Análise espacial do potencial técnico da energia solar fotovoltaica para o fornecimento da demanda de estações de recarga públicas de veículos elétricos em zonas urbanas

Victor G. Borges [1], Luciano C. Amaro [2], Joel D. Melo [3]

**Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do ABC, Santo André-SP, Brasil; (e-mail: victor.gabriel@aluno.ufabc.edu.br).*
**Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do ABC, Santo André-SP, Brasil; (e-mail: luciano.amaro@ufabc.edu.br).*
**Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do ABC, Santo André-SP, Brasil; (e-mail: joel.melo@ufabc.edu.br).*

Abstract: Several sustainable development projects have recently installed photovoltaic systems close to electric vehicle charging stations to meet the demand for recharging electric vehicle batteries. However, implementing such projects presents some technical challenges in urban areas with vertical growth due to the shading in photovoltaic systems during charging times for this class of vehicles. This work presents a methodology to assist in analyzing the technical potential of photovoltaic solar energy that meets the demand for public charging stations for electric vehicles, considering such shading. This methodology is made up of two modules that consider the technical aspects present in the use of photovoltaic solar resources, helping to identify the areas available for installing panels based on geo-referenced data and considering the reduction of this area due to the projected shadows of buildings that are found in their surroundings. The output from the execution of the methodology is a spatial database that shows the available technical potential of rooftop solar photovoltaic energy to meet the demand for public charging stations for electric vehicles. The methodology was applied using information from the city of Santo André, São Paulo – Brazil, which presents vertical urban growth, reducing the use of photovoltaic solar energy on rooftops. The results of this application show that despite shading during the winter and summer solstice, a photovoltaic generator can meet the demands of public charging stations at different times of typical operating days. This result can help agents involved in the development of electric mobility and the use of solar resources.

Resumo: Nos últimos anos, diversos projetos de desenvolvimento sustentável têm realizado a instalação de sistemas fotovoltaicos próximos das estações de recarga de veículos elétricos para o atendimento da demanda de recarga da bateria de veículos elétricos. No entanto, a implementação de tais projetos apresenta alguns desafios técnicos, em zonas urbanas com crescimento vertical, por causa do sombreamento que acontece nos sistemas fotovoltaicos durante os horários de carregamento dessa classe de veículos. Neste trabalho se apresenta uma metodologia para auxiliar na análise do potencial técnico da energia solar fotovoltaica que atenda a demanda de estações de recarga pública de veículos elétricos, considerando tal sombreamento. Esta metodologia está formada por dois módulos que consideram os aspectos técnicos presentes no aproveitamento do recurso solar fotovoltaico, auxiliando na identificação das áreas disponíveis para instalação de painéis a partir de dados georreferenciados e considerando a diminuição dessa área por causa das sombras projetadas dos edifícios que se encontram em seu entorno. A saída da execução da metodologia é uma base de dados espacial que mostra o potencial técnico disponível de energia solar fotovoltaica por telhado para atender a demanda de estações de recarga pública de veículos elétricos. A aplicação da metodologia foi realizada utilizando informações da cidade de Santo André, São Paulo – Brasil, que apresenta um crescimento urbano vertical, resultando em uma redução no aproveitamento da energia solar fotovoltaica nos telhados. Os resultados dessa aplicação mostram que apesar do sombreamento no solstício de inverno e de verão, um gerador fotovoltaico pode suprir as demandas das estações públicas de recarga em diversos horários de dias típicos de operação. Esse resultado pode auxiliar os agentes envolvidos no desenvolvimento da mobilidade elétrica e o aproveitamento do recurso solar.

Keywords: Geographic Information System , Rooftop Solar Photovoltaic Technical Potential Public Charging Stations

Palavras-chaves: Sistema de Informação Geográfica, Potencial Técnico de Energia Solar Fotovoltaica, Estações Públicas de Recarga

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o crescimento da adoção de veículos elétricos (VE) traz a necessidade de se ter uma rede de infraestrutura de recarga pública que possa atender a demanda dos motoristas, como explicado por Ruoso e Ribeiro, (2022). No entanto, os altos custos para construção dessa infraestrutura, a baixa penetração de VE circulando e o alto tempo para obtenção de retorno financeiro podem tornar pouco atrativo o investimento na construção de estações de recarga, como mostrado por Bitencourt et al., (2023). Em Berhorst et al., (2024) se mostra que o alto tempo para o retorno econômico vem atrasando a expansão das estações de recarga de VE no Brasil. Assim, o Brasil tem o pior desempenho dentre 30 países analisados pela Agência Internacional de Energia (IEA - *International Energy Agency*), considerando a potência instalada disponível para o carregamento de VE circulando nas zonas urbanas (IEA, 2023).

Por outro lado, os altos valores de potência instalada das estações de recarga geram um incremento na densidade de carga em alguns locais das redes de distribuição (Liang et al., 2019). Tal incremento pode demandar o uso de fontes energéticas poluentes para suprir a demanda em alguns horários que não se tenha disponibilidade de fontes renováveis menos poluentes. Assim, tal uso pode incrementar a emissão de gases de efeito estufa, como explicado por Arvesen et al., (2021). Uma forma de evitar o uso de fontes energéticas poluentes é a instalação de sistemas fotovoltaicos próximos das estações de recarga (Yang et al., 2021).

