

CENTRO PAULA SOUZA

FATEC SANTO ANDRÉ

Tecnologia em Eletrônica Automotiva

KAILANY CRISTINA DA COSTA IBIDI

NICOLY BASTOS ALMEIDA

VINÍCIUS BARBOSA AMORIM

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA ELETRIFICAÇÃO DA BASE
COMUNITÁRIA MÓVEL DA PMESP**

Santo André

2025

KAILANY CRISTINA DA COSTA IBIDI

NICOLY BASTOS ALMEIDA

VINÍCIUS BARBOSA AMORIM

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA ELETRIFICAÇÃO DA BASE
COMUNITÁRIA MÓVEL DA PMESP**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
FATEC Santo André, como requisito parcial para a
obtenção do título de Tecnólogo em Eletrônica
Automotiva. Orientado pelo Prof. Dr. Fábio Delatore.
Ano de Conclusão: 2025.

Santo André

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

I126e

Ibidi, Kailany Cristina da Costa

Estudo de viabilidade da eletrificação da base comunitária móvel da PMESP / Kailany Cristina da Costa Ibidi, Nicoly Bastos Almeida, Vinícius Barbosa Amorim. - Santo André, 2025. – 62f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2025.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Delatore

1. Eletrônica. 2. Veículo. 3. Polícia Militar. 4. Aquecimento global. 5. Tecnologia. 6. Estudo. 7. Eletrificação. 8. Base comunitária móvel. I. Almeida, Nicoly Bastos. II. Amorim, Vinícius Barbosa. III. Estudo de viabilidade da eletrificação da base comunitária móvel da PMESP.

LISTA DE PRESENÇA

Santo André, 31 de maio de 2025.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA: **“Estudo
de viabilidade da eletrificação da base comunitária móvel da PMESP”**
DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:

PROF. FABIO DELATORE _____

MEMBROS:

PROF. FERNANDO GARUP DALBO _____

CORONEL FERNANDO CARVALHO RICARDO _____

ALUNOS:

KAILANY CRISTINA DA COSTA IBIDI Kailany Thidi

NICOLY BASTOS DE ALMEIDA Nicoly Bastos A.

VINICIUS BARBOSA AMORIM Vinicius

KAILANY CRISTINA DA COSTA IBIDI

NICOLY BASTOS ALMEIDA

VINÍCIUS BARBOSA AMORIM

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA ELETRIFICAÇÃO DA BASE
COMUNITÁRIA MÓVEL DA PMESP**

Santo André

2025

À Deus, pela oportunidade de hoje estar terminando uma parte tão linda da minha trajetória. Aos meus pais, Daiane e Fabiano, e aos meus irmãos, Kauê e Kamilly, que me fizeram forte até esse momento.

Kailany Ibidi

À minha mãe, Elaine Cristina Bastos, minha irmã, Natali Bastos Leal e meu padrinho, Danilo Sousa.

Nicoly Bastos

Aos meus pais, Adriana Barbosa Amorim e Carlos de Souza Amorim, e meu irmão, Alisson Barbosa Santana.

Vinicius Barbosa

AGRADECIMENTOS

O grupo também gostaria de fazer alguns agradecimentos especiais ao Corpo Docente da Fatec Santo André, em especial ao nosso orientador, Professor Fabio Delatore, que desde o início se tornou parte da nossa história e marcou nossas vidas.

Em especial, ao Coronel Fernando Carvalho que nos trouxe essa ideia e à Polícia Militar do Estado de São Paulo, que nos deu a oportunidade de desenvolvê-la.

“Se você quiser descobrir os segredos do Universo, pense em termos de energia, frequência e vibração.”

Nikola Tesla

RESUMO

O aquecimento global vem tomando proporções muito grandes e nós já podemos ver isso no nosso dia a dia. Você deve ter uma data marcante no ano que, quando chegava esta data, você estava acostumado com um clima típico deste dia, seja ele calor, frio ou chuva. Hoje, com as mudanças climáticas, essa data já não tem o mesmo clima e você nunca sabe como estará. Esse é apenas um dos efeitos do aquecimento global, além de ter outras consequências evidentes como a baixa qualidade do ar e a visível poluição com céus cobertos de poluentes. E nós, humanos, somos os responsáveis por isso. Com a densidade demográfica, o grande volume de pólos industriais e a quantidade de veículos movidos à combustão que circulam todos os dias em São Paulo, uma das maiores metrópoles do planeta, esses efeitos ficam ainda mais evidentes e intensos. Estima-se que só na cidade de São Paulo, sem contar o resto do estado, circulam cerca de 250 mil veículos por hora e aproximadamente 6 milhões de veículos por dia. São Paulo também tem uma das maiores frotas policiais do país e hoje toda a frota de veículos da Polícia Militar do Estado de São Paulo (PMESP) é constituída por veículos com motores à combustão interna, inclusive veículos que não atendem diretamente a emergências, como é o caso das Bases Comunitárias Móveis (BCMs), que têm como objetivo a aproximação da polícia com a comunidade local. Pensando nisso, um coronel da polícia teve a ideia de criar um projeto para o Centro de Altos Estudos de Segurança (CAES), um centro de estudos, ciências e pesquisas da PMESP. Como uma iniciativa para ajudar na redução da poluição e otimizar os serviços da polícia, o estudo consiste em eletrificar as frotas de BCMs, fazendo a substituição da frota atual de veículos movidos à combustão interna por veículos 100% elétricos com carregamento por tomadas e com painéis solares instalados em cima dos veículos.

Palavras-Chaves: Aquecimento Global. Poluição. São Paulo. Polícia.

