

ELETROMOBILIDADE NO TRANSPORTE COLETIVO POR ÔNIBUS E ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

ELECTROMOBILITY IN COLLECTIVE TRANSPORT BY BUS AND SOLAR PHOTOVOLTAIC ENERGY

André Luís Silva de Oliveira¹
 André Luiz da Motta Bezerra²
 Gildo Balliana Junior³

RESUMO

Este artigo realizará um estudo sobre a utilização de ônibus elétricos, como opção de implantação no Município de Curitiba, com a utilização de energia solar fotovoltaica, com o intuito de poluir menos e otimizar os custos para a administração municipal e por consequência aos usuários do transporte público. A energia solar fotovoltaica se caracteriza por produzir energia renovável e limpa que utiliza a radiação solar para gerar eletricidade. O investimento da Prefeitura Municipal de Curitiba neste formato de mobilidade urbana poderá trazer um transporte coletivo mais eficiente, sem emissões, e que percorra trajetos em menos tempo e com uma tarifa justa para o cidadão. A implantação deste novo modelo sustentável é um desafio para Curitiba que sempre foi considerada referência nacional e internacional no transporte público.

Palavras-chave: transporte; energia fotovoltaica; sustentável

ABSTRACT

This article will carry out a study on the use of electric buses, as an implementation option in the Municipality of Curitiba, with the use of photovoltaic solar energy, with the aim of polluting less and optimizing costs for the municipal administration and consequently for transport users. public. Photovoltaic solar energy is characterized by producing renewable and clean energy that uses solar radiation to generate electricity. Curitiba City Hall's investment in this format of urban mobility could bring more efficient, emissions-free public transport that covers routes in less time and at a fair fare for citizens. The implementation of this new sustainable model is a challenge for Curitiba, which has always been considered a national and international reference in public transport.

Keywords: transport; photovoltaics power; sustainable

¹ Pós-Graduando no Curso de Administração Pública. Graduado em Administração. Servidor da URBS – Urbanização de Curitiba S.A.

² Pós-Graduando no Curso de Administração Pública. Graduado em Administração e Direito. Servidor da Secretaria Municipal de Segurança Alimentar e Nutricional de Curitiba/PR.

³ Professor do Instituto Municipal de Administração Pública – IMAP. Graduado em Direito e Gestão Ambiental. MBA em Gestão Empresarial. Mestre e Doutor em Gestão Ambiental.

1 INTRODUÇÃO

Existe atualmente no ambiente das grandes cidades brasileiras a preocupação crescente com a mobilidade urbana e um dos maiores desafios é a utilização de um transporte coletivo menos poluente e mais sustentável.

O Guia de Eletromobilidade (2020) da Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica, define:

Renovar e modernizar as frotas de ônibus com tecnologias mais limpas é uma grande oportunidade para as cidades reduzirem as emissões de poluentes locais. Substituir ônibus a combustão por elétricos tem o potencial de melhorar substancialmente a qualidade do ar e a saúde pública, uma vez que veículos que queimam diesel emitem inúmeras substâncias – com destaque para os óxidos de nitrogênio (NOx) e o material particulado (MP) – que causam problemas de saúde e, por consequência, reduzem a qualidade e a expectativa de vida da população. Outro benefício da adoção de ônibus elétricos é a redução de ruído, pois veículos com essa tecnologia são mais silenciosos que veículos a combustão interna (Brasil, 2020).

A utilização de ônibus elétricos é uma das opções de implantação no Município de Curitiba e que vem sendo desenvolvida com o intuito de poluir menos e diminuir custos para a administração municipal e por consequência ao usuário do transporte público.

Os modelos de negócio da chamada eletromobilidade envolvem as características de veículo, captação de energia, operação, manutenção e infraestrutura que devem ser analisados de forma sistemática e técnica, para que o modelo mais adequado seja implantado.

O Município de Curitiba tem um grande desafio nesse novo projeto, pela liderança nacional que conquistou durante os anos e o aprimoramento do seu transporte coletivo, tornando-o exemplo de eficiência nacional e internacional.

A metodologia de pesquisa adotada para este trabalho é a de revisão de literaturas e de entrevistas, para que se possa extrair as informações pertinentes ao tema, concomitantemente à coleta de dados de interesse para a formação do conhecimento e da compreensão sobre o tema, embasado em publicações técnicas e científicas referentes à eletromobilidade e energia solar fotovoltaica e relatos de gestores de empresas e de órgãos da administração pública com conhecimentos técnicos sobre o tema.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 ÔNIBUS ELÉTRICOS EM CURITIBA

Em 2018, iniciou-se uma etapa importante do Programa de Mobilidade Sustentável de Curitiba, a fase de testes com ônibus elétricos que servirá de base para o plano de eletromobilidade do município, iniciando o processo de migração para a matriz elétrica, não poluente, do transporte coletivo urbano.