A estimativa do potencial técnico fotovoltaico auxilia aos planejadores na análise do uso do recurso solar para suprir a demanda das estações de recarga de VE. O potencial técnico fotovoltaico é a potência instalada dos sistemas fotovoltaicos, considerando aspectos técnicos do processo de conversão, como eficiência dos painéis e inversores, a orientação dos painéis, e o valor máximo de irradiância solar (Assouline et al., 2018). A seguir se apresentam trabalhos publicados nos últimos cinco anos que analisam o potencial técnico fotovoltaico para atender a demanda das estações de recarga de VE.

Em Deshmukh e Pearce, (2021) foi analisado o potencial técnico fotovoltaico no telhado de um grande supermercado e verificado quantas estações de recarga poderiam ser beneficiadas por tal potencial. Igualmente, em Fakour et al., (2023), se analisa o potencial fotovoltaico em uma garagem em Taiwan, associando esse potencial à quantidade de demanda por carregamento mensal que esse potencial poderia suprir. Cada um desses trabalhos estimou o potencial sem considerar a diminuição da área para instalação de sistemas fotovoltaicos por causa das sombras produzidas por edificações urbanas próximas.

Por outro lado, Costa e Cobas, (2023) apresentam um modelo para encontrar possíveis pontos para construção de estações de recarga de veículos elétricos, conectados a um conjunto de sistemas fotovoltaicos dentro de rodovias. Por outro lado, uma metodologia que analisa a viabilidade de instalação de painéis solares nas barreiras acústicas das estradas para atender a demanda de estações de recarga de veículos elétricos ao longo das mesmas foi apresentada em Peerlings et al., (2023). No entanto, nesses trabalhos não se consideram fatores de redução na área aproveitável para instalar sistemas fotovoltaicos.

Da mesma forma, em Cheng et al., (2020) apresentou uma estimativa de como os sistemas fotovoltaicos poderiam suprir a demanda das estações de recarga de VE durante o dia. Porém, sem considerar as sombras projetadas pelos edifícios que se encontram próximos dos locais escolhidos para instalar tais sistemas.

Um fator que impacta no aproveitamento da energia solar fotovoltaica é o efeito do sombreamento nos telhados (Trzmiel et al., 2020). Tal sombreamento ocorre quando prédios, árvores ou outras estruturas bloqueiam a luz solar incidente nos painéis fotovoltaicos, reduzindo significativamente a geração de energia solar. Em Gastelu et al., (2021) foi mostrado que em bairros com crescimento vertical se pode obter uma redução de 3% no potencial técnico fotovoltaico.

Uma abordagem que considera o efeito do sombreamento para geração de energia fotovoltaica em janelas de edifício foi modelada por Hassan et al., (2022). Adicionalmente, Mendis et al., (2020) realizou uma análise do sombreamento para instalação de painéis solares nas fachadas dos prédios. No entanto as abordagens em questão não consideraram a diminuição no potencial técnico fotovoltaico advindo de sombras geradas por estruturas presentes nos telhados, nem relacionaram os valores do potencial técnico com a demanda requerida para carregamento de veículos elétricos.

Neste trabalho se apresenta uma metodologia para auxiliar no aproveitamento do recurso solar fotovoltaico em zonas urbanas com crescimento vertical para o atendimento da demanda das estações de recarga pública de veículos elétricos. A metodologia proposta utiliza como informações de entrada as localizações das estações de recarga, mapas com as características arquitetônicas dos bairros em que se encontram, além de dados de irradiância solar. O resultado da metodologia é o potencial técnico fotovoltaico considerando a diminuição da área para instalar sistemas fotovoltaicos por sombreamento. Adicionalmente, neste trabalho se mostra o resultado de aplicar a metodologia na cidade de Santo André, SP que conta com crescimento vertical. A metodologia proposta pode auxiliar aos proprietários de estações de recarga de VE na avaliação do potencial de energia solar fotovoltaica, considerando a diminuição da área de instalação de sistemas fotovoltaicos por causa de sombreamento.

2. METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia tem dois módulos, sendo que cada módulo aborda aspectos específicos relacionados à estimativa do potencial técnico de energia solar fotovoltaica. No primeiro módulo se realiza a estimativa do sombreamento nos telhados próximos das estações de recarga de VE, considerando o perfil arquitetônico da zona de estudo. Por outro lado, no segundo módulo se calcula o potencial técnico fotovoltaico, considerando as estimativas de sombreamento do primeiro módulo, as características físicas dos telhados, as eficiências do sistema fotovoltaico. O resultado final da metodologia é uma base de dados que permite a visualização da potência injetada por um gerador fotovoltaico e a demanda da estação

de recarga para cada hora de operação em um dia típico, considerando o potencial fotovoltaico estimado.

