

## INOVAÇÃO SUSTENTÁVEL: COMPREENSÃO DA VIABILIDADE DO USO DE TRANSPORTE PÚBLICO ABASTECIDO COM AUXÍLIO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NO DESENVOLVIMENTO DE CIDADES INTELIGENTES

### SUSTAINABLE INNOVATION: UNDERSTANDING THE FEASIBILITY OF USING PUBLIC TRANSPORTATION POWERED BY PHOTOVOLTAIC ENERGY IN THE DEVELOPMENT OF SMART CITIES

Alexander Vinicius de Sousa Justiniano\*\*  E-mail: [alex\\_vini\\_ds@hotmail.com](mailto:alex_vini_ds@hotmail.com)  
Jacqueline Aparecida Goncalves Fernandes De Castro\*  E-mail: [designcali@gmail.com](mailto:designcali@gmail.com)  
Tatiene Martins Coelho Trevisanuto\*  E-mail: [tatienecoelho@hotmail.com](mailto:tatienecoelho@hotmail.com)  
Guilherme De Andrade Ussuna\*\*  E-mail: [ussuna@gmail.com](mailto:ussuna@gmail.com)  
João Victor Rojas Luiz\*\*  E-mail: [joao.rojas@unesp.br](mailto:joao.rojas@unesp.br)

\*Faculdades Integradas de Bauru (FIB), Bauru, SP, Brasil.

\*\*Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), São Paulo, SP, Brasil.

**Resumo:** Este artigo investiga a compreensão da viabilidade da adoção de energia solar fotovoltaica no transporte público, destacando seu potencial para promover um sistema de mobilidade urbana mais sustentável e econômico. Por meio desta pesquisa verifica-se que a energia solar oferece uma solução eficaz para reduzir a dependência de combustíveis fósseis para minimizar as emissões de gases de efeito estufa, contribuindo significativamente na mitigação das mudanças climáticas. A revisão bibliográfica mais análise empírica aponta que, com o avanço das tecnologias fotovoltaicas e a redução dos custos de instalação, a energia solar torna-se uma alternativa viável para veículos de transporte público. Embora, existem desafios relacionados ao custo inicial e à infraestrutura necessária. Porém, como as tendências atuais e as políticas de incentivo facilitam a adoção desta tecnologia, objetiva-se neste estudo a sugestão de uma implementação de sistemas fotovoltaicos em transporte público, não apenas no sentido de melhoria da qualidade do ar e redução dos impactos ambientais, mas nas vantagens econômicas substanciais ao reduzir os custos operacionais. Logo, ao integrar a energia solar como uma oportunidade para desenvolver um transporte público mais verde e eficiente, alinhadas às metas de sustentabilidade e melhoria da qualidade de vida nas áreas urbanas, eleva-se ao patamar de cidades inteligentes, “*smart cities*” desde que aliado às políticas de incentivo e subsídios governamentais.

**Palavras-chave:** Energia Solar. Transporte Público. Economia Verde. Desenvolvimento Sustentável. Tecnologias Fotovoltaicas.

**Abstract:** This article investigates the feasibility of adopting photovoltaic solar energy in public transportation, highlighting its potential to promote a more sustainable and economical urban mobility system. This research finds that solar energy offers an effective solution to reduce reliance on fossil fuels and minimize greenhouse gas emissions, significantly contributing to the mitigation of climate change. The literature review and empirical analysis suggest that, with advancements in photovoltaic technologies and the reduction in installation costs, solar energy becomes a viable alternative for public transportation vehicles. However, there are challenges related to initial costs and the necessary infrastructure. Nevertheless, current trends and incentive policies facilitate the adoption of this technology. This study aims to suggest the implementation of photovoltaic systems in public transportation, not only for improving air quality and reducing environmental impacts but also for substantial economic benefits by lowering operational costs. Therefore, by integrating solar energy as an opportunity to develop greener and more efficient public transportation, aligned with sustainability

goals and improving quality of life in urban areas, it elevates the concept to smart cities, provided that it is supported by incentive policies and government subsidies.

**Keywords:** Solar Energy. Public Transportation. Green Economy. Sustainable Development. Photovoltaic Technologies.

## 1 INTRODUÇÃO

A busca por soluções sustentáveis e ambientalmente amigáveis é prioridade crescente no planeta. A transição para fontes de energia renovável é uma das estratégias essenciais para mitigar os impactos das mudanças climáticas e promover um desenvolvimento sustentável. Entre as alternativas de energia renovável, a energia solar destaca-se por sua abundância e potencial aplicação em diversas áreas, incluindo o transporte público. A energia solar é frequentemente destacada por sua origem, advinda do Sol, que fornece uma fonte constante e abundante de energia para a Terra (Pereira, 2019).

A energia solar é uma das fontes renováveis de energia mais promissoras do século XXI, devido a sua capacidade de reduzir a dependência de combustíveis fósseis e minimizar os impactos ambientais. Dessa forma, a utilização da energia solar contribui para a mitigação das mudanças climáticas ao reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Segundo Pereira (2019), a transição para a energia solar pode colaborar para o alcance de metas positivas de sustentabilidade e promover um desenvolvimento econômico que não comprometa os recursos naturais para as futuras gerações.

Além dos benefícios ambientais, a energia solar apresenta vantagens econômicas, já que a instalação de sistema fotovoltaico pode reduzir custos de eletricidade a longo prazo e promover a independência energética. Dessa forma, Silva (2020) relata que o investimento em energia solar tem sido visto como ação viável economicamente, devido à queda nos preços dos equipamentos e aumento da eficiência dos painéis solares, permitindo que tanto residências, quanto empresas possam usufruir de energia limpa e barata, contribuindo para uma economia mais sustentável.

O transporte público tradicional é baseado no uso de combustíveis fósseis, como a gasolina e o diesel, e é um dos maiores contribuintes para a emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) em áreas urbanas. Logo, essas emissões de CO<sub>2</sub> têm

efeito negativo significativo sobre o meio ambiente e a saúde pública. Já a queima de combustíveis fósseis em veículos de transporte público é maior, ou seja, libera grandes quantidades de CO<sub>2</sub> - um dos principais gases de efeito estufa responsáveis pelo aquecimento global e pelas mudanças climáticas (IPCC, 2014).

Verifica-se que as emissões de CO<sub>2</sub> e outros poluentes associados ao transporte público têm sérios efeitos sobre a saúde humana. Assim, os poluentes como óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e partículas finas (PM<sub>2.5</sub>) estão diretamente ligados aos problemas respiratórios, doenças cardiovasculares e outras condições de saúde adversas, conforme (WHO, 2018).

Assim, a exposição prolongada a esses poluentes pode levar a um aumento das taxas de mortalidade e morbidade em populações urbanas. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2018) a redução das emissões de CO<sub>2</sub> do transporte público é crucial para melhorar a qualidade do ar e proteger a saúde pública.

Tendo em vista os benefícios da energia solar e os malefícios das emissões de CO<sub>2</sub> associadas ao transporte público tradicional, este artigo tem como objetivo analisar e compreender a viabilidade do uso de transporte público abastecido com energia fotovoltaica, além de verificar os potenciais benefícios na implementação de sistemas fotovoltaicos em veículos de transporte público, que pode não apenas reduzir significativamente as emissões de gases de efeito estufa, mas melhorar a qualidade do ar e a saúde pública nas áreas urbanas.

De forma a explorar as vantagens ambientais e econômicas da energia solar, este estudo objetiva analisar a transição de energias fósseis para fontes de energia renovável, com intenção de contribuir para a análise e planejamento de um sistema de transporte público mais sustentável e eficiente. Para isso, foi realizada pesquisa bibliográfica e mercadológica atual sobre os temas, a partir de revisão sistemática.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

A crescente preocupação com as emissões de CO<sub>2</sub> provenientes do transporte público amplifica a importância de buscar alternativas sustentáveis. Ferreira (2018), Rodrigues (2019) e Martins (2021) relatam que as emissões de CO<sub>2</sub>

advindas de ônibus, por exemplo, têm impacto direto na qualidade do ar e na saúde das populações urbanas.