Os resultados dos testes servirão de base para a elaboração do edital de compra dos primeiros ônibus elétricos que farão parte da frota municipal de ônibus. Os ônibus elétricos vão trafegar inicialmente nas linhas Inter II, Interbairros 2 e Eixo Leste Oeste, que transportam cerca de 370 mil pessoas por dia.

Segundo do Guia de Eletromobilidade (2020):

Para uma adoção em larga escala, recomenda-se a inserção gradual dos ônibus elétricos, de forma a permitir uma avaliação dos diferentes aspectos da tecnologia, bem como para garantir continuidade da operação por meio dos ônibus com a tecnologia já utilizada. Uma frota composta por diferentes tecnologias permite avaliar cautelosamente questões como as limitações de autonomia em rotas mais longas, permitindo alocar os ônibus elétricos nas linhas que apresentam melhor rendimento e, consequentemente, otimizando os custos operacionais (Brasil, 2020).

No médio prazo, até 2030, estima-se que 33% da frota de ônibus de Curitiba deverá operar com emissão zero; alcançando finalmente 100% até 2050, como parte do Plano de Ação Climática, alinhado às ações globais de sustentabilidade.

Segundo o prefeito Rafael Greca (PMC, 2023), o futuro do transporte coletivo é elétrico. Vamos iniciar os testes e criar nosso programa de aquisições de ônibus elétricos para as linhas Inter II, o Interbairros II e o eixo Leste-Oeste.

A BYD, empresa chinesa montadora de ônibus 100% elétricos, presente no Brasil desde 2015, em Campinas (SP), participante dos testes técnicos com veículos elétricos realizados no Município de Curitiba, afirma que cada ônibus elétrico BYD evita, em média, a emissão de 118,7 toneladas de CO₂ ao ano na atmosfera, o equivalente ao plantio de 847 árvores por veículo (considerando 72 mil km rodados/ano), além de reduzir em até seis vezes a despesa mensal com abastecimento, em comparação com um ônibus a diesel.

A Eletra, de capital 100% nacional, que tem fábrica em São Bernardo do Campo (SP), com capacidade para produzir 1,8 mil elétricos por ano, afirma que é possível aumentar em 50% essa capacidade para atender a demanda do mercado, e ressalta que os veículos elétricos da marca contam com mais de 90% de peças nacionais e estão adaptados às condições de tráfego do mercado brasileiro.

Em 2023, o prefeito Rafael Greca (PMC, 2023) anunciou a compra de 70 ônibus elétricos para a Rede Integrada de Transporte de Curitiba (RIT), durante sua participação no Workshop Modelos de Negócio para Eletromobilidade, no Complexo IMAP no Parque Barigui, e afirmou que os ônibus elétricos elevarão o transporte público de patamar e a vocação de Curitiba como uma cidade humana e sustentável será fortalecida.

Do total de veículos a serem adquiridos, 28 serão articulados, para atender a linha Interbairros II, e 42 modelos Padron, a serem distribuídos pela Rede Integrada. Os fabricantes devem ser definidos com base nos testes em curso na cidade, que envolvem as empresas Volvo, Mercedes, Eletra, Marcopolo, BYD e Higer.

A Prefeitura Municipal de Curitiba informou que irá investir R\$ 200 milhões, com recursos próprios, na aquisição desse primeiro lote de veículos elétricos para operar no transporte público, como um marco do processo de implantação da eletromobilidade em larga escala na cidade, dentro do Programa de Mobilidade Sustentável de Curitiba, com o objetivo de melhorar a qualidade de vida do morador da cidade, com um transporte coletivo eficiente, sem emissões, que percorra os trajetos em menos tempo e com uma tarifa justa. A previsão é que os ônibus elétricos entrem em operação na rede de transporte em 2024.

O Município avalia três diferentes modelos de negócio de eletromobilidade: um de contratação única para veículos, energia, operação e manutenção; um segundo, de dois componentes, com um contrato para veículos e energia e outro para a manutenção e operação; e um terceiro, com três componentes, sendo separados os contratos de fornecimento de veículos, de infraestrutura de energia e de operação e manutenção.

Segundo o presidente da URBS, Ogeny Pedro Maia Neto (2023), além da sustentabilidade e da redução do impacto ambiental, o ônibus elétrico traz vantagens econômicas, com reflexo na tarifa no médio prazo: “O custo de aquisição é maior, mas se dilui ao longo do tempo e o custo de manutenção é menor. Nossos estudos mostram que dentro de cinco anos os custos já serão mais vantajosos que os do diesel.”