2.1 Dados de Entrada

Os dados de entrada são: tabelas com as localizações das estações de recarga, dados de irradiância solar (W/m) e a eficiência do sistema fotovoltaico. Adicionalmente, dados georreferenciados como a área dos telhados das edificações próximas às estações de recarga são considerados como dados de entrada.

2.1.1 Localização das estações de recarga

Para levantamento das localizações das estações de recarga se pode utilizar o aplicativo PlugShare que vem sendo usado para levantamento dessas localizações em diversos trabalhos (Yi et al., 2021; Trinko et al., 2021).

2.1.2 Irradiância e Irradiação solar

Dados de irradiância solar estão disponíveis em mapas que contém séries históricas de medições de satélite (Pereira et al., 2017). Outra forma de obtenção desses dados se dá na utilização de softwares de simulação e análise de sistemas fotovoltaicos. Por exemplo, o PVsyst vem sendo amplamente utilizado na literatura, como explicado em Rachchh et al., (2016).

2.1.3 Ângulo de inclinação dos painéis

Um fator que influencia na quantidade de energia solar fotovoltaica produzida é o ângulo de inclinação dos painéis fotovoltaicos. Porém, não é possível que todos os painéis fotovoltaicos instalados nos telhados estejam posicionados de acordo com o ângulo de inclinação que melhor aproveita o recurso solar (Kaddoura et al., 2016). Assim, deve-se considerar a inclusão de um fator de redução chamado K_{tilt} (Mayer, 2022).

2.1.4 Eficiência do Sistema Fotovoltaico

O cálculo do potencial fotovoltaico técnico considera a eficiência de sistemas fotovoltaicos. A saída de potência depende da conversão de eficiência dos painéis fotovoltaicos (n_{painel}), eficiência dos inversores (n_{inv}) e eficiência da própria instalação segundo o fator de redução adotado (n_{inst}). Em geral são utilizados painéis policristalinos devido à sua relação razão custo-benefício. A eficiência dos painéis policristalinos sob teste padrão condições (STC), $n_{painel-STC}$varia de 18% a 20% (Gastelu et al., 2021). A eficiência dos inversores apresenta rendimentos de 95% a 99%, como explicado em Gastelu et al., (2021). A Equação (1) calcula a eficiência total de conversão dos sistemas fotovoltaicos.

$$N = n_{painel} \times n_{inv} \times n_{inst} \qquad (1)$$

O n_{painel} é a eficiência dos painéis fotovoltaicos operando em condições standard. Entretanto, sabe-se que os painéis não operam nessa condição, por isso um fator de redução chamado n_{atm} é proposto por Mavsar et al., (2019), conforme indicado pela Equação 2.

$$n_{painel} = n_{painel-STC} \times n_{atm} \qquad (2)$$

2.1.5 Área útil de telhados

Em geral, áreas urbanas com alta densidade populacional apresentam uma falta de terrenos disponíveis para instalação de fazendas solares, sendo os painéis solares instalados nos telhados a opção mais viável. Diferentes metodologias foram empregadas para obtenção da área disponível, como explicado em Zhang et al., (2021), que utilizou imagens aéreas. Adicionalmente, uma metodologia que utiliza dados estatísticos aliado a fatores de redução foi empregada por Miranda et al., (2015). Entretanto, devido a indisponibilidade de dados sobre a área dos telhados foi calculada a área de superfície do telhado (A_i), a partir das áreas dos respectivos lotes ($S_{lote,i}$), associado a um fator de área construída (K_{const}), esse fator que varia de 0,85 até 0,95 advém das leis municipais de zoneamento conforme explicado por Gastelu et al., (2021) e apresentado pela Equação 3.

$$A_i = S_{lote,i} \times K_{const} \qquad (3)$$

A área útil de telhado para instalação de painéis fotovoltaicos depende do tipo de telhado. O coeficiente para cada tipo de telhado é chamado de K_{telha}. Dois tipos de telhados são considerados, o telhado plano mais presente em comércios com coeficiente igual a 1, e o telhado duas águas, que geralmente têm instalado em só um dos lados painéis solares e possui $K_{telha} = 0{,}5$.

A presença de obstáculos nos telhados, como caixas d'água ou antenas também reduzem a área real disponível, por isso o método inclui um fator denominado $K_{obstáculos} = 0{,}7$. A Equação 4 calcula o espaço realmente disponível para instalação de painéis fotovoltaicos.

$$S_i = A_i \times K_{telha} \times K_{obstáculos} \qquad (4)$$

2.1.6 Delimitação de regiões vizinhas às estações de recarga

Em diversos estudos, regiões próximas a um local são analisadas para avaliar os recursos energéticos disponíveis para atender a demanda do local em estudo (Kodysh et al., 2013). Assim, buffers ou regiões de influência circulares podem ser criados ao redor das estações de carregamento de VE. A construção dos buffers se encontra disponível como uma ferramenta de processamento computacional na maioria de sistemas de informação geográficas (SIG.