Uma alternativa eficiente é a energia solar, pois terá ampla redução de CO<sub>2</sub>. Sabe-se que o Brasil possui um potencial excepcional para a adoção dessa tecnologia, pois tem grande dimensão territorial e alta incidência solar ao longo do ano em praticamente todo o país (Lima, 2019).

A energia solar é amplamente reconhecida como uma solução eficaz para mitigar as mudanças climáticas.

A energia solar é uma das principais alternativas no processo de neutralização de carbono, porque a emissão de gases do efeito estufa é mínima em sua geração. Além de limpa, ela também é inesgotável (visto que tem como fonte o sol) e não gera impacto no ambiente de sua instalação (Solar Vale, 2023, p.1).

Portal Solar (2024, p. 1) afirma que “um carro movido a energia solar tem como principais vantagens a sustentabilidade, por meio da redução de emissões de gases poluentes”. Esses avanços, previstos por Pereira (2019), não só ajudam a diminuir a emissão de gases poluentes, mas contribuem para a construção de cidades mais verdes e eficientes.

De acordo com a ANEEL (2024) o potencial não só reforça a viabilidade da energia solar como uma alternativa sustentável, mas destaca a oportunidade do país em liderar a transição para fontes de energia renováveis.

Em 17 de abril de 2012, entrou em vigor a resolução normativa da Agência Nacional de Energia Elétrica –ANEEL nº 482/2012, a qual estabelece que o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada, e fornecer o excedente da energia produzida a rede elétrica a qual estiver conectado, colaborando com o desempenho da rede, ou seja, trata-se da micro e da minigeração distribuídas de energia elétrica. Com o objetivo de reduzir os custos e tempo para a conexão da microgeração e minigeração, aumentando o público-alvo, e melhorando as informações na fatura (ANEEL, 2012, p.1).

A integração da energia solar em sistemas de transporte público apresenta uma oportunidade significativa para reduzir a pegada de carbono das cidades. Dessa forma, Soares (2023, p. 1) afirma que “a adoção da energia solar no setor de transporte público pode reduzir drasticamente essas emissões e ajudar a mitigar os impactos das mudanças climáticas”, evidenciando o impacto ambiental positivo desta tecnologia.

Em busca de maior mobilidade e sustentabilidade, já que se provou acima a acessibilidade à energia, espera-se que o uso da energia solar fotovoltaica seja a

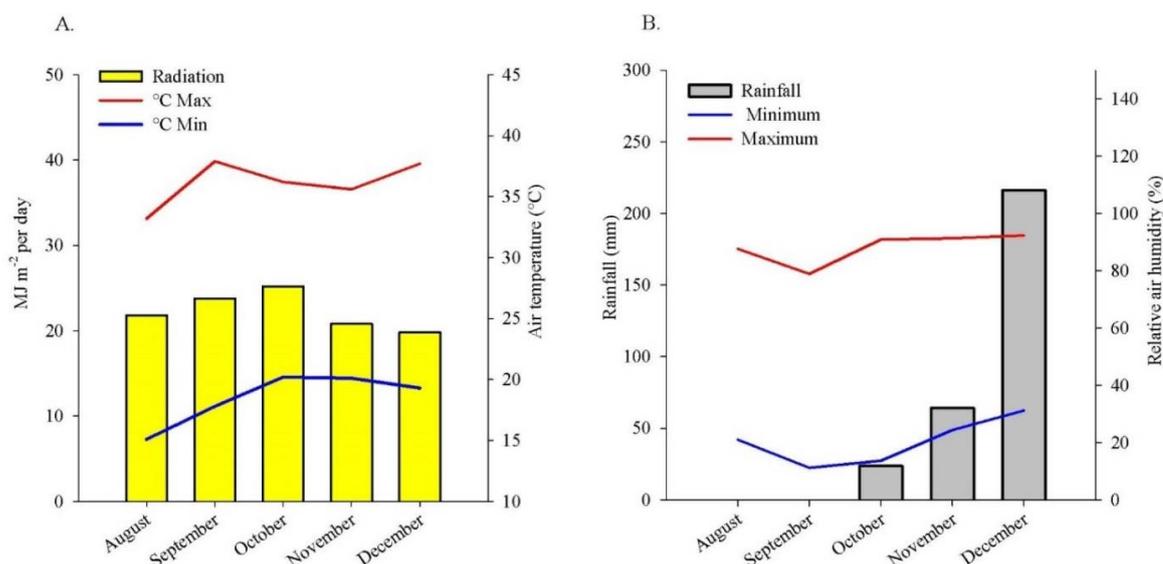
maior, mais econômica e mais relevante fonte de energia no fornecimento global de energia de médio a longo prazo, contribuindo significativamente para a transição energética sustentável (Breyer *et al.*, 2016). A eficiência dos sistemas fotovoltaicos está em constante evolução, o que aumenta sua viabilidade para diversas aplicações, verifica-se na Figura 2.

Por sua vez, Almeida (2022) discute a implementação de energia solar e a redução dos custos de operações e manutenção de sistemas de transporte, verificando redução de custos para as administrações municipais, além de promover um transporte público mais eficiente e econômico. Assim, como afirma Oliveira (2020), o mercado para energias renováveis está em franca expansão, facilitando a integração da energia solar em vários setores, incluindo o transporte público.

Então, Silva (2022) e Garcia (2019) afirmam que há viabilidade econômica e ambiental dos sistemas fotovoltaicos para transporte público, reforçando a importância de considerar a energia solar como solução sustentável para os sistemas de transporte urbano de grandes cidades. Da mesma forma, Souza (2019) contribui sobre a implementação de tecnologias renováveis, com impacto significativo na redução dos efeitos negativos ambientais nas grandes cidades.

Na Figura 1 verifica-se os valores da temperatura, assim como a radiação solar e a umidade relativa do ar, conforme período experimental de Souza *et al.* (2024).

**Figura 1** - Valores médios de temperatura do ar e radiação solar global (A) e umidade relativa do ar e precipitação (B) durante o período experimental



Fonte: Souza *et al.*, 2024.

A energia solar representa uma das melhores opções para alcançar esses objetivos, já que população vem crescendo e a preocupação com a questão ambiental conseqüentemente. Assim, observa-se em Greener (2021, p. 23) o aumento no consumo de energia solar apresentada na Figura 2 a seguir.

**Figura 2** - Números de instalações fotovoltaicas



**Fonte:** Greener (2021) adaptado pelo autor (2024).

Almeida (2022) menciona que a eficiência dos sistemas fotovoltaicos está em constante evolução, tornando-os uma alternativa cada vez mais viável para diversas aplicações. Essa melhoria contínua facilitando a adoção da energia solar em diferentes setores, incluindo o transporte público.

O mesmo autor informa que a evolução das células fotovoltaicas tem sido marcada por melhorias em eficiência, durabilidade e redução de custos. Com relação à eficiência das células fotovoltaicas, verificou-se em seu estudo o aumento da capacidade de conversão de luz solar em energia elétrica, pela aplicação de células de silício monocristalino. Dessa forma, obtiveram-se melhorias em 15% a 22%, e em laboratório as melhorias são de mais de 40% em condições ideais. Ainda, tem-se a opção de célula de silício policristalino, que apresenta mesma relação de energia, porém é mais barata e apresenta durabilidade maior.

Outra opção encontrada por Almeida (2022) é a célula de filme fino composto de telureto de cádmio (CdTe) e cobre-índio-gálio-selênio (CIGS) e a célula fotovoltaica *perovskita* é mais barata e fácil de produzir, pode ser combinada com silício em suas células para aumentar a eficiência além de 30%.