É muito importante o anúncio das metas de transição energética pela Prefeitura de Curitiba, cidade que é considerada referência no transporte público. Outras capitais e cidades médias espalhadas pelo país devem cada vez mais começar a divulgar seus planos de descarbonização e eletrificação do transporte público, um setor que deve ser um dos propulsores da mobilidade elétrica.

Sem emissão de CO₂ e ruídos, o ônibus elétrico é considerado o futuro da mobilidade nas grandes cidades e é uma das principais agendas do município para os próximos anos, dentro do compromisso de reduzir a emissão de poluentes.

2.2 ÔNIBUS ELÉTRICO

O Atlas da Eficiência Energética (EPE, 2020), afirma que o setor de transportes se tornou recentemente o componente mais importante do consumo de energia do país. Dentro deste setor, o consumo rodoviário é o mais relevante, respondendo por 81,6% do consumo de óleo diesel.

Assim, o setor de transportes é uma das principais fontes de emissão dos gases do efeito estufa e os ônibus convencionais do transporte coletivo são responsáveis por percentual expressivo da emissão total de poluentes nas cidades brasileiras.

Os combustíveis fósseis utilizados na propulsão dos veículos, além de contribuir para a poluição atmosférica, são uma fonte de energia não renovável, o que faz com que se potencialize a busca por tecnologias que privilegiem as fontes renováveis de energia, mais eficientes e menos poluentes.

Segundo o Guia de Eletromobilidade (2020):

A eletromobilidade no transporte coletivo por ônibus tem se mostrado uma solução viável para as cidades, tanto para melhorar a qualidade do ar local quanto para contribuir com o esforço global de combate às mudanças climáticas. Além disso, a implementação de ônibus elétricos pode proporcionar uma oportunidade de repensar a mobilidade da cidade como um todo, qualificando e integrando o sistema de transporte e, assim, melhorando a vida da população (Brasil, 2020).

Os ônibus elétricos são uma excelente opção em face das motorizações convencionais no transporte coletivo por apresentar maior eficiência e menor ruído que os motores a combustão interna, fornecendo torque mais elevado em velocidades baixas, resultando em melhor aceleração na saída do repouso. Considerando, ainda, que a eficiência energética é aumentada em função do sistema de freio regenerativo, que faz com que o motor funcione como gerador nas desacelerações, de modo que as baterias possam ser parcialmente recarregadas durante as frenagens.

Considerando a evolução tecnológica dos últimos anos, os ônibus 100% elétricos se tornaram uma modalidade tecnicamente viável, uma das mais indicadas quando se refere ao transporte coletivo, dada a sua versatilidade e adaptabilidade às vias existentes. No entanto, a sua utilização ainda é restrita, devido ao custo de aquisição do veículo e de suas baterias e o suprimento de energia para sua utilização em grande escala.

A substituição de veículos movidos a combustíveis fósseis por ônibus zero emissões resulta em um ar mais limpo e menor emissão de gases de efeito estufa, especialmente se os ônibus forem abastecidos com eletricidade proveniente de fontes de energia sustentáveis, como a energia solar fotovoltaica, o que contribui para a diversificação da matriz elétrica nacional.

A introdução de veículos elétricos na frota de ônibus de uma cidade proporciona diversos benefícios ambientais para a comunidade por ser uma tecnologia mais limpa. Dentre as vantagens ambientais se tem a redução dos níveis de emissões de poluentes locais, contribuindo para uma melhor qualidade do ar e da saúde pública. Também são emitidos menos ruídos pela ausência de motores a combustão interna. Em centros urbanos mais densamente ocupados estes benefícios são ainda mais significativos (EPE, 2020a). Além disso, a troca do diesel pela eletricidade traz grandes benefícios climáticos, uma vez que a matriz elétrica brasileira é composta em sua maioria por fontes renováveis.

Ônibus elétricos também podem gerar diversos benefícios financeiros, como custos reduzidos com manutenção e abastecimento. Além disso, estima-se que a vida útil para veículos elétricos em comparação a veículos a diesel seja superior, justificada por questões técnicas como maior durabilidade e menor presença de partes móveis (EPE, 2020a). Assim, a amortização do investimento nestes veículos é ampliada.

O investimento inicial necessário para implementar sistemas de ônibus elétricos em cidades é frequentemente citado como um obstáculo para uma transição rápida na mobilidade urbana. Embora os ônibus elétricos possam ser mais econômicos ao longo de sua vida, os custos de aquisição e de infraestrutura ainda são superiores aos dos ônibus a diesel.