2.2 Módulo 1: Estimativa do Sombreamento

Na metodologia proposta, a obtenção do fator de sombreamento ($K_{shading}$) nos telhados urbanos próximos às estações de recarga envolve as seguintes etapas: coleta de

dados de alturas das edificações por meio do Google Earth Engine; utilização da livraria Pybdshadow (Yu e Li, 2022), que é uma extensão Python para calcular o sombreamento solar com base nas características das edificações e na posição do sol; a análise por hora do sombreamento, considerando as variações na posição solar ao longo do dia e do ano; e cálculo do fator de sombreamento para estimar a fração da área do telhado sombreada pelos edifícios vizinhos.

2.3 Módulo 2: Estimativa do Potencial técnico fotovoltaico

A Equação 5 permite estimar o potencial fotovoltaico em kW.

$$P_i(t) = G(t) \times K_{tilt} \times S_i \times N \times \left(1 - K_{shading}(t)\right) \quad (5)$$

Onde $G(t)$ é a máxima irradiância solar no período t em análise e com unidades kWp/m2.

Na Fig 1. é apresentado o fluxograma que representa a metodologia proposta. Tal fluxograma é dividido em dois módulos que seguem os seguintes passos:

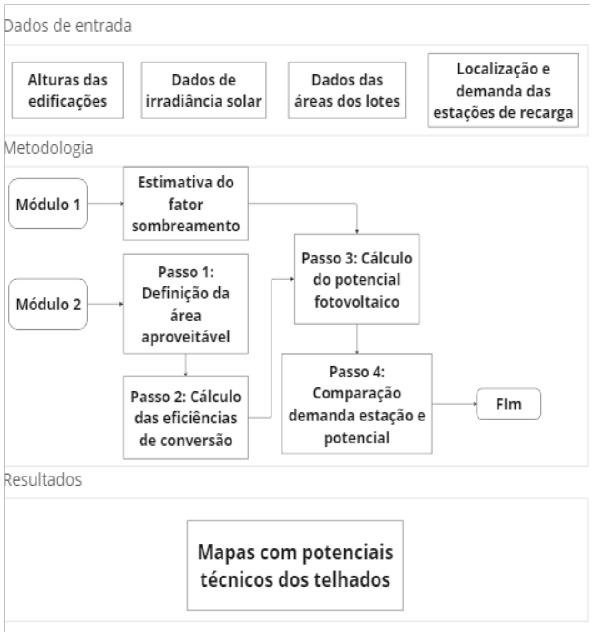

Fig. 1. Fluxograma da metodologia proposta.

No módulo 1 se realiza a estimativa do sombreamento nos telhados da zona de estudo, recebendo como dados de entrada as alturas e posições das edificações em modelos 3D. A saída deste módulo permite calcular a área aproveitável para instalação de sistemas fotovoltaicos. Já, o módulo 2 é composto pelos seguintes passos:

O 2° módulo é composto pelos seguintes passos:

Passo 1: Considerando as áreas dos lotes e fatores de redução apresentadas nas Equações 3 e 4 da Seção 2.1.5, se estima o valor da área aproveitável para instalação dos painéis fotovoltaicos. As localizações das estações de recarga, bem como as áreas de lotes disponíveis no raio de influência dessas estações são os dados de entrada desse passo.

Passo 2: Utilizando as equações 1 e 2 apresentadas na Seção 2.1.4 as eficiências de conversão do sistema fotovoltaico são calculadas.

Passo 3: A Equação 5 fornece o potencial fotovoltaico técnico de cada subárea Si. Nesta etapa se pode utilizar um SIG para organizar a base de dados de saída.

Passo 4: Dados de um gerador solar fotovoltaico que aproveite o valor do potencial técnico é inserido como dado de entrada, assim como, a curva de demanda da estação de recarga. A partir desses dados, a demanda que pode ser atendida ou compensada pelo gerador fotovoltaico é visualizada.

A saída do fluxograma é uma base de dados espacial que permite a criação de mapas para identificar as áreas mais promissoras para a implementação de energia solar fotovoltaica próximas das estações públicas de recarga de VE. Esses mapas são gerados através de técnicas de geoprocessamento, como sobreposição de camadas, modelagem de superfícies e análise de proximidade.

3. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi realizado na cidade de Santo André, SP, localizada na Região Metropolitana da Grande São Paulo, do Estado de São Paulo. Neste estudo foi considerado que no entorno das estações de recarga públicas para VE não se tem sistemas fotovoltaicos instalados, assim como, as estações de recarga públicas não possuem sistemas fotovoltaicos. Assim a demanda das estações de recarga é atendida com a energia elétrica que vem da concessionária de distribuição de energia elétrica. A Tabela 1 apresenta os valores de todos os coeficientes utilizados na estimativa.

Coeficientes	Valor
$n_{painel-STC}$	0,19
n_{inv}	0,97
n_{inst}	0,84
n_{atm}	0,9
K_{telha}	0,5 ou 1
$K_{obstáculos}$	0,7
K_{tilt}	0,94
K_{const}	0,85 ou 0,95

Tabela 1 – Coeficientes adotados

De acordo com o aplicativo PlugShare, a cidade de Santo André possui 11 estações de recarga pública de VE. A Fig. 2 apresenta a localização de Santo André e destaca a região onde se concentram as estações públicas de recarga de VE. Ao construir regiões circulares de atendimento ou buffers com raio de 500 metros, cujo o centro corresponde ao local da estação de recarga, pode-se observar que as 11 estações de recarga pública de VE atendem apenas uma pequena parte da cidade.