Dessa forma, as novas gerações de células são mais duráveis e sustentáveis, pois foram desenvolvidas com materiais mais robustos e menos tóxicos, reduzindo o impacto ambiental ao final do ciclo de vida. Logo, o custo de produção das células fotovoltaicas diminuiu significativamente, tornando a energia solar uma opção economicamente viável. Tecnologias de produção em massa, aliadas a políticas públicas e incentivos financeiros, desenvolvidas para essa queda de preços. As células solares são um componente essencial da sustentabilidade ecológica, gerando eletricidade sem poluentes e eliminando fontes fósseis.

O *e-Bus* do Centro de Pesquisa e Treinamento em Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina é um exemplo claro disto, pois, destaca-se como um exemplo de inovação no uso de energia limpa para o transporte público. O projeto não só atende a uma parte significativa da demanda energética do veículo, mas também serve como um modelo para futuras implementações em larga escala. Segundo Mattes *et al.* (2018), o *e-Bus* gera mais de 100 MWh de energia elétrica por ano, o que representa 75% da produção fotovoltaica.

Conforme comprovado em estudo:

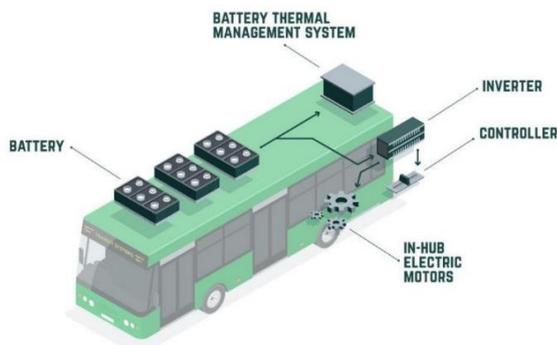
Os painéis fotovoltaicos suprem totalmente o consumo do centro Sapiens e às recargas do ônibus, a produção de energia ainda gera excedente, sendo que este excedente é enviado por meio da rede elétrica das Centrais Elétricas de Santa Catarina (Celesc) para ser consumida no campus central da UFSC na Trindade. Conforme informações da FOTOVOLTAICA - UFSC, estima-se que se gera energia suficiente para tender cerca de 80% do consumo necessário das edificações e recargas do *eBus*, na base anual, com o restante 20% sendo transmitido pela rede da Celesc para o campus da UFSC na Trindade (Olegario, *et al.*, 2019, p.6).

Nas Figuras 3 e 4 apresentam-se o *e-Bus* desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), que é um exemplo inovador no uso de energia fotovoltaica para o transporte público.

A Figura 3 ilustra o sistema de captação e armazenamento de energia solar, demonstrando como os painéis fotovoltaicos instalados no teto do ônibus convertem a energia solar em eletricidade. Essa energia é armazenada em baterias, que são utilizadas para alimentar o motor elétrico do veículo. Esse processo de conversão e armazenamento de energia é fundamental para garantir que o *e-Bus* opere de forma

sustentável, reduzindo significativamente as emissões de carbono e a dependência de combustíveis fósseis.

**Figura 3 - Esquema Representativo do Sistema (e-Bus)**



Fonte: Olegario *et al.* (2019).

Na Figura 4 tem-se uma visão externa do e-Bus, destacando o design aerodinâmico e moderno do veículo. Essa imagem reflete como o projeto da UFSC integra inovação tecnológica com princípios de sustentabilidade, proporcionando um meio de transporte eficiente e ecológico, essencial para o desenvolvimento de cidades inteligentes.

**Figura 4 – Ônibus elétrico UFSC (e-Bus)**



Fonte: Olegario *et al.* (2019).

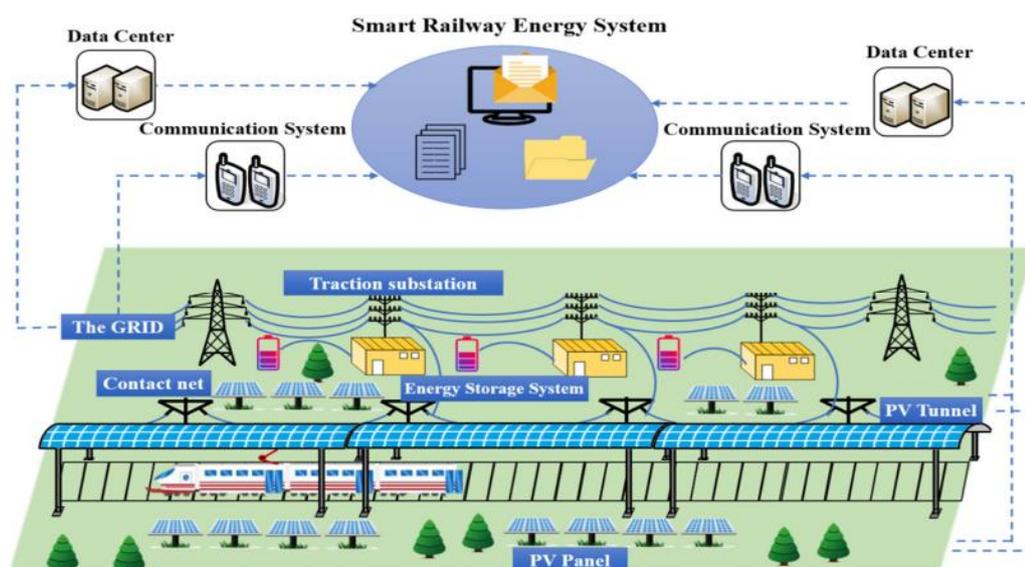
Segundo Almeida (2022) a produção em larga escala e o avanço nas técnicas de fabricação têm diminuído o custo dos painéis solares, o custo por watt instalado caiu para menos de 1 dólar em alguns mercados, facilitando a adoção em larga escala. Assim, as melhorias podem levar a adoção nos Transportes Públicos.

Na cidade de Cuenca, no Equador a energia solar urbana apresenta um potencial impressionante para transformar o transporte público em energia solar. Estudos mostram que, com a implementação de tecnologia solar adequada, é possível cobrir de 97% a 127% da demanda total de transporte urbano de ônibus (Cevallos-Escandón, 2023).

Esse cenário promissor se estende não apenas aos ônibus elétricos, mas aos movidos a hidrogênio, demonstrando a capacidade da energia solar de contribuir significativamente para a sustentabilidade do transporte urbano. Já existem ônibus elétricos com painéis solares no teto, como o Suncar em Xangai, assim como estações de recarga para esses veículos elétricos (Goexplorer, 2024) “O sistema fotovoltaico de 195 kW no telhado está fornecendo energia suficiente para recarregar 6 ônibus ao mesmo tempo, e a geração anual de energia esperada é de até 20 MWh”.

Em Ma *et al.* (2020) é possível encontrar sistemas fotovoltaicos instalados ao longo das linhas de trens e em suas estações para o sistema de alimentação de bondes e trens sendo essa sinergia crucial para uma transição energética eficaz de Xangai, conforme Figura 5.

**Figura 5** - Sistema de Energia Solar ao longo da linha de trem - China



Fonte: Ma *et al.* (2020).

Segundo Grijalva (2019), a substituição das frotas convencionais de ônibus de transporte urbano por ônibus elétricos ao longo de 10 anos (2020 a 2030) pode

Revista Produção Online. Florianópolis, SC, v. 25, n. 2, e-5402, 2025.

minimizar as emissões de CO<sub>2</sub> em até 92,6% em comparação aos níveis de 2018. Esse impacto significativo na redução das emissões de gases de efeito estufa reforça a importância de políticas públicas voltadas para a modernização do transporte público, especialmente em áreas urbanas densamente povoadas, onde a poluição do ar é uma preocupação crescente. Além de melhorar a qualidade do ar e reduzir a pegada de carbono das cidades, essa transição para tecnologias mais limpas no transporte público contribui diretamente para o cumprimento das metas de sustentabilidade urbana e de combate às mudanças climáticas.