ABSTRACT

Global Warming is taking on significant proportions, and we can already see this in our daily lives. You probably have an important date in the year which you were accustomed to a typical climate for that day, whether it was hot, cold or a rainy day. Today, with climate change, that date no longer has the same weather and you never know what to expect. That is just one of the global warming effects, alongside other evident consequences such as low air quality and the visible pollution with skies covered in smog. And we, humans, are responsible for that. With the high population density, the large number of industrial hubs, and the many combustion-engine vehicles that circulate daily in São Paulo, one of the largest metropolises in the world, these effects become even more evident and intense. It is estimated that in the city of São Paulo alone, not counting the rest of the state, around 250,000 vehicles circulate per hour and approximately 6 million vehicles per day. São Paulo also has one of the largest police fleets in the country, and currently, the entire fleet of the Military Police of São Paulo' State (PMESP) consists of vehicles with internal combustion engines, including vehicles that do not need to respond to emergencies, such as the Mobile Community Base (BCMs), which aim to bring the police closer to the local community. With that in mind, a police colonel had this idea to create a project for the Center of High Security Studies (CAES), a study, science and research center within the PMESP. As an initiative to help in pollution reduction and optimize police services, the study consists of electrifying the BCM fleets, replacing their internal combustion vehicles to 100% electric vehicles that can be charged via plug-in and have solar panels installed on top of it.

Keywords: Global Warming. Pollution. São Paulo. Police.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Bateria chumbo-ácido.....	16
Figura 2 - Reação eletroquímica das baterias de íons de lítio.....	17
Figura 3 - Inversores de frequência.....	17
Figura 4 - Conversor de tensão.....	18
Figura 5 - Painéis solares.....	19
Figura 6 - Microinversor e Inversor String.....	20
Figura 7 - Construção do painel solar fotovoltaico.....	21
Figura 8 - Nissan Leaf PMESP.....	23
Figura 9 - Mercedes Benz Sprinter.....	25
Figura 10 - Bateria adicional.....	26
Figura 11 - Toldo retrátil.....	27
Figura 12 - Linha Ford E-Transit.....	28
Figura 13 - Sugestão de interior da E-transit 1.....	29
Figura 14 - Módulo fotovoltaico.....	31
Figura 15 - Cálculo de plano Inclinado.....	34
Figura 16 - Gráfico da média de Irradiação.....	34
Figura 17 - Sugestão de montagem das placas.....	36
Figura 18 - Inversor Solar Off Grid.....	38
Figura 19 - Controlador de Carga.....	39
Figura 20 - Wallbox Intelbras.....	40
Figura 21 - Sugestão de interior da E-transit 2.....	47
Figura 22 - Sugestão de design da E-transit.....	48
Figura 23 - Motocicleta Zero DSR.....	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Consumo dos equipamentos.....	30
Quadro 2 – Comparação de desempenho.....	32
Quadro 3 - Irradiação solar (inclinação de 0°).....	33
Quadro 4 - Irradiação solar (inclinação de 21°).....	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PROCONVE Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores

BCM Base Comunitária Móvel

PMESP Polícia Militar do Estado de São Paulo

CA Corrente Alternada

CC Corrente Contínua

CRESESB Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio S. de Brito

CEPEL Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

CEL Coronel

PM Polícia Militar

STC Standard Test Conditions

NOCT Nominal Operating Cell Temperature

TCO Total Cost of Ownership

V2L Vehicle to Load

IPCA Índice de Preços ao Consumidor Amplo

ICMS Imposto de Circulação de Mercadorias e Serviços

PMES Polícia Militar do Espírito Santo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
1.2 A PROPOSTA DO TRABALHO	13
1.2.1 Motivação e justificativa	14
1.2.2 Metodologia e objetivos	15
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2. CONCEITOS TEÓRICOS	16
2. 1 BATERIA	16
2.2 INVERSOR E CONVERSOR DE FREQUÊNCIA	17
2.3 PLACA FOTOVOLTAICA	19
2.3.1 Inversores solares	20
2.3.2 Construção do painel solar	21
3. DESENVOLVIMENTO	22
3.1 EXPERIÊNCIAS UTILIZANDO VEÍCULOS ELÉTRICOS NA POLÍCIA	22
3.1.1 Casos internacionais	22
3.1.2 Casos no Brasil	23
3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS	24
3.2.1 Mercedes Benz Sprinter	25
3.2.2 Ford E-Transit	28
3.3 PLACAS FOTOVOLTAICAS	31
3.3.1 Inversores Solares	37
3.3.2 Controlador Solar	38
3.4 ESTAÇÕES DE RECARGA	39
3.5 CUSTOS	41
3.5.1 Custos da Sprinter	41
3.5.2 Custos do kit fotovoltaico	42
3.5.3 Custos do equipamento de recarga	43
3.5.4 Custos da E-Transit	43
CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
APÊNDICES	54
ANEXOS	57

INTRODUÇÃO

O Programa de Controle de Poluição do Ar de Veículos Automotores (PROCONVE) vem reforçando e definindo metas para que a quantidade de poluentes emitidos pelos veículos se torne cada vez menor no Brasil. De acordo com essa necessidade de reduzir emissões de CO₂ e trazer algo mais tecnológico para dentro de nossos mundos atuais, nosso estudo consiste em verificar a viabilidade de substituir a Base Comunitária Móvel (BCM), que atualmente utiliza um veículo com Motor à combustão interna (MCI), por um veículo elétrico.

A ideia do estudo foi gerada após uma análise sobre como utilizar um veículo elétrico para ficar parado em local específico, como uma saída de show musical, por exemplo, seja uma solução de economia de combustíveis e uma proposta diferente de eletrificação de um veículo, visto que isso nunca foi utilizado antes na Polícia Militar. Seguindo nesse caminho de eficiência energética, estudamos também a viabilidade da instalação de placas fotovoltaicas na parte superior do veículo para suprir parte do consumo dos componentes utilizados dentro da BCM.