Alguns pontos que podem auxiliar a superar esses obstáculos são avaliar a mudança nas regras para a concessão do serviço de transporte público urbano coletivo; análises de projeto que contemplam não apenas os custos iniciais, mas os custos operacionais ao longo da vida útil dos veículos; novas opções de fontes de financiamento para tecnologias alternativas; e parcerias entre operadoras de ônibus e empresas de geração e distribuição de energia (EPE, 2020a).

2.3 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Um dos pontos relevantes do processo de eletrificação do setor de transporte coletivo por ônibus no Brasil, que potencializa a vantagem da transição energética, é a matriz elétrica nacional que é composta em 83% por fontes de energia renováveis. (Brasil, 2020)

Ainda conforme Nascimento (2017), as fontes renováveis, embora inicialmente mais caras, tornam-se mais competitivas na medida em que se expandem, sendo a competitividade resultante da redução dos custos devido ao ganho de escala e dos avanços tecnológicos.

O Brasil possui expressivo potencial para geração de energia elétrica a partir da fonte solar, contando com níveis de irradiação solar superiores aos de países onde projetos para aproveitamento de energia solar são amplamente disseminados, como Alemanha, França e Espanha. Com fatores climáticos e incidência de radiação solar favoráveis, qualquer local do país pode aproveitar os benefícios desta tecnologia.

O conhecimento sobre o potencial solar é essencial, pois a variabilidade da energia solar tem impactos em aspectos técnicos e de qualidade. Além do potencial disponível, informações confiáveis sobre a variabilidade da energia solar são importantes para dar suporte ao desenvolvimento de projetos para melhor aproveitamento dessa fonte de energia.

O Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017) disponibiliza uma base de dados pública com informações cientificamente embasadas sobre o potencial e a variabilidade da energia solar no território brasileiro, dando suporte ao setor de energia, contribuindo com a geração de energia solar no país e para o avanço científico e tecnológico do setor.

Segundo a publicação:

Grandes empresas de energia, integradoras e instaladoras de sistemas solares fotovoltaicos começam também a oferecer mecanismos de financiamento, através dos quais um cliente pode pedir a instalação de um telhado solar em sua residência e pagar o custo desta instalação com a economia de energia que o gerador solar proporciona. Com os custos crescentes das tarifas residenciais e os preços em queda dos telhados solares, esta opção fica cada vez mais interessante para o consumidor. Pesquisas em desenvolvimento na Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (www.fotovoltaica.ufsc.br) identificaram situações em que módulos solares fotovoltaicos utilizados como material de revestimento de prédios de escritório podem justificar-se economicamente pelo custo evitado na substituição de materiais de revestimento de fachadas como vidro, granito ou ACM (aluminum composite material). Com a redução de custos que a tecnologia fotovoltaica vem experimentando, mais e mais aplicações de integração na edificação passam a ser economicamente viáveis, até mesmo em casos onde a exposição solar não é a ideal, seja pela orientação (fora do norte verdadeiro) ou inclinação (fora da latitude e até em fachadas verticais), ou por obstáculos que projetam sombras sobre o gerador solar (Brasil, 2017).

A própria Agência Nacional de Energia Elétrica-ANEEL (2020), na mesma linha, já em atenção ao avanço tecnológico do setor elétrico e buscando economia, instalou no fim de 2018 usina fotovoltaica e os primeiros resultados demonstraram uma economia de R\$ 334 mil reais, sendo que os painéis solares cobrem mensalmente 24% do consumo de energia elétrica da agência.

