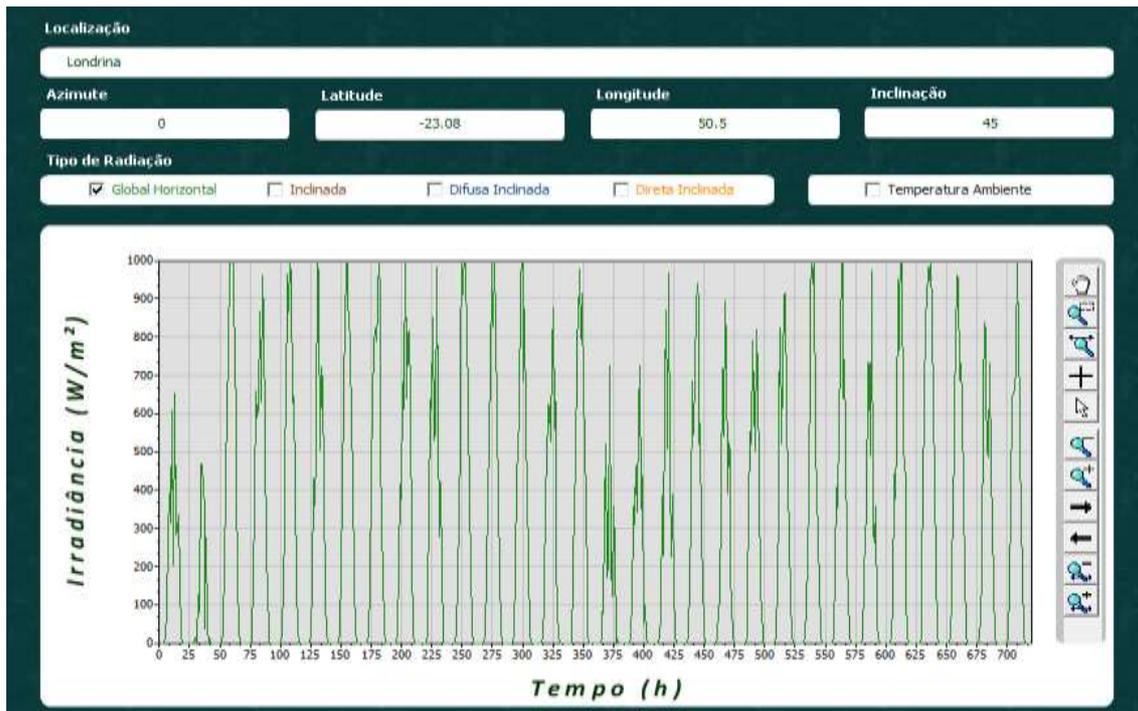


Fonte: Software Radasol - Os autores (2022)

Painéis comerciais hoje variam de 100 a 500W em média, podendo chegar a mais ou menos; utilizou-se 340W como base para o cálculo (por ser uma potência encontrada em quase todos os fornecedores), usando a seguinte fórmula:

$$\text{Energia} = 0,340\text{kW} \times 8,4\text{h} \times 4,87 \text{ kWh/m}^2 = 13,90 \text{ quilowatts-hora (kWh)}.$$

**Gráfico 2:** Relação irradiância x tempo, tipo de radiação global horizontal, na cidade de Londrina



Fonte: Software Radiasol - Os autores (2022)

Uma vez que, segundo o Climate Data, se tem 8,4h de sol por dia em média por ano em Londrina/PR, em um mês haveria o potencial de 417,26 kW/h por módulo solar. Assumindo uma média de 1 m<sup>2</sup> por módulo solar e considerando o espaço total calculado anteriormente, seria possível a instalação de 6.774.004,5 módulos solares, gerando 2.826.521.118 kW/h ou 2.826.521 MW/h por mês, 33.918.252 MW/h por ano.

O consumo em MW/h anual, em 2019, em Londrina, segundo dados do *Perfil de Londrina* da COPEL (2020), total, é de 1.437.209 MW/h. Sendo o consumo de 459.570 MW/h e todo o gasto energético londrinense estando na casa dos 1.437.209 MW/h, poder-se-ia gerar dezenas de vezes mais a energia consumida pela cidade de Londrina com a instalação de painéis fotovoltaicos.