Por outro lado, na Fig. 3, se mostra as estações de recarga de

VÊ disponíveis na cidade de Santo André, sendo identificadas por pontos pretos, Adicionalmente, no fundo dessa figura se mostra os telhados de cada bairro. A cidade de Santo André vem constatando um crescimento habitacional verticalizado acentuado, marcado pela construção de diversos condomínios e edifícios residenciais. Essa verticalização gera sombras que podem ter implicações socioambientais e urbanísticas (Greco, 2018).

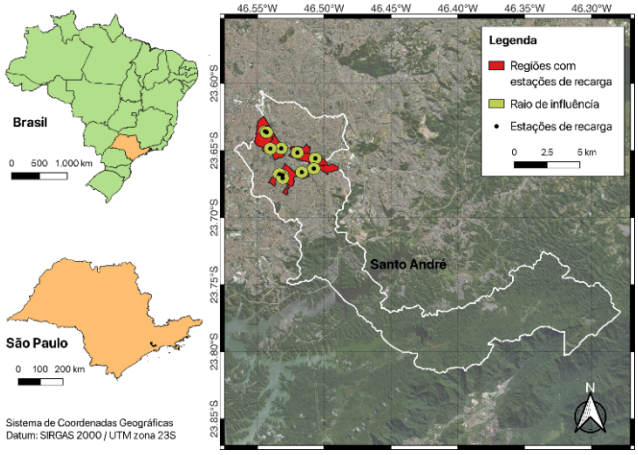

Fig. 2. Localização da área de estudo em Santo André.

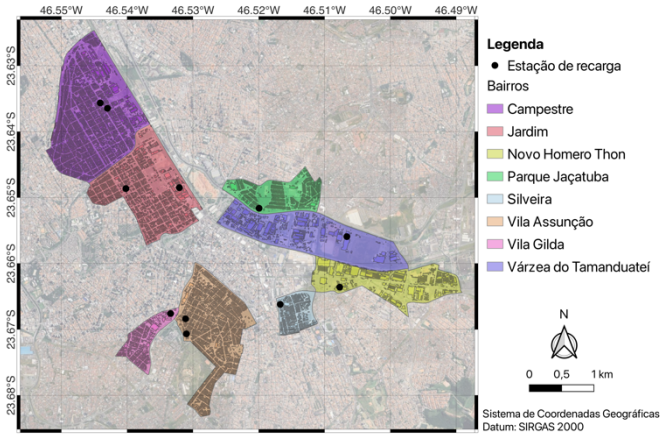

Fig. 3. Localização das estações de recarga públicas de VE.

Para uma melhor visualização da verticalização na zona de estudo, a Fig. 4 mostra um mapa de calor em função da altura dos edifícios no bairro Campestre que contém duas estações de recarga públicas. Nesse mapa as cores com tonalidade mais escura correspondem às regiões com maior concentração de edifícios. Assim, observa-se que entre a latitude 23,637°S e longitude 46,5435°W se encontra a maior concentração de edifícios com altura que supera os 7 metros.

Com o intuito de observar a diminuição do aproveitamento da energia solar fotovoltaica, a metodologia proposta foi aplicada para o mês de dezembro, que é o mês com maior irradiação solar.

Na Fig. 5 é apresentado um mapa que mostra os buffers criados para as duas estações de recarga públicas (A e B) localizadas dentro do bairro Campestre. A estação de recarga A está localizada dentro de um supermercado, com boa quantidade de área disponível para instalação de painéis solares. Por outro lado, a estação de recarga B se encontra em um espaço público, sendo que o buffer criado ajuda a identificar o telhado mais próximo que tenha um alto potencial técnico de energia solar fotovoltaica para atender sua demanda. Dessa forma, no caso da estação de recarga A se realizaria uma solicitação de instalação na mesma unidade consumidora para a concessionária de energia elétrica. Já para a estação de recarga B se teria que realizar um contrato de geração compartilhada.

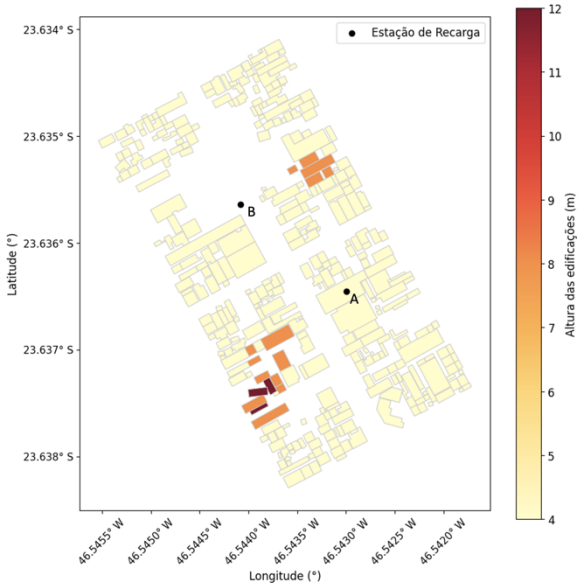

Fig. 4. Mapa de calor das alturas das edificações na região do bairro Campestre.