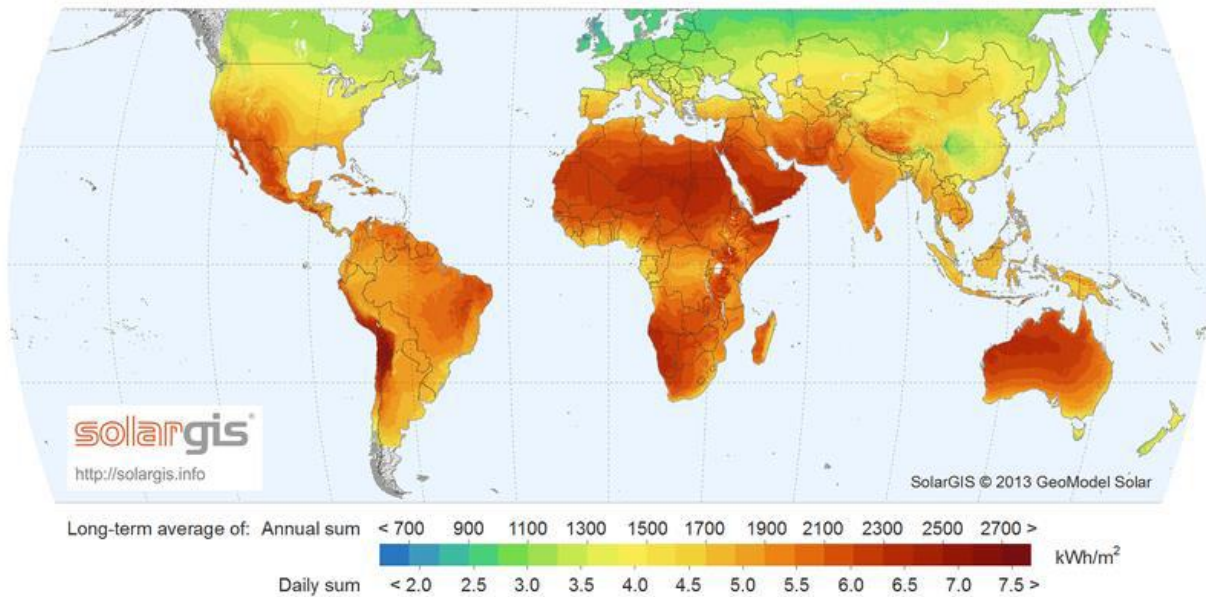
A Alemanha está entre os quatro países que mais utilizam sistemas fotovoltaicos como forma de geração de energia elétrica no mundo, juntamente com a Espanha, Estados Unidos e Japão. Em 2007 esses países possuíam cerca de 90% dos sistemas fotovoltaicos do planeta.

Países europeus apresentam um potencial solar fotovoltaico abaixo do brasileiro, mas produzem mais energia solar fotovoltaica que o Brasil. Contudo, a irradiação solar do Brasil tem potencial para gerar mais energia por sistemas fotovoltaicos que o valor atual de vários países europeus. De acordo com Pereira et al. (2006), os níveis de incidência de irradiação solar global em qualquer região do Brasil chegam a ser maiores que em países europeus, onde a energia solar fotovoltaica é muito utilizada (SANTOS, 2018).

Machado e Miranda (2015) afirmam que a energia solar fotovoltaica recebe esse nome quando a energia proveniente do Sol é transformada em energia elétrica. Isso é possível devido a um fenômeno chamado de efeito fotoelétrico, descoberto pelo cientista francês Alexandre Becquerel, em seu artigo publicado em 1839. A energia emitida pelo Sol que chega até o planeta Terra é de 3×10^{24} joules por ano, aproximadamente dez mil vezes mais do que a população mundial consome de energia. Pode-se afirmar que existe um grande potencial para utilização da energia proveniente do Sol.

Um sistema fotovoltaico é constituído basicamente por painéis fotovoltaicos, o qual converte a energia solar em energia elétrica com corrente contínua, e utiliza um inversor para converter a corrente contínua em corrente alternada, que é disponibilizada para a instalação ou para a rede elétrica. Outros equipamentos podem fazer parte do sistema, como o banco de baterias utilizado geralmente em sistemas isolados e o medidor de energia bidirecional, fornecido pela concessionária de energia em caso de sistema fotovoltaico do tipo on grid (conectado à rede).

Figura 1 - Radiação solar direta média nos continentes.



Fonte: SOLARGIS, 2013.

Os sistemas com conexão à rede elétrica pública são chamados de Sistemas Conectados à Rede (SFVCR), porque a energia gerada pelo sistema é injetada na rede automaticamente. O sistema é composto por painéis fotovoltaicos e inversores que convertem a tensão contínua em tensão alternada e nos mesmos padrões utilizados pela rede elétrica a que está conectado. Após a energia gerada pelo sistema ser injetada na rede o inversor é desligado automaticamente.

A Resolução Aneel nº. 1059/2023 instituiu a compensação de energia elétrica, que possibilita às unidades consumidoras reduzir seu consumo de energia através da micro e minigeração distribuída. Dentre as fontes de energia elétrica está a de matriz solar. Ao final do mês é contabilizado o quanto de energia elétrica foi gerada e o quanto foi consumida (ANEEL, 2023).

Davies, Frisso e Brandão (2018), afirmam que o painel solar é o principal componente de um sistema fotovoltaico e é formado por um conjunto de células solares que geram energia elétrica através da luz do sol. O silício cristalino é atualmente o material mais utilizado na fabricação das células fotovoltaicas tendo cerca de 80% do mercado atual e que do grupo dos silícios cristalinos, as células podem ser feitas por silício monocristalino e policristalino.

Existem inúmeras variações de painéis solares, porém um painel típico terá aproximadamente 2m² e produzirá 400 Watt de potência máxima, ou seja, 200 Watt/m², dependendo da tecnologia empregada. Além disso, um sistema fotovoltaico pode possuir muitos painéis, montados de diferentes formas, permitindo configurar sistemas com diversas potências e tensões.