### Considerações finais

Chega-se à conclusão de que há, em Londrina, um gigantesco potencial elétrico a ser explorado via painéis fotovoltaicos em cobertura de telhados urbanos, na grandeza de milhões de megawatt/hora por ano, de maneira que a cifra pode chegar a diversas vezes o total do consumo.

No entanto, deve se considerar que os dados censitários são de 2010, mais de uma década atrás, e o processo de urbanização certamente foi acentuado, criando mais espaços possíveis para a instalação de módulos fotovoltaicos.

É de se levar em consideração também a imprecisão dos dados tanto do IBGE quanto da Prefeitura de Londrina, pois não há investigação “in loco” de todos os imóveis; houve imprecisões desde o início da coleta dos dados; por exemplo, os dados da PML são baseados nos registros de imóveis, que costumam estar desatualizados com relação à realidade por diversos motivos.

É necessário considerar também que ainda há muitas generalizações nos cálculos devido à incipiência da pesquisa; com o seu avanço, dados mais concretos e cálculos mais detalhados e específicos trarão maior clareza sobre o real potencial elétrico que pode ser gerado via energia solar.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE PESQUISA - ABEP. **Critério Padrão de Classificação Econômica Brasil - Base 2010**. Disponível em: <https://www.abep.org/criterio-brasil>. Acesso em: 04 nov. 2022.

CLIMATE DATA. **Dados Climatológicos para Londrina**. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/parana/londrina-4183/>. Acesso em: 16 nov. 2022.

COPEL. **Perfil de Londrina 2020**. Disponível em: <http://repositorio.londrina.pr.gov.br/index.php/menu-planejamento/gpi/perfil-2020/36007-tabela-3-1-3/file>. Acesso em: 12 nov. 2022.

DATAPEDIA. **Renda média nos setores censitários**. Disponível em: <https://datapedia.info/cidade/3848/pr/londrina#renda-setores>. Acesso em: 04 nov. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Anuário Estatístico de Energia Elétrica**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>. Acesso em: 10 nov. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2020. **Malha de setores censitários**. Disponível em: [https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html?caminho=organizacao\\_do\\_territorio/malhas\\_territoriais/malhas\\_de\\_setores\\_censitarios\\_divisoes\\_intramunicipais/2020/Malha\\_de\\_setores\\_\(kml\)\\_por\\_municipios](https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html?caminho=organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_de_setores_censitarios_divisoes_intramunicipais/2020/Malha_de_setores_(kml)_por_municipios). Acesso em: 4 nov. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Operação Censitária**. 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/materiais/guia-do-censo/operacao-censitaria.html>. Acesso em: 12 nov. 2022.

LONDRINA. Prefeitura Municipal de Londrina, **Perfil de Londrina 2021**. Disponível em: <https://portal.londrina.pr.gov.br/perfil-de-londrina/perfil-de-londrina-2021>. Acesso em: 16 nov. 2022.

MAGOGA, G.; LEITE, P.; MELO, D. Mapeamento do Potencial Solar Fotovoltaico em Telhados Domiciliares de um Município. **Rev. Bras. de Iniciação Científica (RBIC)**, Itapetininga, v. 6, n. 5, p. 89-102, 2019.

PONATH, Lucas Ferreira Gaede. Produção fotovoltaica residencial no Brasil: um estudo sobre a eficiência energética e viabilidade econômica. 2022. 92 f. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis e Eficiência Energética) - Instituto Politécnico de Bragança - ESTIG, Rio de Janeiro, 2022.

QUEIROZ, R. de; KOPPE, E.; GRASSI, P.; TARTAS, B.; LAZZARE, K.; BOZZETTO, C.; KEMERICH, P. D. da C. Production of electrical power through hydraulic energy and its environmental impacts. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria - RS, v. 13, n. 13, p. 2774–2784, 2013.

TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, E. B.; URBANETZ JR, J.; PEREIRA, S. V.; GONCALVES, A. R.; LIMA, F. J. L.; COSTA, R. S., ALVES, A. R. **Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná**. 1. ed. Curitiba: INPE, 2017. Disponível em: [http://labren.ccst.inpe.br/atlas\\_PR\\_2017.html](http://labren.ccst.inpe.br/atlas_PR_2017.html). Acesso em: 12 nov. 2022.