Feito o estudo de todo o contexto e o que ambas as partes poderiam utilizar para se ajudar, este trabalho foi criado com o intuito de realizar o planejamento e a análise de viabilidade da utilização de um veículo elétrico como BCM.

1.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para fundamentar a presente pesquisa, utilizou-se como referência o Manual de Tecnologia Automotiva da Bosch (2005), visando aprofundar o conhecimento sobre motores de Ciclo Otto e Ciclo Diesel. Para máxima eficiência na construção do nosso estudo, é importante entendermos todo o funcionamento do veículo movido à combustão interna para que possamos fazer a conversão elétrica com a mais próxima relação de torque e potência e proporção geral em relação aos motores originais. Além de referência para estudo dos ciclos de diferentes combustíveis, o livro da Bosch agregou muito conhecimento técnico à construção de todo o veículo, como sistema

de arrefecimento, lubrificação, transmissão, segurança, carroceria, conforto e comunicação embarcada.

No livro *Electric and Hybrid Vehicles – Design Fundamentals* de Iqbal Husain (2010), foram apresentados estudos e competências técnicas fundamentais para nossa pesquisa. Husain nos forneceu boa parte do conhecimento técnico para o desenvolvimento do estudo da eletrificação. Entre os conteúdos mais relevantes utilizados em nosso trabalho, destacam-se a dinâmica e arquitetura veicular, incluindo o dimensionamento do *powertrain* elétrico, a escolha da bateria com todos seus parâmetros, o desenvolvimento e a aplicação da máquina elétrica, redes de comunicação e sistemas de arrefecimento.

Em *Veículos Elétricos e Híbridos*, Denton (2018) trouxe conceitos gerais e específicos dos principais elementos que envolvem os veículos elétricos e híbridos, explicando desde o nível mais básico até um nível superior e mais técnico. Apesar de o tema do livro ser o mesmo de Husain, este nos agregou com conteúdo mais específico, como os sistemas de recarga dos veículos, manutenção e reparo e até mesmo trouxe estudos de casos com veículos elétricos reais que nos ajudam a comparar nosso trabalho.

1.2 A PROPOSTA DO TRABALHO

A Base Comunitária Móvel (BCM) é uma das estratégias utilizadas pela Polícia Militar para promover o policiamento comunitário. Essa iniciativa visa garantir maior presença policial em áreas de risco, aproximando a polícia da comunidade e proporcionando um espaço para maior interação com os cidadãos. Dessa forma, é possível fortalecer a confiança da população nas forças de segurança pública, promovendo uma atuação mais eficaz e preventiva (GOVERNO DO ESTADO DE SP, 2024).

Através da análise e utilização de um veículo elétrico de mesmo porte que atenda às necessidades da base e de placas fotovoltaicas para aprimoramento da disponibilidade energética e auxílio do carregamento, o estudo busca tornar os veículos 100% elétricos. Tendo em vista o avanço de estratégias de diminuição de

emissões e melhores práticas ambientais, essa implementação se faz importante como um exemplo de compromisso com a sustentabilidade e referência de inovação.

1.2.1 Motivação e justificativa

A eletrificação de veículos faz-se cada vez mais importante para o nosso bem-estar e para um meio ambiente mais limpo. Além disso, nosso trabalho pode trazer diversos benefícios para todo o estado. Como destaca Robert Swan, a maior ameaça ao nosso planeta é acreditar que um outro alguém irá salvá-lo. *“The greatest threat to our planet is the belief that someone else will save it”* (SWAN, [20-]).

Veículos elétricos em geral apresentam maior economia financeira em relação aos veículos movidos à combustão em alguns aspectos. Um deles é a manutenção, já que veículos elétricos têm consideravelmente menos peças que os veículos à combustão e pouquíssimas partes móveis. Outro ponto é a economia de combustíveis, visto que os custos com abastecimento em eletropostos e terminais de carregamentos elétricos são expressivamente menores do que o abastecimento de combustíveis como gasolina, etanol e diesel. Isso tudo pode impactar diretamente na economia do estado e até em nossos bolsos, pois alimentamos o governo com o pagamento de impostos que são utilizados para pagar por todos esses custos.

As Bases Comunitárias Móveis (BCMs) comumente ficam estacionadas durante o dia todo num local, às vezes até em pontos fixos e estratégicos, geralmente em turnos de 12 horas diárias. Pensando nisso, é muito mais vantajoso as BCMs serem veículos elétricos, já que podem ser abastecidas enquanto paradas em suas garagens após o expediente ou até em seus pontos de trabalho, economizando até mesmo o próprio combustível que seria gasto para ir até um posto de gasolina. Enquanto estacionado, o veículo pode ser carregado num eletroposto instalado em pontos fixos com tomadas preparadas para o carregamento ou através de um gerador de energia renovável, como uma turbina eólica ou painel fotovoltaico. Isso tudo melhora a logística e faz com que a polícia ganhe tempo e economia.

São Paulo é uma das maiores metrópoles do mundo e a maior do Brasil. Na capital circulam milhares de veículos todos os dias e estes compõem uma parte

considerável da frota nacional. O projeto de eletrificação de parte da frota da Polícia Militar pode contribuir diretamente para uma cidade mais limpa e saudável.

Desenvolvido para um órgão público do Governo do Estado de São Paulo, o estudo se torna também uma forma de incentivo à Pesquisa & Desenvolvimento por parte do governo. Esse tipo de trabalho é muito importante para qualificarmos cada vez mais os estudantes e desenvolvermos ainda mais o país. Com isso, abrimos um maior leque de possibilidades para trazer melhorias que podem ser significativas para a sociedade como um todo. Educação é a chave.