Outro país indo em direção ao desenvolvimento sustentável com aquisição de transporte público elétrico que pode posteriormente ser adaptado ao uso de energia solar fotovoltaica é a Suécia que de acordo com Figaszewski (2024, p.1) “Nas últimas semanas, a Solaris fechou contratos para fornecer ônibus elétricos no mercado sueco. A Nobina, uma grande operadora de transporte na Suécia, encomendou um total de 88 ônibus elétricos Solaris para sua frota”.

A Solaris é líder em e-mobilidade na Europa, ocupando a posição número 1 no total de ônibus de emissão zero entregues desde 2012. A eletrificação do transporte na Europa está fazendo progressos significativos, e essa tendência também pode ser observada na Suécia.

A transição para o transporte público elétrico não é exclusiva da Europa; cidades como Nova York também estão explorando os benefícios dessa tecnologia. Assim como na Suécia, onde a aquisição de ônibus elétricos está avançando rapidamente, conforme destacado por Figaszewski (2024), a cidade de Nova York também busca investir nesse modelo sustentável.

Segundo Aber (2016), a implementação de ônibus elétricos na frota nova-iorquina traria vantagens significativas, tanto financeiras quanto ambientais, contribuindo para a redução de emissões de gases de efeito estufa e melhorias na saúde pública. Esse movimento global reflete um compromisso crescente com a sustentabilidade, alinhando diferentes regiões em direção a um futuro mais verde e eficiente.

O estudo aborda aspectos financeiros, ambientais e de saúde pública, avaliando como a transição para veículos elétricos pode contribuir para a redução de emissões de gases de efeito estufa e melhoria da qualidade do ar. Com base nas análises realizadas, o relatório recomenda que Nova York dê os primeiros passos

em direção à aquisição de ônibus elétricos, ressaltando que a justificativa financeira é suficientemente sólida, e os benefícios para a saúde e a redução de gases de efeito estufa são ambos convincentes.

Além da Suécia e Nova York, outra iniciativa de destaque no campo do transporte coletivo sustentável vem dos Estados Unidos, com a empresa Proterra, que desenvolveu um ônibus elétrico capaz de rodar por um dia inteiro com apenas uma carga. Essa inovação posiciona a Proterra como um importante *player* no mercado de veículos elétricos.

Segundo Queiroz (2016) a Proterra ainda resalta que utilizou uma célula de energia do tamanho de um colchão de solteiro, cujo formato não apenas é menor que a encontrada nos veículos da Tesla, como garante uma maior eficiência, tanto no uso, quanto na recarga, o que reforça seu compromisso não apenas com soluções limpas para o transporte coletivo, mas com o avanço tecnológico do segmento de veículos elétricos, conforme Figura 6. A capacidade de otimizar a eficiência energética e o tempo de recarga desses ônibus representa um grande passo para a viabilidade e adoção em massa desse tipo de transporte nas cidades inteligentes.

**Figura 6 - Ônibus elétrico (PROTERRA)**



**Fonte:** Queiroz (2016).

Nesse contexto, Lira (2019) afirma que a energia solar fotovoltaica por geração distribuída no estado do Ceará mostra a relevância no planejamento estratégico do setor energético cearense para os próximos anos, como ampliar medidas que estimulem o desenvolvimento da geração distribuída além do que se tem atualmente.

A integração de fontes de energia renovável, como a solar, com sistemas de transporte público eletrificados, poderia potencializar ainda mais os benefícios ambientais, criando um ciclo virtuoso de redução de emissões e eficiência energética. Dessa forma, o Ceará tem a oportunidade de se destacar como um modelo de sustentabilidade, não apenas ao promover a adoção de tecnologias limpas no transporte, mas também ao investir em uma matriz energética diversificada e sustentável.

Elevando também as cidades em sentidos tecnológicos, desenvolvendo o chamado "*Smart Cities*", que são as cidades inteligentes que buscam avanços por meios tecnológicos e ambientais. Segundo Lim (2019) o desenvolvimento de cidades inteligentes pode aumentar o envolvimento dos cidadãos, proteger o meio ambiente, promover a inovação e aumentar o capital social. Ao integrar tecnologias avançadas na infraestrutura urbana, essas cidades não apenas otimizam a eficiência dos serviços públicos, mas também criam um ambiente propício à participação ativa da comunidade, incentivando práticas sustentáveis e fortalecendo as conexões sociais.

As cidades inteligentes têm se destacado como uma solução inovadora para os desafios urbanos contemporâneos. Ao integrar tecnologias de informação e comunicação em sua infraestrutura, essas cidades não apenas aprimoram a qualidade de vida dos cidadãos, mas também promovem um desenvolvimento urbano sustentável. Ismagilova *et al.* (2019) destacam que, ao melhorar áreas como a economia local, o transporte, a gestão do tráfego e o meio ambiente, as cidades inteligentes se alinham diretamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, visualizados na Figura 7 visam erradicar a pobreza, proteger o planeta e garantir que todas as pessoas desfrutem de paz e prosperidade até 2030. Dessa forma, o avanço das cidades inteligentes não apenas moderniza a vida urbana, mas contribui significativamente para a realização desses objetivos globais.

**Figura 7** – Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável



**Fonte:** Nações Unidas Brasil.

Além de modernizar a infraestrutura urbana, as cidades inteligentes desempenham um papel crucial na promoção de práticas sustentáveis que atendem diretamente aos ODS da ONU. Segundo Ikizer (2022) soluções para cidades inteligentes, como a mitigação das mudanças climáticas, a gestão eficiente de resíduos e a melhoria dos sistemas de transporte, são exemplos claros de como a tecnologia pode ser utilizada para enfrentar desafios globais. Essas iniciativas não apenas reduzem o impacto ambiental, mas também criam cidades mais resilientes e preparadas para o futuro, demonstrando que a inovação tecnológica e o desenvolvimento sustentável podem andar de mãos dadas.

O desenvolvimento de cidades inteligentes não apenas melhora a infraestrutura e a qualidade de vida, mas impulsiona o crescimento econômico local. As tecnologias empregadas nessas cidades são essenciais para promover o desenvolvimento econômico, mas sua implementação depende de diversos fatores, como comprometimento, engajamento da comunidade e a superação de barreiras técnicas e sociais. De acordo com Abutabenjeh (2021), as tecnologias de cidades inteligentes são avançadas para o desenvolvimento econômico local, com comprometimento, engajamento e barreiras na implementação, influenciando a importância dessa questão para autoridades governamentais. Isso ressalta a necessidade de uma abordagem colaborativa entre governos, empresas e cidadãos para garantir que as cidades inteligentes realizem seu pleno potencial econômico e social.

Ao integrar tecnologias sustentáveis, como a energia solar, nas infraestruturas urbanas, as cidades inteligentes não apenas avançam em termos de eficiência energética, mas fortalecem seu compromisso com o desenvolvimento sustentável. Esse enfoque na energia solar destaca a importância de soluções inovadoras para criar ambientes urbanos mais ecológicos e resilientes.

Assim, a adoção de sistemas fotovoltaicos em transporte público não só é ambientalmente benéfica, mas também economicamente vantajosa, ou seja, o gasto com a carga das baterias pode ser bem menor que o tanto gasto por um carro a combustão em postos de combustíveis, mas só com a energia solar eles serão praticamente zerados (Solarvolt Energia, 2024). Esses sistemas podem oferecer um retorno significativo sobre o investimento.