Com o intuito de observar a variação no cálculo do potencial técnico considerando o sombreamento, a Fig 6 mostra o percentual de variação do potencial técnico em cada telhado, sendo calculado a partir da diferença entre os valores do potencial técnico sem sombra e com sombra e dividindo essa diferença entre o valor do potencial técnico sem sombra. Assim, nessa figura se observa que o potencial técnico na maioria dos telhados têm uma redução que varia de 40% a 50%. Essa forma de visualizar a diferença percentual pode auxiliar na escolha dos telhados que tenham uma menor variação por causa do sombreamento de edificações próximas.

A fim de avaliar a quantidade de demanda que poderia ser atendida pelos sistemas fotovoltaicos para o solstício de verão e inverno em um dia típico de recarga de VE, na Fig 7 se mostram os valores de demanda da estação de recarga A e da potência injetada para cada hora, considerando um gerador fotovoltaico com potência instalada de 12,5 kW que atenderá a demanda da estação de recarga de forma exclusiva. Nessa figura, observa-se que se terá uma compensação de toda a demanda de recarga no período da manhã é compensado com o 75% de seu valor pelo gerador fotovoltaico. A identificação dessas horas pode ajudar a criar tarifas diferenciadas de recarga para que os condutores de VE possam criar hábitos de recarga nesses horários. A mesma análise não foi realizada para a estação de recarga B, pois, seria inviável o investimento com estruturas para os painéis do gerador fotovoltaico naquela região.

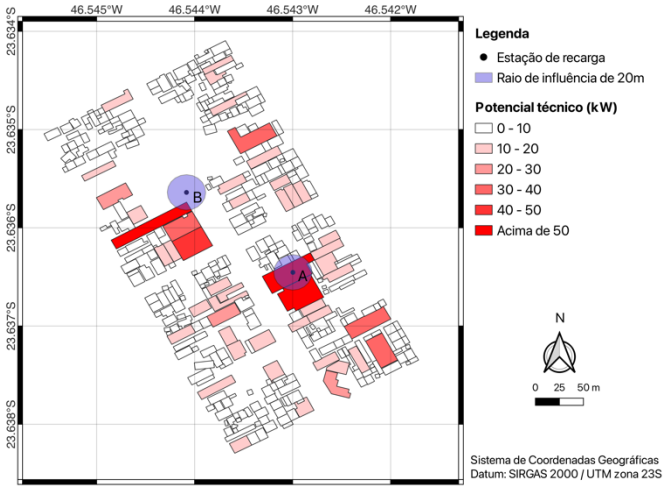

Fig. 5. Potencial técnico de geração fotovoltaica dentro do bairro Campestre, considerando o sombreamento nos telhados.

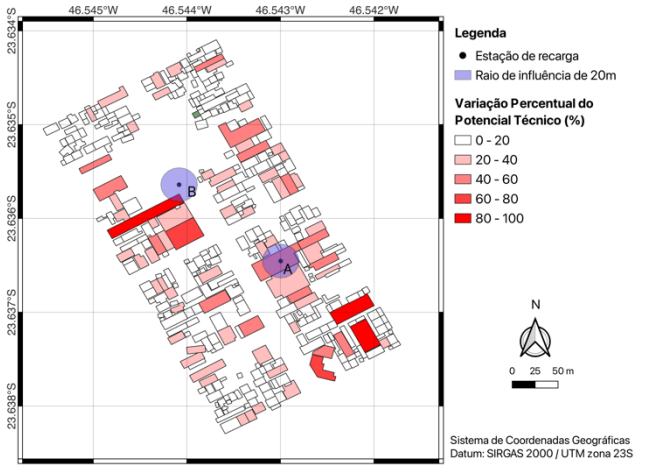

Fig. 6. Variação percentual do Potencial Técnico sob efeito de sombreamento na região das estações de recarga dentro do bairro Campestre

No entanto, como mostrado por Del Pero et al., (2021) dias nublados e chuvosos que acontecem no solstício de inverno podem impactar significativamente na geração solar. Assim na Fig. 8 se mostram os valores de potência injetada pelo gerador fotovoltaico de 12,5 kW. Observa-se que para os dias de inverno se teria uma redução de mais de 50% da capacidade de injeção do gerador fotovoltaico. Uma análise econômica da viabilidade do abastecimento da demanda de recarga com geradores fotovoltaicos se encontra fora do escopo deste trabalho. Tal análise será apresentada em trabalhos futuros pelos autores.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta uma metodologia para estimar o potencial técnico fotovoltaico nas proximidades das estações de recarga de veículos elétricos, levando em consideração os fatores de sombreamento. Ao considerar o impacto das sombras nas edificações próximas, a análise proporciona um impacto do sombreamento no potencial técnico de geração fotovoltaica que pode atender as demandas das estações de recarga.