1.2.2 Metodologia e objetivos

Neste trabalho utilizamos uma abordagem teórica e prática para avaliar a eletrificação da frota de veículos das BCMs da PMESP. A ideia é entender como a troca de carros movidos a combustíveis fósseis para veículos elétricos pode ajudar a reduzir a poluição e os custos operacionais. A pesquisa envolve a análise de dados sobre economia de combustível, emissões e manutenção dos veículos elétricos, além de verificar como essa mudança pode contribuir para um serviço mais eficiente e sustentável. Também são analisadas as necessidades de adaptação da frota e as possíveis parcerias com empresas que atuam na eletrificação de veículos.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em cinco partes. A primeira apresenta a introdução ao tema e os objetivos da eletrificação da frota policial. A segunda traz a revisão bibliográfica com os conceitos e estudos que fundamentam o projeto. A terceira detalha a proposta e a metodologia adotada. A quarta parte discute os resultados e benefícios esperados. Por fim, a última parte traz as conclusões e recomendações para futuras implementações.

2. CONCEITOS TEÓRICOS

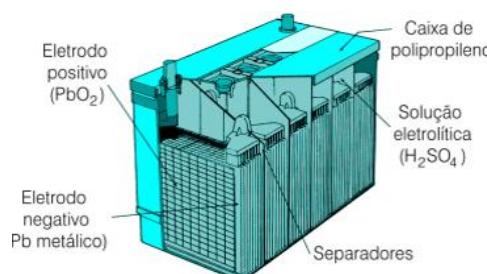
Como principais componentes deste projeto, focamos no estudo de três equipamentos responsáveis pelo funcionamento do veículo elétrico: a bateria, o inversor de frequência e as placas solares.

2.1 BATERIA

A bateria, também chamada de acumulador, é um dos principais componentes quando se trata de automóveis e essa importância só cresce quando tratamos de veículos elétricos em específico. Sua principal função é armazenar a energia através de uma reação de oxirredução. São construídas através da associação de células positivas e negativas que podem ser feitas em série e/ou paralelo. Podem ser divididas em primárias e secundárias; as primárias são aquelas que não permitem a recarga. Ao serem totalmente consumidas devem ser descartadas. Já as baterias do tipo secundária permitem a recarga, no caso dos veículos a combustão essa recarga é realizada através do alternador durante o funcionamento do motor. Quando se trata da composição química das baterias, os principais tipos utilizados na indústria automotiva são as de chumbo-ácido ($Pb-PbO_2$) e atualmente vem ganhando um espaço no mercado as de íons de lítio (Li-ion). (DIAS, s.d).

É fundamental mencionar as baterias de chumbo-ácido: em 1859, foi construído o primeiro sistema recarregável pelo físico francês Raymond Gaston Planté, criando a base para as baterias de chumbo/óxido de chumbo, que são utilizadas até os dias atuais. Como é apresentado na Figura 1, possuem uma característica incomum de envolver ambos os eletrodos no mesmo elemento químico, o chumbo (Pb) (BOCCHI; FERRACIN; BIAGGIO, 2000).

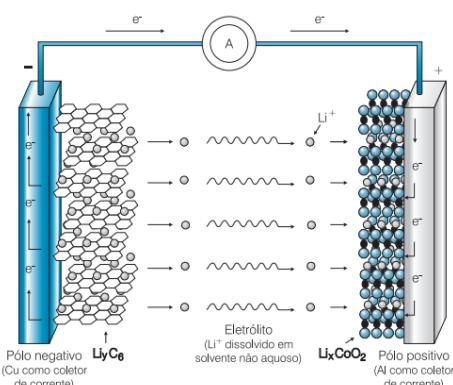
Figura 1 – Bateria chumbo-ácido



Fonte: BOCCHI; FERRACIN; BIAGGIO (2000).

Quanto às baterias de lítio, elas recebem essa nomenclatura não por utilizarem o lítio metálico, mas sim íons de lítio presentes na forma de sais dissolvidos em solvente não aquoso (BOCCHI; FERRACIN; BIAGGIO, 2000). Apesar de parecerem semelhantes a outros tipos de baterias, as de íons de lítio se diferenciam por não apresentarem uma reação clássica de oxirredução (CASTRO; BARROS; VEIGA, 2013). A Figura 2 apresenta a migração dos íons de lítio do ânodo ao cátodo, e a movimentação dos elétrons pelo circuito externo.

Figura 2 – Reação eletroquímica das baterias de íon de lítio



Fonte: BOCCHI; FERRACIN; BIAGGIO (2000).

2.2 INVERSOR E CONVERSOR DE FREQUÊNCIA

O inverter é um equipamento utilizado para converter a eletricidade de uma fonte de corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), podendo assim ser usado para acionar um dispositivo (CÂMBIO AUTOMÁTICO DO BRASIL, 2024). A Figura 3 apresenta um modelo de inverter de frequência utilizado em veículos elétricos.

Figura 3 – Inversor de frequência



Fonte: WEG, 2024

Em um veículo híbrido, a teoria de operação consiste em uma corrente contínua proveniente de uma bateria híbrida, por exemplo, fornecida ao enrolamento primário de um transformador localizado no interior da caixa do inverter. Por meio de um comutador eletrônico, a direção do fluxo de corrente é continuamente e regularmente invertida. Esse processo de alternância gera uma corrente alternada no circuito de enrolamento secundário do transformador. A corrente alternada induzida, por sua vez, é utilizada para alimentar uma carga de corrente alternada, como, por exemplo, o motor de tração elétrica de um veículo. É importante destacar que o retificador é um dispositivo que atua de maneira oposta ao inverter, convertendo energia de corrente alternada em corrente contínua. (CÂMBIO AUTOMATICO DO BRASIL, 2024).