Tendo em vista a otimização do espaço no tocante à implantação de sistemas fotovoltaicos para geração de energia elétrica, projetos têm sido elaborados visando soluções arquitetônicas de sistemas fotovoltaicos integrados às edificações. Dentre eles podemos destacar o Centro de Pesquisa e Capacitação em Energia Solar da UFSC, na cidade de Florianópolis - SC.

A energia solar é uma fonte limpa e renovável, de fácil captação de energia, pois necessita somente do sol, não emite ruídos em sua geração e a área para implantação de um

sistema fotovoltaico é pequena quando comparada a outras fontes de mesma capacidade. O Brasil possui grande potencial para geração de energia solar fotovoltaica que, ano a ano, vem crescendo sua participação nessa matriz energética e com baixo custo.

2.3.1 Projetando um sistema fotovoltaico

O passo inicial para se projetar um sistema fotovoltaico é dimensionar o consumo de energia elétrica para o dimensionamento do sistema gerador. Normalmente é considerado o histórico de consumo de energia de uma unidade consumidora ou calculado o consumo de energia pelas potências dos equipamentos e o tempo que serão utilizados diariamente. Baseado neste consumo é que se dimensiona o sistema fotovoltaico.

De acordo com a localidade da instalação do sistema, verifica-se o potencial de geração solar disponível ao longo do ano. Estas informações podem ser obtidas em uma base de dados como o Atlas Brasileiro de Energia Solar. Determinado o consumo e o potencial de geração solar, é possível determinar a quantidade de painéis fotovoltaicos, a área necessária para a instalação, a quantidade de inversores e a geração de energia esperada, de acordo com os dados técnicos dos equipamentos. Definida a quantidade e o modelo dos equipamentos escolhidos, calcula-se o investimento necessário para a instalação, levando-se em conta uma empresa reconhecidamente qualificada tecnicamente para executar a correta instalação do sistema fotovoltaico. Lembrando que para conectar o sistema com a rede de energia (on-grid), será necessário apresentar os projetos de dimensionamento do sistema, elaborados por profissional qualificado, para a distribuidora de energia local e aguardar autorização para conexão.

A manutenção de um sistema fotovoltaico consiste basicamente em limpar as placas solares uma vez ao ano, ou quando o sistema apresentar uma queda na produção de energia, devido ao acúmulo de sujeira. No geral, o impacto da manutenção no custo da energia é mínimo e não representa mais do que 1% por ano do custo total do sistema.

2.4 VEÍCULO ELÉTRICO E ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

O veículo elétrico foi pensado principalmente para as grandes cidades. Apesar da limitação para grandes deslocamentos, que ocorre com os veículos 100% elétricos, a autonomia deles atende plenamente a necessidade de quem vive em uma cidade.

O consumo de energia elétrica de um veículo elétrico afeta pouco as redes de distribuição, mas quando se projeta um aumento quantitativo desses veículos e o impacto que diversas conexões simultâneas podem causar na rede elétrica, surge a preocupação quanto à infraestrutura física e a capacidade de se acomodar tal demanda. Os equipamentos utilizados na rede elétrica possuem limites de operação, que caso sejam violados, diminui sua vida útil elevando os custos de manutenção do sistema. Além disso, o horário de carregamento pode aumentar o problema. Uma forma de reduzir este impacto dos veículos elétricos sobre a rede elétrica é a utilização da energia solar fotovoltaica.

Atualmente, o setor de transportes corresponde a cerca de um terço do consumo final de energia no Brasil (BEN). Além de sua relevância no consumo energético e dos diversos impactos ambientais associados, o setor de transportes tem ampla relevância e abrangência econômica e social. O uso de uma tecnologia que modifica o atual sistema de propulsão dos veículos, como o veículo elétrico, representa uma transformação industrial e econômica importante no setor de transportes, alterando nichos de mercado, estratégias corporativas e mudanças legislativas e comportamentais.

Dentro dessa perspectiva, o Plano Nacional de Energia (PNE), desenvolvido pelo governo em parceria com a Empresa de Pesquisa Energética – EPE traz um conjunto de estudos que dão suporte às estratégias de longo prazo do governo para diversos setores, dentre eles, o do transporte e da energia. Compreender os efeitos da ampliação do número de veículos elétricos no Brasil requer uma análise das vantagens, dos desafios e das barreiras ante as peculiaridades no contexto atual no país, dada a grande diferença entre as motivações da introdução do veículo elétrico no mercado mundial e no Brasil (PNE, 2020).