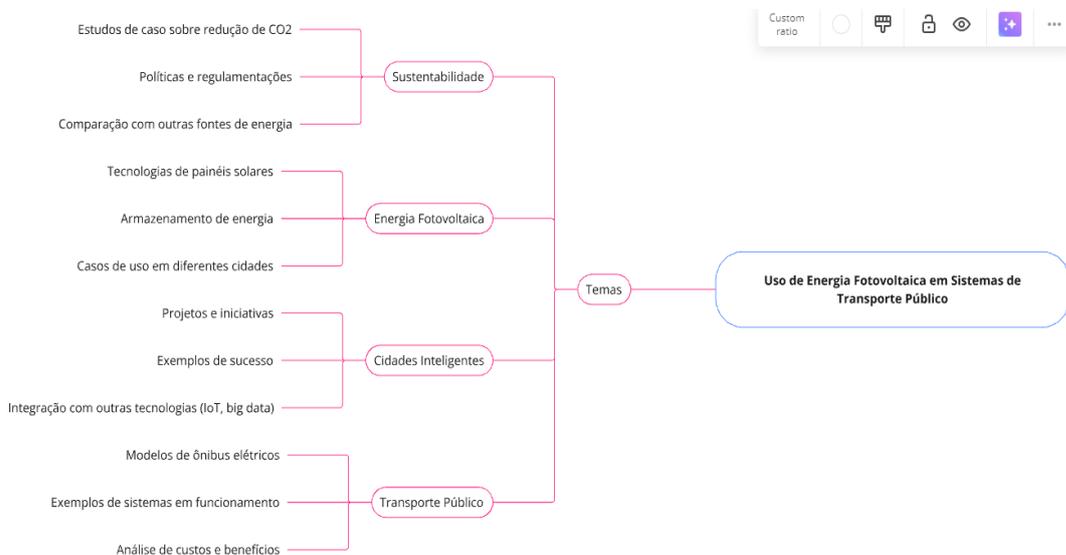
De acordo com os autores supracitados, verifica-se um possível planejamento da viabilidade do transporte público com energia fotovoltaica, por meio de etapas e aspectos críticos do transporte público.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

Este estudo baseou-se principalmente em uma revisão bibliográfica detalhada realizada ao longo da faculdade de Engenharia de Produção.

Buscou-se uma revisão bibliográfica sistemática (RBS) centrada em artigos científicos, dissertações, teses, relatórios técnicos e normas regulamentadoras que abordam o uso de energia fotovoltaica em sistemas de transporte público, por meio do Google Scholar, Scielo e repositórios de Universidades brasileiras. Na sequência, fez-se um mapa mental na plataforma Miro para construir elementos descritores do artigo.

**Figura 8 - Mapa mental (Temas abordados)**



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

**Figura 9 - Mapa mental (Referências abordadas)**



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Revista Produção Online. Florianópolis, SC, v. 25, n. 2, e-5402, 2025.

Após a revisão bibliográfica e a construção do mapa mental, foi realizado um processo de busca refinada utilizando operadores booleanos para otimizar a coleta de informações relevantes. Utilizaram-se operadores como *AND*, *OR* e *NOT* para combinar palavras-chave e frases que são mais pertinentes ao tema do artigo. Os termos selecionados incluíram "energia fotovoltaica", "transporte público", "ônibus elétricos", "cidades inteligentes", e "sustentabilidade". Por exemplo, a busca combinando "energia fotovoltaica" *AND* "transporte público" foi utilizada para identificar estudos que focam especificamente na aplicação de energia solar em sistemas de transporte coletivo. Da mesma forma, a combinação "ônibus elétricos" *OR* "transporte sustentável" ajudou a ampliar o escopo para incluir inovações tecnológicas e práticas relacionadas. Esses operadores booleanos foram cruciais para filtrar e refinar os resultados, assegurando que a revisão abranja as áreas mais relevantes e recentes do conhecimento científico.

O foco principal da pesquisa bibliográfica foi compreender as práticas atuais, desafios e benefícios da implementação de sistemas fotovoltaicos em diferentes cidades e contextos ao redor do mundo.

Além disso, foram incluídos estudos de caso que exploram as interações entre transporte público e energia solar, analisando o impacto ambiental, econômico e social dessas tecnologias. As informações coletadas durante a revisão bibliográfica foram essenciais para estruturar o estudo e para fornecer uma base sólida para a análise de viabilidade do uso de energia fotovoltaica em transporte público.

Os estudos de caso em revisões bibliográficas foram importantes aqui para compreensão do universo de estudo junto fez uma análise empírica por meio da coleta de dados e evidências realizados em observações diretas e experiências práticas.

A abordagem metodológica selecionada, que inclui pesquisa bibliográfica, revisão sistemática, bases de dados bibliográficas especializadas e pesquisa empírica, foi adotada não apenas por sua adequação técnica, mas por sua capacidade de gerar dados robustos e insights profundos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após análise crítica, percebe-se que é possível o desenvolvimento de um protocolo de Avaliação e Planejamento para a implementação de um sistema de transporte público alimentado por células fotovoltaicas de última geração.

Em uma primeira etapa, faz-se um estudo de viabilidade técnica e econômica por meio de uma análise fichada, conforme a cidade de implantação, analisando a incidência solar, demanda energética no local, emissão de CO<sub>2</sub> antes da possível implementação, assim como dados financeiros e econômicos da energia fóssil local pré-existente. De acordo com o autor supracitado Fernandes (2022), a adaptação às condições climáticas locais é essencial para a eficiência do sistema, e esse tipo de análise é crucial para maximizar o aproveitamento energético.

Na segunda etapa do protocolo é de suma importância selecionar uma tecnologia fotovoltaica com o devido dimensionamento, buscando a melhor seleção de tecnologia fotovoltaica disponível para compreender o dimensionamento do sistema de painéis e sua capacidade de armazenamento de acordo com fichamento anterior. A escolha da tecnologia adequada, mencionada por Garcia *et al.* (2021), é essencial para garantir a eficiência e o retorno do investimento.

Na terceira etapa, sobre o aspecto de infraestrutura e instalação do sistema, deve-se detalhar o sistema de instalação, tanto nos transportes como em locais de infraestrutura de recarga, como foi feito no caso das estações de recarga solar verificadas no artigo de Ma *et al.* (2020), na cidade de Xangai. Assim, é relevante verificar a possibilidade da instalação de sistemas híbridos pensando no sistema climático do local de desenvolvimento.

Na quarta etapa, como eficientemente é trabalhada a manutenção dos trens de Xangai, citadas em Ma *et al.* (2020), mostrou-se importante contribuição no quesito de se obter um núcleo de supervisão do sistema de transporte, e manutenção preventiva dos painéis e da manutenção das baterias, pois entende-se que, para ser positivo o empreendimento, esse deve ter análise de retorno do investimento, considerando todos os custos, economias e ganhos.

Depois disso, vem a quinta etapa que é a sustentabilidade e a economia ambiental, nesta, pode-se verificar a redução da emissão de CO<sub>2</sub> no local, cumprindo com as normas ambientais do estudo, a partir de técnicas de *Design*

colaborativo e economia circular, assim como, apoio das políticas verdes locais e análise de ciclo de vida das células nos transportes públicos. Os sistemas fotovoltaicos podem ser economicamente sustentáveis por meio da otimização do *design*, do desenvolvimento de novos materiais, da minimização do uso de materiais inseguro e da reciclagem sempre que possível (Tawalbeh, 2020).

Os avanços na tecnologia fotovoltaica, especificamente sua aplicação em transportes públicos, têm sido amplamente treinados nos últimos anos. Diversos autores analisaram as previsões ambientais tanto quanto os resultados econômicos dessa implementação, mostrando-se bastante promissores. Além disso, a análise de ciclo de vida das células solares é essencial para entender o impacto ambiental da implementação e assegurar que o projeto atenda às normas ambientais, como as da

#### **4.1 ABNT NBR ISO 14001**

Um bom exemplo é o que Pereira (2019) apresenta, mostrando uma redução de 20% nas emissões de CO<sub>2</sub> ao utilizar painéis solares de silício monocristalino. Por outro lado, Grijalva e Martínez (2019) conseguiram uma redução de 92,6% ao aplicar a tecnologia em telhados de ônibus. Esses resultados são reflexos diretos da capacidade das células solares em converter a energia solar em eletricidade limpa, contribuindo não apenas para a diminuição de gases de efeito estufa, mas para uma economia significativa de energia em cidades de grande porte.