Dentro dos veículos elétricos e híbridos ainda existem os conversores que alteram a tensão em Corrente Alternada em Corrente Contínua. Os conversores possuem dois tipos de utilização, um que aumenta a tensão e outro que diminui a mesma. (CÂMBIO AUTOMÁTICO DO BRASIL, 2024). Para melhor entendimento, na Figura 4 nos mostra um modelo de conversor de tensão.

Figura 4 – Conversor de tensão



Fonte: NEOCHARGE, 2024

O uso mais comum deste equipamento é para "obter uma fonte de tensão relativamente baixa e aumentar a tensão para trabalhos pesados em uma carga de alto consumo de energia". (CÂMBIO AUTOMATICO DO BRASIL, 2024).

Ainda dentro dos veículos, existem Unidades Tandem de Inversor/Conversor, que hospedam os dois equipamentos juntos e gerenciam os acionamentos elétricos dos carros.

Junto a um controlador de carga embutido, o inversor fornece corrente à bateria para recarregar durante a frenagem regenerativa, além de fornecer eletricidade ao motor para propulsão do veículo. Os veículos elétricos usam baterias de corrente contínua com tensão relativamente baixa, geralmente algo próximo de 210 V, para manter seu tamanho físico pequeno, mas também usam motores de alta tensão altamente eficientes com cerca de 650 V. A unidade inversor/conversor coreografa como essas tensões e tipos de corrente divergentes funcionam juntas. (CÂMBIO AUTOMATICO DO BRASIL, 2024).

2.3 PLACA FOTOVOLTAICA

O painel solar é um dos equipamentos essenciais no estudo do projeto para recarregar a bateria das BCMs. E como mostrado na Figura 5, é composto por células fotovoltaicas fabricadas a partir de materiais semicondutores, como o silício, a placa solar absorve a luz do sol e gera energia elétrica pelo efeito fotovoltaico. Ele funciona quando as partículas de luz solar, chamadas de fôtons, atingem as células fotovoltaicas, fazendo com que alguns dos elétrons que circundam os átomos se desprendem e migrem para a parte da célula de silício que está com ausência de elétrons, criando uma corrente elétrica chamada de energia solar fotovoltaica. (Portal Solar, 2021).

Figura 5 – Painéis solares

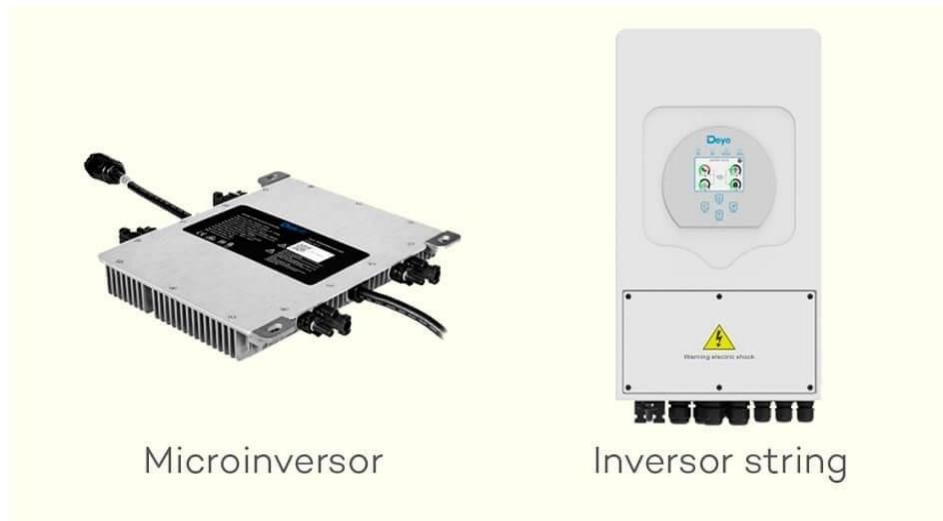


Fonte: Eudemario, 2020.

2.3.1 Inversores solares

Para que essa energia possa ser utilizada no banco de baterias dos veículos, são necessários equipamentos que convertem a energia gerada pelo sol em energia elétrica; estes equipamentos são conhecidos como inversores solares. Esses componentes têm como função transformar a energia elétrica produzida pelos painéis de CC em CA e realizar a sincronização do sistema fotovoltaico com a rede elétrica dos veículos. A Figura 6, mostra os tipos de inversores que podemos utilizar, dentre eles o microinversor e o inversor string. (Portal Solar, 2021).

Figura 6 - Microinversor e inversor string



Fonte: NeoSolar, 2024.

O inversor central é geralmente montado em eletrocentros que suportam altas potências de geração de energia; por isso, é habitualmente utilizado em grandes projetos, como usinas solares que geram grande quantidade de energia.

O microinversor solar é dimensionado para células fotovoltaicas individualmente, ou seja, enquanto o inversor central é ligado a um conjunto de painéis solares, o microinversor se conecta diretamente a uma única célula da placa. O principal aspecto do microinversor consiste no fato de que ele é menor e pode ser instalado atrás do painel solar sem que sejam necessárias obras de infraestrutura, como abrigos separados voltados para os equipamentos, que para os inversores centrais são necessários. (Neosolar, 2024; Portal Solar, 2021).

A diferença do inversor string está em seu tamanho e robustez, já que é maior que o microinversor e sustenta maiores potências em um só equipamento, mas não necessariamente com a dimensão e potência de um inversor central. Sua aplicação geralmente busca atender uma série de painéis solares, por isso possui essas características. (Portal Solar, 2021).