A locação de geração distribuída de energia solar fotovoltaica pode constituir uma alternativa para compensar o aumento do consumo de energia elétrica provocado pela introdução do veículo elétrico como modal de mobilidade urbana, podendo ainda impactar, de forma positiva, a redução da tarifa de energia em relação ao mercado.

Um dos benefícios da implementação de infraestrutura de geração distribuída na própria garagem de ônibus, ou em sítio, como equipamentos urbanos por exemplo, dentro da mesma área de concessão da distribuidora de energia elétrica, é a modalidade net-metering, conhecida no Brasil como “sistema de compensação de energia elétrica”, prevista na Resolução Normativa ANEEL nº. 482/2013 (EPE, 2020a).

2.4.1 Alguns exemplos

2.4.1.1 Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Dentre as iniciativas pioneiras de eletrificação de ônibus no país, foi inaugurado em 2016 o e-Bus, do laboratório Fotovoltaica UFSC. O e-Bus é um projeto piloto que atende a comunidade acadêmica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Toda a energia utilizada para carregar o veículo é produzida pelos painéis fotovoltaicos instalados na estrutura do laboratório e no momento está em construção um banco de baterias de segunda vida de veículos elétricos, para armazenamento da energia solar gerada. O e-Bus, além de atender a comunidade com os trajetos que acontecem de forma gratuita, ajuda a analisar a viabilidade da mobilidade elétrica nas cidades em conjunto com a energia solar fotovoltaica (UFSC Fotovoltaica, 2021).

2.4.1.2 Cascavel - PR

A cidade de Cascavel, em 2023, lançou o primeiro projeto no Estado do Paraná para utilização de ônibus elétricos no transporte coletivo, abastecidos com energia solar proveniente de usina fotovoltaica instalada no Aterro Sanitário municipal.

Segundo a ABSOLAR (2023), os incentivos do governo estadual e do BRDE garantirão os recursos para a aquisição de 15 veículos elétricos, sendo 13 (treze) do modelo convencional e 2 (dois) articulados, financiados no valor aproximado de R\$ 66 milhões. A usina terá o valor de R\$ 25 milhões e contará com mais de 5 mil placas fotovoltaicas.

O prefeito de Cascavel, Leonardo Paranhos afirmou que esse novo modelo de transporte por ônibus elétrico à usina solar fotovoltaica é confortável, econômico e ambientalmente sustentável sendo uma conquista para a cidade (ABSOLAR, 2023).

Segundo a presidente da Autarquia Municipal de Mobilidade, Trânsito e Cidadania (Transitar), Simoni Soares (ABSOLAR, 2023), destaca:

Nós teremos 10% por cento da frota de veículos elétricos, dos 150 ônibus, mas é só o começo. Nós acreditamos que posteriormente, por uma questão de sustentabilidade e

economia, considerando que esses veículos trazem um retorno econômico para cidade, nós deveremos ter aí um transporte coletivo sustentável, confortável e seguro, porque a nossa população merece.

O presidente do BRDE, Wilson Bley Lipski, afirma que o investimento mostra um novo perfil que o banco assume, ligado à responsabilidade ambiental. “É um perfil de poder atender a todos e principalmente gerar desenvolvimento social para toda região. Nós estamos trazendo essa inovação. A Prefeitura de Cascavel é muito atenta a esse novo processo e nós tivemos a satisfação de dar esse apoio”, resume. Os avanços sustentáveis do governo municipal terão um suporte de dentro de casa. Isso porque será instalada uma usina solar dentro do Aterro Sanitário, de cerca de 40 mil metros².

Para o secretário de Meio Ambiente, Nei Haveroth, a iniciativa é um marco na questão ambiental:

O que que representa isso pra Cascavel? Representa um ganho ambiental, um bem social, um imenso benefício para os usuários do transporte coletivo que vão ser contemplados com uma tentativa aí de melhorar o acesso a um ônibus com energia sustentável. O Município está aproveitando esse espaço para colocar esse sistema de geração de energia limpa, sustentável, da usina fotovoltaica para um benefício social do transporte coletivo. Isso é uma iniciativa louvável, que inova o pensamento de aproveitamento que e é aquilo que o Meio Ambiente prega: aproveitar as coisas da melhor forma possível”, conclui (HAVEROTH, 2023).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fase de testes com ônibus elétricos pelo Município de Curitiba, culminou: com os testes oriundos do Edital de Chamamento Público N°. 001/2023 – URBS, que teve por objeto convocar eventuais interessados a manifestarem sua pretensão de participar do Acordo de Cooperação Técnica visando a Demonstração Operacional de Ônibus Elétricos, voltado ao estabelecimento de cooperação técnica, nos termos do Art. 116 da Lei n° 8.666/1993, com a provisão de ônibus elétricos e infraestrutura de recarga em caráter experimental em linhas de transporte coletivo da cidade a serem definidas pela URBS e o Instituto de Pesquisa e Planejamento de Curitiba (IPPUC), com o devido alinhamento com o proponente, tendo as demonstrações realizadas como finalidade fornecer subsídios técnicos e operacionais para futuras contratações e licitações do município; e com a publicação do respectivo Relatório Técnico dos Testes Operacionais do Chamamento Público para a Demonstração de Ônibus Elétricos em Curitiba, pelo qual se tem um perfil técnico dos ônibus elétricos a serem adquiridos pelo Município de Curitiba, previsto ainda para este ano de 2024.