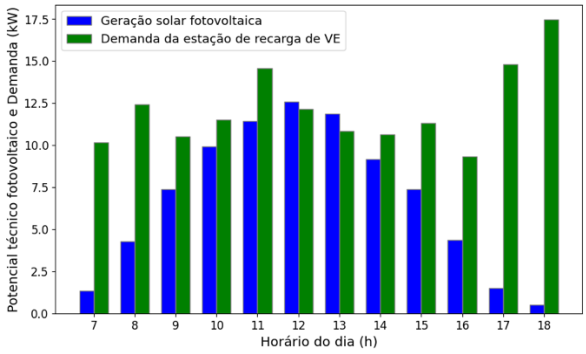

Fig. 7. Demanda da estação de recarga A que pode ser atendida por um gerador fotovoltaico no solstício de verão.

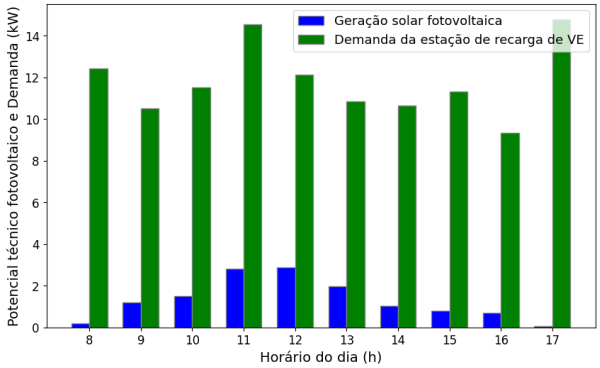

Fig. 8. Demanda da estação de recarga A que pode ser atendida por um gerador fotovoltaico no solstício de inverno.

Os resultados obtidos mostram que as demandas elétricas das estações públicas de recarga de veículos elétricos podem ser compensadas por uma fonte de energia limpa e renovável. Além disso, observou-se que a maior compensação da demanda acontece nos meses de verão, diminuindo os picos de demanda no período da manhã. Os resultados da metodologia proposta podem auxiliar aos proprietários das estações de recarga, permitindo-lhes tomar decisões sobre tarifas diferenciadas em alguns horários de operação e para alguns meses do ano. Ao considerar o sombreamento na diminuição das áreas para instalação de sistemas fotovoltaicos, a metodologia desenvolvida contribui para um planejamento que auxilie na identificação dos locais que podem fazer uma maior compensação da demanda de estações de recarga de veículos elétricos em cidades com crescimento vertical.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal do ABC (UFABC) pelo apoio durante a execução da pesquisa. Adicionalmente, este trabalho contou com os seguintes auxílios financeiros: da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, Processos 88887.709682/2022-00, 88887.692379/2022-00; Projeto Universal nº407244/2023-9.

REFERÊNCIAS

Arvesen, A., Völler, S., Hung, C.R., Krey, V., Korpås, M., Strømman, A.H., 2021. Emissions of electric vehicle charging in future scenarios: The effects of time of charging. Journal of Industrial Ecology 25, 1250–1263.

https://doi.org/10.1111/jiec.13144

Assouline, D., Mohajeri, N., Scartezzini, J.-L., 2018. Large-scale rooftop solar photovoltaic technical potential estimation using Random Forests. Applied Energy 217, 189–211. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.02.118

Berhorst, N., Hino, M., Penteado, M., Galvis, L., Gotardo, D.M., Zanardini, M., dos Santos, R.B., Canha, L.N., Marques, F., 2024. Business model and economic feasibility of electric vehicle fast charging stations with photovoltaic electric generation and battery storage in Brazil, in: Advanced Technologies in Electric Vehicles. Elsevier, pp. 323–343.

Bitencourt, L., Dias, B., Soares, T., Borba, B., Quirós-Tortós, J., Costa, V., 2023. Understanding Business Models for the Adoption of Electric Vehicles and Charging Stations: Challenges and Opportunities in Brazil. IEEE Access 11, 63149–63166. https://doi.org/10.1109/access.2023.3287388

Cheng, Q., Chen, L., Sun, Q., Wang, R., Ma, D., Qin, D., 2020. A smart charging algorithm-based fast charging station with energy storage system-free. CSEE Journal of Power and Energy Systems 7, 850–861. https://doi.org/10.17775/cseejpes.2020.00350

Costa, D. da, Cobas, V.R.M., 2023. Electric Vehicles Charged with Solar-PV: A Brazilian Case Study for 2030. Vehicles 5, 1743–1759. https://doi.org/10.3390/vehicles5040095

Del Pero, C., Aste, N., Leonforte, F., 2021. The effect of rain on photovoltaic systems. Renewable Energy 179, 1803–1814. https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.07.130

Deshmukh, S.S., Pearce, J.M., 2021. Electric vehicle charging potential from retail parking lot solar photovoltaic awnings. Renewable Energy 169, 608–617. https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.01.068

Fakour, H., Imani, M., Lo, S.-L., Yuan, M.-H., Chen, C.-K., Mobasser, S., Muangthai, I., 2023. Evaluation of solar photovoltaic carport canopy with electric vehicle charging potential. Scientific Reports 13. https://doi.org/10.1038/s41598-023-29223-6

Gastelu, J.V., Borges, V.G., Trujillo, J.D.M., 2021. Photovoltaic Potential Spatial Estimation Considering Shading Effects, in: 2021 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference - Latin America (ISGT Latin America). IEEE.