2.3.2 Construção do painel solar

Como mostrado na figura 7, as células fotovoltaicas são colocadas cuidadosamente uma após a outra e as individuais são interligadas utilizando uma fita condutora. Essa faixa é tecida de cima para baixo de cada célula, criando assim um circuito.

A série de células fotovoltaicas então é coberta com uma camada de vidro temperado. O vidro é emoldurado usando um quadro de alumínio e é tratado com uma substância antirreflexo e antiaderente. (Portal Solar, 2021).

Figura 7 – Construção do painel solar fotovoltaico



Fonte: Portal solar, 2021.

Atrás do painel existem dois condutores provenientes de uma caixa de junção e esses cabos são utilizados para ligar os painéis, então, esse conjunto é conectado através de corrente contínua ao inversor solar.

3. DESENVOLVIMENTO

Em diálogo com a Polícia Militar, foi realizada uma análise da atual BCM em operação, com o objetivo de identificar as principais demandas e requisitos operacionais. A partir desse diagnóstico, apresentaremos qual foi a abordagem utilizada para o desenvolvimento desse projeto.

3.1 EXPERIÊNCIAS UTILIZANDO VEÍCULOS ELÉTRICOS NA POLÍCIA

Durante os últimos anos, a busca por alternativas sustentáveis para a renovação de frotas vem se tornando cada vez maior. A seguir, são apresentados alguns exemplos dessa aplicação no âmbito policial. Apesar da maioria das experiências relatadas envolver veículos tradicionais, como sedãs, SUVs e motocicletas, essas iniciativas oferecem contribuições relevantes para a análise de viabilidade da eletrificação, inclusive no contexto das vans utilizadas como BCMs.

3.1.1 Casos internacionais

No continente norte americano, países como Estados Unidos já adotaram veículos híbridos-elétricos ou 100% elétricos. A utilização desses tipos de veículos torna os serviços cada vez mais ecologicamente corretos, visto que reduzem significativamente a pegada de carbono. Assim, apesar de pontos negativos serem apontados, como o alto custo de aquisição inicial e necessidade de mão de obra especializada para manutenção, os veículos ainda são vistos como uma boa oportunidade de aproximação da própria polícia da população, mostrando-se importar não somente com a proteção da comunidade, mas também do meio ambiente. (Mangun, 2016).

No Canadá, foi apresentada a viabilidade financeira do departamento de polícia para substituição de veículos a combustão por elétricos. Com base em uma pesquisa realizada com participantes do departamento policial de Vancouver, estima-se que, através do aumento gradual de veículos elétricos, até 60 unidades em determinadas condições, a economia do departamento pode ser de até 558 mil dólares e remoção de até 997 toneladas de gases de efeito estufa. Concluiu-se que o mais recomendado

é a substituição gradual ao longo dos anos, iniciando com 10% no primeiro ano. (Wood, 2014).

Já na Europa, países como França, Portugal e Espanha também implementaram veículos elétricos em sua frota a fim de diminuir emissões. (Galeski, 2023).

3.1.2 Casos no Brasil

A Polícia Militar do Espírito Santo (PMES) foi a primeira polícia do Brasil a adquirir viaturas elétricas. No dia 24/05/2021, foi realizada a entrega de nove veículos do modelo Chevrolet GM Bolt, que faziam parte do projeto de pesquisa “Mobilidade Elétrica no Estado do Espírito Santo”; estes foram destinados à patrulha escolar. (PMES, 2021).

No ano de 2021, durante 90 dias a PMESP também realizou testes de veículos elétricos a fim de avaliar a operacionalidade como viaturas, levando em conta tempo de recarga e resposta ao serviço de patrulhamento. Três veículos fizeram parte do experimento, sendo duas unidades do modelo Nissan Leaf que pode ser observado na Figura 8, e uma unidade modelo BYD e5. Sob posse do Comando de Policiamento de Área Metropolitana (CPA/M-5), os veículos foram utilizados na ronda escolar e atendimento de chamadas do 190 na região do 23º Batalhão da Polícia Militar Metropolitano (BPM/M). (UOL, 2021).

Figura 8: Nissan LEAF PMESP



Fonte: PortalR3, 2021

Segundo Galeski (2023), os resultados apresentados consideraram a viabilidade em alguns cenários como “crise no setor de combustíveis”, “economia de combustível”, “transporte funcional” e etc. Porém no cenário de normalidade, foram apresentadas questões que ainda necessitam de um melhor desenvolvimento, como acesso a pontos de recarga, autonomia e outros citados também nas experiências do exterior.

3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS

O levantamento de dados é uma etapa essencial na construção do estudo, visando registrar de forma organizada e sistemática todos os dados técnicos relevantes, possibilitando uma análise criteriosa dos impactos das modificações sob os aspectos funcionais, estruturais e de desempenho. Para o início do projeto, foram empregadas duas vans para fins de comparação, sendo uma delas a Mercedes-Benz Sprinter, atualmente utilizada pela polícia, e a outra, um veículo de porte similar, porém com propulsão 100% elétrica, a Ford E-Transit.

3.2.1 Mercedes Benz Sprinter

Muito utilizada em diversos serviços públicos no estado de São Paulo, a van Sprinter 415 funciona como uma edificação da polícia em locais estratégicos. De acordo com o coronel, em dias de jogos de futebol, shows ou outros eventos que envolvem uma grande movimentação de público, o veículo realiza um turno de 12 horas. Segundo a imprensa Mercedes-Benz, a Sprinter “é reconhecida pela segurança, agilidade, conforto e versatilidade para diversos segmentos, incluindo o atendimento móvel de urgência e emergência” (MERCEDES-BENZ IMPRENSA, 2022). O veículo adaptado para o segmento da polícia pode ser visto na Figura 9.