Além disso, o estudo de Almeida (2022) explorou as células de silício policristalino, apontando um menor custo inicial e maior durabilidade, o que torna uma tecnologia altamente viável em sistemas fotovoltaicos. Já Mattes *et al.* (2018) e Cevallos-Escandón (2023) focaram em ônibus elétricos e sistemas urbanos de transporte em cidades como Cuenca, no Equador, mostrando que é possível cobrir até 127% da demanda energética de transporte apenas com a energia solar.

O Quadro 1 resume as principais tecnologias fotovoltaicas utilizadas, os impactos ambientais e econômicos observados, e os resultados principais exercícios em cada estudo:

**Quadro 1** - Comparação de Tecnologias Fotovoltaicas Aplicadas no Transporte Público: Impactos Ambientais, Econômicos e Resultados

<b>Autores</b>	<b>Ano</b>	<b>Tecnologia Fotovoltaica Utilizada</b>	<b>Impactos Ambientais/Econômicos</b>	<b>Resultados Principais</b>
Pereira (2019)	2019	Painéis solares de silício monocristalino	Redução de 20% nas emissões de CO <sub>2</sub>	Alta eficiência em conversão de energia solar em transporte público
Grijalva e Martínez (2019)	2019	Painéis solares em telhados de ônibus	Redução de 92,6% nas emissões de CO <sub>2</sub>	Demonstração de viabilidade ambiental e econômica em grandes cidades
Almeida (2022)	2022	Células de silício policristalino	Menor custo inicial, maior durabilidade dos painéis	Viabilidade econômica e sustentabilidade de sistemas fotovoltaicos
Mattes et al. (2018)	2018	Painéis solares para ônibus elétricos	Economia de 80% da energia utilizada	Implementação no e-Bus com alta produção de energia e eficiência
Cevallos-Escandón (2023)	2023	Painéis solares em telhados urbanos	Cobertura de até 127% da demanda energética de transporte	Implementação em Cuenca, Equador, demonstrando autossuficiência energética

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2024).

Como sexta e última etapa do protocolo sugerido, verifica-se o retorno sobre o investimento (ROI) e impacto ambiental, o qual vem a reforçar a aplicabilidade das tecnologias fotovoltaicas não apenas no contexto ambiental, mas também como uma solução econômica para o setor de transporte público em áreas urbanas.

Logo, a avaliação do retorno sobre o investimento deve incluir, tanto os custos iniciais, quanto as economias futuras decorrentes da redução no uso de combustíveis fósseis, manutenção e operação. A mitigação das emissões de CO<sub>2</sub> é uma das métricas principais para determinar o sucesso do projeto, alinhando-se aos ODS 11 e ODS 13.

Em consonância das pesquisas Fonseca e Ferraresi (2023) destaca como a adoção dessas tecnologias em transportes públicos pode contribuir para a sustentabilidade urbana, alinhando-se com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU. A implementação de sistemas de transporte movidos a

energia solar pode reduzir a emissão de CO<sub>2</sub> e promover uma gestão eficiente de recursos energéticos em *smart cities*.

Os resultados desta pesquisa indicam que o uso de transporte público alimentado por energia fotovoltaica pode desempenhar um papel significativo no desenvolvimento de cidades inteligentes. Ao analisar os dados, observou-se que a integração de tecnologias sustentáveis no transporte público não só reduz as emissões de carbono, mas contribui para a eficiência energética e a melhoria da qualidade do ar urbano.

Em consonância com a literatura existente, que aponta que cidades inteligentes se beneficiam de soluções inovadoras e ecológicas para enfrentar desafios urbanos. A implementação de sistemas de transporte alimentados por energia solar pode, portanto, ser uma estratégia eficaz para avançar no desenvolvimento de cidades mais sustentáveis e resilientes.

Além disso, a comparação com outros estudos revela que, embora a adoção de tecnologias sustentáveis ainda enfrente barreiras, como custos iniciais elevados e a necessidade de infraestrutura adequada, os benefícios a longo prazo justificam o investimento. Esses resultados sugerem que políticas públicas voltadas para a promoção de transporte sustentável podem acelerar a transição para cidades inteligentes, proporcionando um ambiente urbano mais limpo e eficiente.

Embora os resultados obtidos com a aplicação de tecnologias fotovoltaicas em transporte público sejam promissores, há desafios que precisam ser considerados. Um dos principais obstáculos não é alto custo inicial de implementação desses sistemas. A instalação de painéis solares, a adaptação dos veículos e a construção de infraestrutura adequada podem exigir investimentos significativos, o que limita a expansão desses projetos em cidades com orçamentos mais restritos. Além disso, o retorno financeiro, embora positivo em longo prazo, pode ser visto com desconfiança por parte dos gestores públicos que buscam resultados rápidos em períodos mais curtos.

Outro ponto importante a ser discutido é a dependência das condições climáticas para o funcionamento eficiente das tecnologias solares. Em regiões onde a incidência de luz solar é limitada ou variável ao longo do ano, como em locais com longos períodos nublados ou de inverno rigoroso, a geração de energia pode ser insuficiente para atender à demanda total dos transportes. Isso levanta a

necessidade de sistemas híbridos, que combinem energia solar com outras fontes renováveis, ou a criação de soluções de armazenamento de energia que garantam a operação contínua dos veículos durante períodos de baixa produção. Conforme destacado por Hayat (2018), o maior desafio enfrentado pela energia solar é sua indisponibilidade durante todo o ano, alto custo de capital e escassez de materiais para células fotovoltaicas.

Então denota-se que além dos desafios climáticos, a manutenção dos sistemas fotovoltaicos é uma questão crítica, pois os painéis solares são bloqueados se não houver limpeza e monitoramento frequente para garantir sua eficiência máxima, especialmente em áreas urbanas, onde a poluição atmosférica pode reduzir sua capacidade de captação de luz solar. A falta de mão de obra planejada para gerenciar e manter esses sistemas pode ser um empecilho adicional, aumentando os custos operacionais ao longo do tempo

## **5 CONCLUSÕES**

A análise da viabilidade do uso de transporte público abastecido com energia fotovoltaica revela um potencial significativo para transformar o setor de mobilidade urbana em um sistema mais sustentável e eficiente. A revisão bibliográfica realizada ao longo deste estudo confirma que a energia solar é uma das fontes mais promissoras para a redução das emissões de gases de efeito estufa e a promoção de um desenvolvimento econômico sustentável. Estudos anteriores destacam a capacidade da energia solar para minimizar a dependência de combustíveis fósseis e reduzir a pegada de carbono das cidades, o que é corroborado pelos avanços tecnológicos e a queda dos custos associados à instalação de sistemas fotovoltaicos.

Além dos benefícios ambientais, a adoção de sistemas fotovoltaicos em veículos de transporte público pode oferecer vantagens econômicas substanciais, reduzindo os custos operacionais e promovendo a independência energética. A análise de diferentes estudos e modelos mostra que, embora existam desafios na implementação, como a necessidade de infraestrutura adequada e o custo inicial dos sistemas, as tendências tecnológicas e as políticas de incentivo estão tornando a energia solar uma alternativa cada vez mais viável.

Para a efetiva adoção de transporte público abastecido por energia solar, é essencial considerar uma abordagem integrada que aborde questões de viabilidade técnica, econômica e regulatória. Estudos de caso e simulações devem ser conduzidos para adaptar as soluções às necessidades específicas de cada região, considerando fatores como incidência solar, padrões de mobilidade urbana e capacidades financeiras locais.

A pesquisa evidencia que a integração de energia solar no transporte público pode ser um elemento crucial no avanço das cidades inteligentes e na consecução dos ODS. A adoção de tecnologias solares para transporte urbano contribui diretamente para o ODS 7 (Energia Limpa e Acessível), ao promover o uso de fontes de energia renováveis, e o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), ao melhorar a eficiência e a sustentabilidade dos sistemas de transporte. A implementação dessas soluções pode reduzir as emissões de gases de efeito estufa, diminuir a poluição do ar e promover um ambiente urbano mais saudável. Além disso, o uso de energia solar no transporte público pode fomentar o ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima) ao apoiar a mitigação das mudanças climáticas. Portanto, investir em tecnologias sustentáveis e integrá-las ao planejamento urbano são passos fundamentais para criar cidades inteligentes que não apenas atendem às demandas atuais, mas também garantem um futuro sustentável e resiliente.