Do referido Relatório Técnico dos Testes Operacionais do Chamamento Público para a Demonstração de Ônibus Elétricos em Curitiba, temos o quadro abaixo com a média de consumo em kWh/Km dos ônibus elétricos avaliados, dados pertinentes aos assuntos abordados neste trabalho.

Tabela 1 - Resumo da média de consumo dos ônibus elétricos avaliados

Veículo	Tipo	Proponente	Média Km	Média kWh/Km
Xy042	Articulado	BYD	116,42	2,01
Xy043	Padron	Eletra	123,49	1,35
Xy044	Padron	Marcopolo	94,01	1,60
Xy045	Padron	Eletra	123,95	1,71
Xy046	Padron	Volvo	101,73	1,00
Xy047	Padron	Marcopolo	89,61	1,46

Fonte: URBS, 2023.

O que podemos extrair desse quadro é que o consumo médio de um ônibus elétrico Tipo Articulado é de 2,01 kWh/Km e de um ônibus elétrico Tipo *Padron* é de 1,424 kWh/Km.

Em entrevista com agentes da Área de Transporte da URBS, a informação que se obteve é que cada ônibus elétrico, independentemente do tipo, deverá cumprir um itinerário diário de aproximadamente 300Km, dividido em dois turnos, manhã e tarde, com intervalo ideal para recarga. Considerando as médias de consumo obtidas para cada tipo de ônibus e o itinerário diário previsto, calcula-se que para cada veículo elétrico é estimada uma recarga diária média de 603kW para o ônibus Tipo Articulado e 427,2 kW para o ônibus Tipo *Padron*.

Considerando-se o que já foi abordado neste trabalho, tendo-se as estimativas de consumo, é possível estimar um sistema gerador fotovoltaico de energia para atender cada demanda, cabendo, nesse caso, orçamento com empresa especializada no ramo com perspectivas de financiamento junto a agências fomentadoras.

Assim, é recomendável se fazer uma implantação gradativa, conforme o aumento da demanda de energia e progresso da substituição da frota, com observação dos resultados com vistas à otimização do sistema e redução dos custos oriundos do processo.

O Programa de Mobilidade Sustentável de Curitiba está em curso, e é imperativo estimar o impacto das mudanças no cenário atual pela demanda por energia limpa e sustentável, a energia elétrica, potencializando a necessidade de investimentos em fontes alternativas, como a de energia solar fotovoltaica, que se caracteriza por produzir energia renovável e limpa utilizando a radiação solar para gerar eletricidade.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. Cascavel será a 1ª cidade do PR a ter ônibus elétricos com energia produzida em usina solar própria. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/cascavel-sera-a-1a-cidade-do-pr-a-ter-onibus-eletricos-com-energia-produzida-em-usina-solar-propria/>. Acesso em: 05 fev, 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL (BRASIL) **Resolução Normativa Aneel N° 1.059, de 7 de Fevereiro de 2023**. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.pdf>. Acesso em: 23 set 2023.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA (PMC). **Quase 100 mil pessoas já andaram de ônibus elétrico em testes em Curitiba.** Curitiba, 2023. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/quase-100-mil-pessoas-ja-andaram-de-onibus-eletrico-em-testes-em-curitiba/70511>. Acesso em: 24 fev, 2024.

SANTOS, Sabrina Rodrigues dos. **Viabilidade econômico-financeira da implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede nos terminais e estações tubo do sistema de transporte público de Curitiba e análise de custos da implantação de uma frota de ônibus elétrica.** Universidade Tecnológica do Paraná. Curitiba, 2018. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/7998/2/CT_COECI_2018_2_14.pdf. Acesso em: 28 fev, 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC) – FOTOVOLTAICA. **Ônibus Elétrico – Deslocamento produtivo com ônibus elétrico alimentado por energia solar.** Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/fotov/blog/2017/04/24/onibus-eletrico/>. Acesso em: 28 fev, 2023.