Figura 9: Mercedes Benz Sprinter



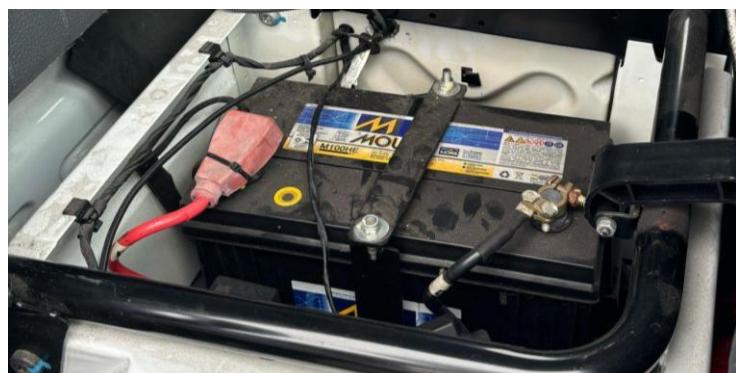
Fonte: Fotografia própria dos autores, 2025

Com capacidade para 16 passageiros, e peso bruto total de 3.880 kg, o modelo é equipado com motor 2.2 diesel, que entrega 146 cv de potência. Sua autonomia é de aproximadamente 713 km, com consumo urbano médio de 9,5 km/l e tanque com capacidade para 75 litros. (Carros na Web, 2021; Via Circular [s.d]). Os dados completos da pesquisa estão disponíveis no Anexo A.

Para garantir um melhor desempenho e adequação às necessidades operacionais da polícia, são realizadas modificações nos veículos, de modo a otimizar sua funcionalidade e eficiência. Em visita ao 6º Batalhão da Polícia Militar, foi possível registrar algumas dessas modificações realizadas nos veículos.

No interior do veículo, é possível observar, à primeira vista, algumas das modificações: os bancos da primeira fileira da van possuem sua direção invertida, criando espaço para uma mesa que facilita a execução de tarefas; também foram instaladas tomadas USB e interruptores que controlam a iluminação em diferentes áreas, como o giroflex, no toldo retrátil, na parte interna e externa, sendo todas operadas com sistema de 12 V. Ainda no interior, o veículo conta com a instalação de ventiladores e sistema de comunicação de rádio. Como mostrado na Figura 10, uma bateria auxiliar foi posicionada estratégicamente no assoalho do veículo, essa é responsável por alimentar os dispositivos auxiliares e está equipada com chave geral e sistema de monitoramento elétrico dedicado.

Figura 10 – Bateria adicional



Fonte: Fotografia própria dos autores, 2025.

Na parte externa do veículo, nota-se a modificação das dimensões das janelas, que foram reduzidas em relação aos padrões originais de fábrica. Além disso, foram adicionados componentes como um toldo retrátil de acionamento manual mostrado na Figura 11.

Figura 11 – Toldo retrátil



Fonte: Fotografia própria dos autores, 2025.

3.2.2 Ford E-Transit

O veículo escolhido para realizar a adaptação para a Base Comunitária Móvel foi a linha da Ford E-Transit, como mostrado na Figura 12. Além de ser uma van com a melhor das tecnologias atualmente, ela também é a que mais se enquadra para as necessidades da Polícia, isto é, ela possui dimensões parecidas com a Sprinter, veículo que atualmente é utilizado. Dentro dos modelos do E-Transit, escolhemos o Furgão Longo 12,4 m³ L3H3 Longo Teto Alto e para maiores detalhes deste veículo, pode-se consultar o Anexo B.

Figura 12: Linha FORD E-TRANSIT



Fonte: FORD, 2025

O veículo utilizado como referência para adaptar é alimentado por uma bateria de 400 V com 68 kWh de potência utilizável. Com essas informações, pode-se dizer que a autonomia da E-Transit é de 257 km (FORD, 2025). Seguindo com as informações que o Cel. nos apresentou, por dia, a atual BCM percorre 50 km diário. Portanto, com a quilometragem percorrida a E-Transit por dia irá consumir 13,22 kWh da bateria.

Seguindo com a adaptação da E-Transit para utilização das BCMs, em nossa conversa com o Coronel e os responsáveis que fazem o uso da base no dia a dia, vimos que há necessidades que ajudariam em relação ao conforto e à tecnologia do veículo. Atualmente, a van utilizada possui poucos recursos, atendendo apenas às

necessidades básicas. Portanto, analisando o cenário, estudamos incluir os seguintes recursos no veículo:

- Janelas laterais;
- 1 tomada 127 V para utilização de Notebook;
- 4 tomadas 127 V para carregar celular (ou outras utilizações);
- Filtro de água elétrico;
- Frigobar;
- 1 tomada 220 V, sendo utilizada exclusivamente para o frigobar;
- Iluminações Internas e externas;
- Giroflex, sirenes e fechamento do toldo de forma automática;
- Sistema de ar-condicionado interno;
- Placas solares no teto com Micro Inversor.

E, com o estudo da inclusão desses componentes, com a ajuda da Inteligência Artificial, podemos imaginar como ficaria o interior da van, como nos mostra a Figura 13.

Figura 13: Sugestão de interior da E-TRANSIT



Fonte: dos próprios autores, 2025

Levando em conta a inclusão desses componentes citados acima, será necessário o cálculo do consumo diário para que se tenha uma noção do quanto de bateria será gasto por dia, e se será necessário a inclusão de uma bateria auxiliar para suportar as devidas necessidades.