A energia solar fotovoltaica representa uma oportunidade única para avançar na sustentabilidade do transporte público, contribuindo para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> e a melhoria da qualidade do ar nas áreas urbanas. Com o contínuo desenvolvimento tecnológico e o apoio de políticas públicas, a transição para um sistema de transporte mais verde e eficiente está ao alcance, prometendo benefícios significativos tanto para o meio ambiente quanto para a economia.

Por fim, os achados deste estudo podem orientar pesquisas posteriores, como estudos de caso em contextos regionais específicos, onde se avaliará a infraestrutura atual e o potencial para a implementação de sistemas de transporte público com energia fotovoltaica. A região escolhida poderá ser analisada em termos de radiação solar, padrões de mobilidade urbana, e a capacidade financeira e técnica para a adoção de sistemas sustentáveis de energia será analisada pela viabilidade econômica e técnica da implementação do transporte público abastecido

com energia fotovoltaica em diversas regiões do Brasil, abordando também aspectos regulatórios, sociais e ambientais.

Dessa forma, verifica-se que um protocolo de ação para inserção de energia limpa por células fotovoltaicas se bem trabalhado pode abrir caminho para novas pesquisas e aprimoramento dessas tecnologias em grande escala, desde que alinhadas às metas de sustentabilidade e melhoria da qualidade de vida nas áreas urbanas, eleva-se ao patamar de cidades inteligentes, “*smart cities*” aliadas às políticas de incentivo e subsídios governamentais.

## REFERÊNCIAS

ABER, J. ***Electric bus analysis for New York City Transit***. 2016. Disponível em: <https://www.columbia.edu/~ja3041/Electric%20Bus%20Analysis%20for%20NYC%20Transit%20by%20J%20Aber%20Columbia%20University%20-%20May%202016.pdf>. Acesso em: 7 set. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. NELSON JOSÉ HÜBNER MOREIRA. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. [S. l.], 17 abr. 2012. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 7 ago. 2024.

ALMEIDA, J. **Eficiência e aplicações dos sistemas fotovoltaicos**. São Paulo: Editora Energia Limpa, 2022.

ALMEIDA, L. **Eficiência econômica da energia solar em sistemas de transporte**. Brasília: Econômica, 2021.

BAKER, K. S.; MAYERNIK, M. S. Disentangling knowledge production and data production. **Ecosphere**, v. 11, n. 7, p. 1-14, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ecs2.3191>. Acesso em: 12 ago. 2024.

BREYER, C. et al. On the role of solar photovoltaics in global energy transition scenarios. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, v. 25, p. 727-745, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/pip.2885>. Acesso em: 27 ago. 2024.

CEVALLOS-ESCANDÓN, A.; BARRAGAN-ESCANDÓN, E.A.; ZALAMEA-LEÓN, E.; SERRANO-GUERRERO, X.; TERRADOS-CEPEDA, J. Assessing the Feasibility of Hydrogen and Electric Buses for Urban Public Transportation using Rooftop Integrated Photovoltaic Energy in Cuenca Ecuador. **Energies**, 16, 5569, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en16145569>. Acesso em: 01 set. 2024.

CLARKE, J. **O que é uma revisão sistemática?**. Enfermagem Baseada em Evidências, v. 14, p. 64-64, 2011.

COSTA, L. **Tecnologias limpas e sustentabilidade**. Recife: Ambiental, 2021.

FERREIRA, J. **Impactos ambientais e saúde: o caso do transporte público**. Porto Alegre: Verde, 2018.

FONSECA, I., C. M. **Cidades Inteligentes e Direito, Governança Digital e Direitos Desafios Futuros Globais**, Convenção Coletiva, 1ed. Gestlegal: Portugal, 2023.

FIGASZEWSKI, M. **Solaris garante novos contratos para 88 ônibus elétricos na Suécia**. Disponível em: <https://www.solarisbus.com/en/press/solaris-secures-new-contracts-for-88-electric-buses-in-sweden-2177>. Acesso em: 7 set. 2024.

GARCIA, Camila. **Energia Solar e Saúde Urbana**. Porto Alegre: Verde, 2019.

GASPARYAN, A. *et al.* Bases de dados bibliográficas especializadas. **Journal of Korean Medical Science**, v. 31, p. 660-673, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3346/jkms.2016.31.5.660>. Acesso em: 21 ago. 2024.

GRENNER. **Estudo Estratégico: Mercado Fotovoltaico de Geração Distribuída 1º Semestre de 2021**. Disponível em: <https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategico-mercado-fotovoltaico-de-geracao-distribuida-1-semester-de-2021/>. Acesso em: 7 ago. 2024.

GRIJALVA, E.; MARTÍNEZ, J. **Análise da redução de emissões de CO2 em ambientes urbanos pela substituição de ônibus urbanos convencionais por frotas de ônibus elétricos: estudo de caso da Espanha**. Energias, 2019.

HAYAT, M.; ALI, D.; MONYAKE, K.; ALAGHA, L.; AHMED, N. Energia solar — Um olhar sobre geração de energia, desafios e um futuro movido a energia solar. **Jornal Internacional de Pesquisa Energética**, v. 1049-1067, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/er.4252>. Acesso em: 12 ago. 2024.

IPCC. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. **Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, 2014. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>. Acesso em: 21 ago. 2024.

İKİZER, İ. **As soluções de cidades inteligentes contribuem para a realização dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável?: O caso de Istambul**. Premier Reference Source, 2022.

ISMAGILOVA, E.; HUGHES, D.; DWIVEDI, Y.; RAMAN, K. Cidades inteligentes: avanços na pesquisa - uma perspectiva de sistemas de informação. **International Journal of Information Management**, v. 47, p. 88-100, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.01.004>. Acesso em: 23 jul. 2024.

JUÀREZ, F. Algumas considerações sobre a investigação empírica. **International Journal of Psychological Research**, v. 2, n. 2, 2009. Disponível em: <https://revistas.usb.edu.co/index.php/IJPR/article/view/863/613>. Acesso em: 31 ago. 2024.

LAVARDA, R.; BELLUCCI, C. **Estudo de caso como um método adequado para pesquisar estratégia como perspectiva de prática**. O Relatório Qualitativo, 2022.

LIM, Y.; EDELENBOS, J.; GIANOLI, A. Identificando os resultados do desenvolvimento de cidades inteligentes: conclusões a partir de uma revisão sistemática da literatura. **Cities**, v. 95, p.102397, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.102397>. Acesso em: 12 ago. 2024.

LIMA, Eduardo. **Potencial da energia solar no Brasil**. Belo Horizonte: Sol, 2019.

LIRA, M. A. T.; MELO, M. L. S.; RODRIGUES, L. M. *et al.* Contribuição dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica para a Redução de CO<sub>2</sub> no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 3, p. 389–397, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbmet/v34n3/0102-7786-rbmet-34-03-0046.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2020.

JING, M. A.; LIMIN, J. I. A.; NING, F. UW. E. I. The Potential of Photovoltaics to Power the Railway System in China. **Energies**, v. 13, n. 15, p. 3844, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en13153844>. Acesso em: 23 jul. 2024.

MARTINS, Gabriela. **Qualidade do ar e energia solar: uma análise**. Curitiba: Ambiental, 2021.

MATTES, P.; KIRSTEN, A.; OLIVEIRA, V.; ALBUQUERQUE, A. Performance of an electric bus, powered by solar energy. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR - CBENS, **Anais [...]**, 2018. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/137>. Acesso em: 21 ago. 2024.

MAYERNIK, M. S. Dados abertos: responsabilidade e transparência. **Big Data & Society**, v. 4, p. 1-5, 2017.