Greco, E., 2018. Questioning the Vertical Urbanization of Post-Industrial Cities: The Cases of Turin and Lyon. Built Environment 43, 555–570. https://doi.org/10.2148/benv.43.4.555

Hassan, M.M., Refat, K.H., Baten, Md.Z., Sajjad, R.N., 2022.Energy saving potential of photovoltaic windows: Impact of shading, geography and climate. Solar Energy 240, 342–353. https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.05.034

IEA, 2023. Trends in charging infrastructure – Global EV Outlook 2023 – Analysis [WWW Document]. IEA. URL https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023/trends-in-charging-infrastructure (Acessado 26.2.24)

Kaddoura, T.O., Ramli, M.A.M., Al-Turki, Y.A., 2016. On the estimation of the optimum tilt angle of PV panel in Saudi Arabia. Renewable and Sustainable Energy Reviews 65, 626–634. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.032

Kodysh, J. B., Omitaomu, O. A., Bhaduri, B. L., & Neish, B. S. (2013). Methodology for estimating solar potential on multiple building rooftops for photovoltaic systems. *Sustainable Cities and Society*, *8*, 31–41. https://doi.org/10.1016/j.scs.2013.01.002

Liang, Y., Guo, C., Yang, J., & Ding, Z. (2019). Optimal planning of charging station based on discrete distribution of charging demand. *IET Generation, Transmission & Distribution*, *14*(6), 965–974. https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2019.0292

Mavsar, P., Sredenšek, K., Štumberger, B., Hadžiselimović, M., Seme, S., 2019. Simplified Method for Analyzing the Availability of Rooftop Photovoltaic Potential. Energies 12, 4233. https://doi.org/10.3390/en12224233

Mayer, M.J., 2022. Impact of the tilt angle, inverter sizing factor and row spacing on the photovoltaic power forecast accuracy. Applied Energy 323, 119598. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119598

Mendis, T., Huang, Z., Xu, S., Zhang, W., 2020. Economic potential analysis of photovoltaic integrated shading strategies on commercial building facades in urban blocks: A case study of Colombo, Sri Lanka. Energy 194, 116908. https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.116908

Miranda, R.F.C., Szklo, A., Schaeffer, R., 2015. Technical-economic potential of PV systems on Brazilian rooftops. Renewable Energy 75, 694–713. https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.10.037

Peerlings, J., Reinders, A., Catita, C., Brito, M.C., 2023. The photovoltaic potential for electric vehicle charging along highways: A Dutch case study. Progress in Photovoltaics: Research and Applications 32, 244–252. https://doi.org/10.1002/pip.3759

Pereira, E., Martins, F., Gonçalves, A., Costa, R., Lima, F., Rüther, R., Abreu, S., Tiepolo, G., Pereira, S., de Souza, J., 2017. LABREN [WWW Documento]. Atlas Brasileiro de Energia Solar. URL https://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html (acessado 4.5.24).

Rachchh, R., Kumar, M., Tripathi, B., 2016. Solar photovoltaic system design optimization by shading analysis to maximize energy generation from limited urban area. Energy Conversion and Management 115, 244–252. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.059

Ruoso, A.C., Ribeiro, J.L.D., 2022. An assessment of barriers and solutions for the deployment of electric vehicles in the Brazilian market. Transport Policy 127, 218–229. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2022.09.004

Trinko, D., Porter, E., Dunckley, J., Bradley, T., Coburn, T., 2021. Combining Ad Hoc Text Mining and Descriptive Analytics to Investigate Public EV Charging Prices in the

United States. Energies 14, 5240. https://doi.org/10.3390/en14175240

Trzmiel, G., Głuchy, D., & Kurz, D. (2020). The impact of shading on the exploitation of photovoltaic installations. *Renewable Energy*, *153*, 480–498. https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.02.010

Yi, Z., Liu, X.C., Wei, R., Chen, X., Dai, J., 2021. Electric vehicle charging demand forecasting using deep learning model. Journal of Intelligent Transportation Systems 26, 690–703. https://doi.org/10.1080/15472450.2021.1966627

Yang, M., Zhang, L., Zhao, Z., Wang, L., 2021. Comprehensive benefits analysis of electric vehicle charging station integrated photovoltaic and energy storage. Journal of Cleaner Production 302, 126967. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126967

Yu, Q., Li, G. Pybdshadow. https://pypi.org/project/pybdshadow; 2022.

Zhang, C., Li, Z., Jiang, H., Luo, Y., Xu, S., 2021. Deep learning method for evaluating photovoltaic potential of urban land-use: A case study of Wuhan, China. Applied Energy 283, 116329. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116329