MORAIS, R. **Energia solar e veículos elétricos**. São Paulo: Inova, 2020.

OCAÑA-FERNÁNDEZ, Y.; FUSTER-GUILLÉN, D. A revisão bibliográfica como metodologia de pesquisa. **Revista Tempos e Espaços em Educação**, v. 14, n. 1, p. 123-145, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.20952/revtee.v14i33.15614>. Acesso em: 21 ago. 2024.

OLEGARIO, G. Z.; VAZ, C. R. Estudo de caso eBus: o primeiro ônibus elétrico 100% movido a energia solar do Brasil. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 9., 2019. Disponível em: [https://aprepro.org.br/conbrepro/2019/anais/arquivos/10162019\\_201020\\_5da7a14066e71.pdf](https://aprepro.org.br/conbrepro/2019/anais/arquivos/10162019_201020_5da7a14066e71.pdf). Acesso em: 27 ago. 2024.

OLIVEIRA, Beatriz. **Avanços tecnológicos em energia solar**. São Paulo: Inova, 2020.

ÔNIBUS ELÉTRICOS. **Mobilidade**. 2019. Disponível em: <https://goexplorer.org/buses-go-truly-zero-emission-with-solar-power/>. Acesso em: 12 ago. 2024.

PEREIRA, Evaldo Marcilio. **Energia solar no Brasil: situação e perspectivas**. São Paulo: Editora Sustentável, 2019.

PORTAL SOLAR. **Carro movido a energia solar: O que é e como funciona?** Portal Solar. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/carro-movido-a-energia-solar-ja-e-realidade>. Acesso em: 12 ago. 2024.

RODRIGUES, Felipe. **Energias renováveis e sustentabilidade**. Recife: Ambiental, 2019.

QUEIROZ, A. **Startup cria ônibus elétrico capaz de trafegar um dia inteiro com única carga na bateria**. TudoCelular.com. Disponível em: <https://www.tudocelular.com/tech/noticias/n78420/proterra-onibus-eletrico-dia-carga-bateria.html>. Acesso em: 7 set. 2024.

QURASHI, A. **Escrevendo a revisão da literatura em uma tese**. In: Handbook of Thesis Writing. 2018. p. 153-165.

SILVA, A. **Sistemas fotovoltaicos e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Verde, 2022.

SILVA, A. C. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica: dimensionamento e instalação**. Rio de Janeiro: Solar, 2020.

SILVA, C. **Energia solar e mudanças climáticas**. São Paulo: Sustentável, 2020.

SOARES, A. **A Energia solar no setor de transporte público**. Maya Energy. Disponível em: <https://mayaenergy.com.br/energia-solar-no-setor-de-transporte-publico/#:~:text=O%20Papel%20da%20Energia%20Solar%20na%20Redu%C3%A7%C3%A3o%20das%20Emiss%C3%B5es%20de%20Carbono&text=A%20ado%C3%A7%C3%A3o%20da%20energia%20solar,os%20impactos%20das%20mudan%C3%A7as%20clim%C3%A1ticas>. Acesso em: 12 ago. 2024.

SOLARVOLT ENERGIA. **Os benefícios da energia solar para quem tem carros elétricos**. Solar Volt Energia. Disponível em: <https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/beneficios-energia-solar-carros-eletricos/#:~:text=A%20energia%20solar%20%C3%A9%20hoje,o%20abastecimento%20de%20carros%20el%C3%A9tricos.&text=Os%20gastos%20com%20a%20carga%20das%20baterias%20pode%20ser%20bem,solar%20eles%20ser%C3%A3o%20praticamente%20zerados>. Acesso em: 12 ago. 2024.

SOLAR VALE. **Como o agro pode diminuir a pegada de carbono através de sistemas fotovoltaicos**. Solar Vale - Energia da Transformação. Disponível em: <https://solarvale.com.br/como-o-agro-pode-diminuir-a-pegada-de-carbono-atraves->

[de-sistemas-fotovoltaicos/#:~:text=A%20energia%20solar%20%C3%A9%20uma,no%20ambiente%20de%20sua%20instala%C3%A7%C3%A3o](#). Acesso em: 12 ago. 2024.

SOUZA, J. P. **Tecnologias renováveis para transporte público**. Belo Horizonte: Eco, 2019.

SOUZA, R. R. ; SILVA NETO, J. M.; SILVA, R. R.; SOUZA, G. C. S.; FIGUEIREDO, H. F.; PAIVA NETO, V. B.; BORGES, M. C. R. Z.; BECKMANN-CAVALCANTE, M. Z. Impact of solar irradiance on gas exchange and growth of heliconia grown in a semi-arid region. **Journal of Environmental Science**, v. 18, n. 3, p. 123-135, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n10p757-763>. Acesso em: 01 set. 2024.

TAWALBEH, M.; AL-OTHMAN, A.; KAFIAH, F.; ABDELSALAM, E.; ALMOMANI, F.; ALKASRAWI, M. Impactos ambientais dos sistemas fotovoltaicos solares: uma revisão crítica do progresso recente e perspectivas futuras. **The Science of the Total Environment**, n. 143528, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143528>. Acesso em: 01 set. 2024.

WILSON, L. **Enciclopédia de Educação Científica**. [S.l.]: Springer, 2019.

WHO. **Ambient Air Pollution: Health Impacts**. 2018. Disponível em: <https://www.who.int/airpollution/ambient/health-impacts/en/>. Acesso em: 7 ago. 2024.

## **Biografia do(s) Autore(s)**

### **Alexander Vinicius de Sousa Justiniano**

Professor auxiliar no curso de Sistema de Informação e bolsista do Programa de Atividade e Aperfeiçoamento em Docência no Ensino Superior (PAADES) na Universidade Estadual Paulista (UNESP), graduado em Engenharia de Produção pelas Faculdades Integradas de Bauru (FIB) e Mestrando na mesma área pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), pesquisador na área de Indústria 5.0, Gestão de Projetos, Sustentabilidade, Metodologias Ágeis, Transportes Sustentáveis e Políticas Públicas. Experiência em Empreendedorismo e Inovação.

### **Jacqueline Aparecida Goncalves Fernandes De Castro**

Docente em Design, Engenharia Civil e Engenharia de Produção das Faculdades Integradas de Bauru (FIB), Mestre em Planejamento de Produto, UNESP, Doutora em Arquitetura e Construção, UNICAMP. Experiência em Desenvolvimento de Produtos.

### **Tatiene Martins Coelho Trevisanuto**

Docente dos cursos de Administração e Engenharia de Produção das Faculdades Integradas de Bauru (FIB), graduação em Administração e Engenharia de Produção e doutorado em Ciência da Informação pela UNESP. Experiência em áreas como empreendedorismo, inovação, logística e Lean Manufacturing.

**Guilherme De Andrade Ussuna**

Docente atrelado ao departamento de Ciências Sociais aplicadas e Engenharias da UNISAGRADO, Bacharel em em Administração, Mestre em Agronegócio e Desenvolvimento, Doutorando em Agronegócio e Desenvolvimento pela UNESP. Experiência em áreas correlatas a Empreendedorismo, Inovação Aberta e Metodologias Ágeis.

**João Victor Rojas Luiz**

Professor Assistente no Departamento de Engenharia de Produção da Faculdade de Engenharia de Bauru, na Universidade Estadual Paulista (UNESP), possuindo Graduação em Engenharia de Produção, Mestrado e Doutorado na mesma área. Com experiência em Gestão e Sistemas de Operações, atua em temas como Teoria das Restrições, Planejamento e Controle da Produção, Gestão de Projetos, Economia Circular, Gestão Comportamental das Operações e Indústria 4.0. Possui publicações em periódicos acadêmicos de destaque, incluindo Journal of Cleaner Production, Journal of Business & Industrial Marketing e Energy Research & Social Science.



Artigo recebido em: 11/09/2024 e aceito para publicação em: 08/12/2024

DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v25i2.5402>