O Quadro 1 nos mostra a estimativa da potência utilizada por esses equipamentos:

Quadro 1 – Consumo dos equipamentos

Equipamento	Potência média (W)	Tempo de uso diário (h)	Consumo diário (Wh)
Notebook (1 tomada 127V)	90	8	720
4 tomadas para celulares	80	6	480
Filtro de água elétrico	30	10	300
Frigobar (Tomada 220V)	70	24	1680
Iluminação Interna e Externa (Led)	20 (Led)	8	160
Giroflex + sirenes + toldo	150	8	1200
Ar-Condicionado	1000 (Mini Split)	8	8000

Fonte: dos próprios autores, 2025

Conhecida a energia gerada por cada equipamento, por dia temos um consumo de 14,54 kWh. Com a quantidade utilizada na locomoção do veículo e quantidade de bateria utilizada nos componentes adicionais, temos o total de aproximadamente 27,76 kWh de potência consumida por dia. Portanto, a bateria já existente no veículo consegue suportar as demandas do veículo em si e também as necessidades adicionais. Mesmo com as demandas adicionais, o veículo ainda consegue percorrer aproximadamente mais 152,08 km, dando uma folga caso durante o dia a base tenha que se locomover.

E, como uma ideia adicional, estudamos incluir uma tecnologia, que consiste em um equipamento chamado Veículo para Carga (V2L). Ele é um recurso disponível em alguns veículos elétricos que permite que eles usem a energia armazenada para alimentar dispositivos externos. Normalmente, esses veículos não consomem uma parcela significativa da capacidade da bateria, sendo assim, ela fica inativa durante a maior parte de sua vida útil. Portanto, essa tecnologia permite que os consumidores aproveitem mais do veículo, mesmo quando ele está desligado. Esse equipamento permite que o usuário limite a descarga da bateria selecionando o estado de carga em que deseja que o sistema pare de fornecer eletricidade, então quando atingir esse limite ele interrompe o fornecimento de energia, garantindo que haja energia suficiente para utilizar o veículo. (APTIV, 2025).

3.3 PLACAS FOTOVOLTAICAS

A adoção da energia solar fotovoltaica representa um dos pilares para a viabilidade energética e econômica da eletrificação das BCMs. Para essa etapa do projeto, adotou-se como modelo o módulo fotovoltaico policristalino 72 células 330 W da Intelbras, apresentado na Figura 14. O equipamento destaca-se pela facilidade de instalação, bom custo-benefício e eficiência máxima do módulo de até 17%. (Intelbras, 2022).

Figura 14: Módulo fotovoltaico EMS 330P



Fonte: Intelbras, 2022.

O módulo apresenta variação de performance conforme as condições de teste, sendo avaliado sob os parâmetros de *Standard Test Conditions* (STC) — irradiação de 1000 W/m², espectro AM 1.5 e temperatura de célula de 25°C — e *Nominal Operating Cell Temperature* (NOCT) — irradiação de 800 W/m², espectro AM 1.5, temperatura ambiente de 20°C e velocidade do vento de 1 m/s. (Intelbras, 2022). No Quadro 2, é possível comparar seu desempenho em ambas as condições.

Quadro 2 – Comparação de desempenho

	Potência máxima	Tensão máxima de operação	Corrente máxima de operação	Tensão de circuito aberto	Corrente de curto-círcuito
STC	330 W (+3%)	37,7 VDC	8,76 A	45,9 VDC	9,27 A
NOCT	243 W	34,6 Vdc	7,04 A	42,3 Vdc	7,51 A

Fonte: Intelbras, 2022.

O módulo é composto por 72 células policristalinas e pesa 22 kg. Sua estrutura conta com três diodos bypass, responsáveis por minimizar perdas em situações de sombreamento parcial, além de ser equipado com cabos de 1.200 mm de comprimento. O equipamento opera em uma faixa de temperatura que varia de -40°C a +85°C e apresenta dimensões de 992 x 1960 x 35 mm (largura, altura e profundidade, respectivamente). (Intelbras, 2022).

Através da utilização da ferramenta do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio S. de Brito (CRESESB), órgão competente do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) e utilizando como local de referência o centro do município de São Bernardo do Campo, calculamos o mínimo, máximo e média de incidência de radiação solar por dia (em kWh/m²) para estudar a viabilidade da aplicação de placas fotovoltaicas nos tetos das vans das BCMs.

O Quadro 3 apresenta os resultados encontrados, considerando a instalação das placas solares na posição horizontal e sem inclinação (0°), utilizando como meses de referência junho e dezembro que são, respectivamente, os meses com menor e maior irradiação solar na região e atingem menores e maiores temperaturas médias diárias.

Quadro 3 – Irradiação solar (inclinação de 0°)

Valor mínimo diário	Valor máximo diário	Valor médio diário
Junho: 3,08kWh/m ²	Dezembro: 5,57kWh/m ²	Anual: 4,33kWh/m ²

Fonte: CRESESB, 2024.

As placas fotovoltaicas também têm sua eficiência de geração diferente conforme alterada a inclinação em que está posicionada. Pensando nisso, levamos também em consideração o melhor dos cenários, onde as placas deveriam ter aproximadamente 21° de inclinação, conforme apresentado no Quadro 4. Neste cenário, o mês de menor incidência de radiação solar continuou sendo junho e aquele com maior incidência foi fevereiro, porém com valor pouco menor que o apresentado em dezembro.

Quadro 4 – Irradiação solar (inclinação de 21°)

Valor mínimo diário	Valor máximo diário	Valor médio diário
Junho: 3,91kWh/m ²	Fevereiro: 5,22kWh/m ²	Anual: 4,53kWh/m ²

Fonte: CRESESB, 2024.

Os dados da pesquisa também podem ser visualizados com mais detalhes na Figura 15, onde são apresentados os valores de incidência solar mês a mês e em diferentes posições de instalação das placas.

Figura 15 – Cálculo de plano inclinado

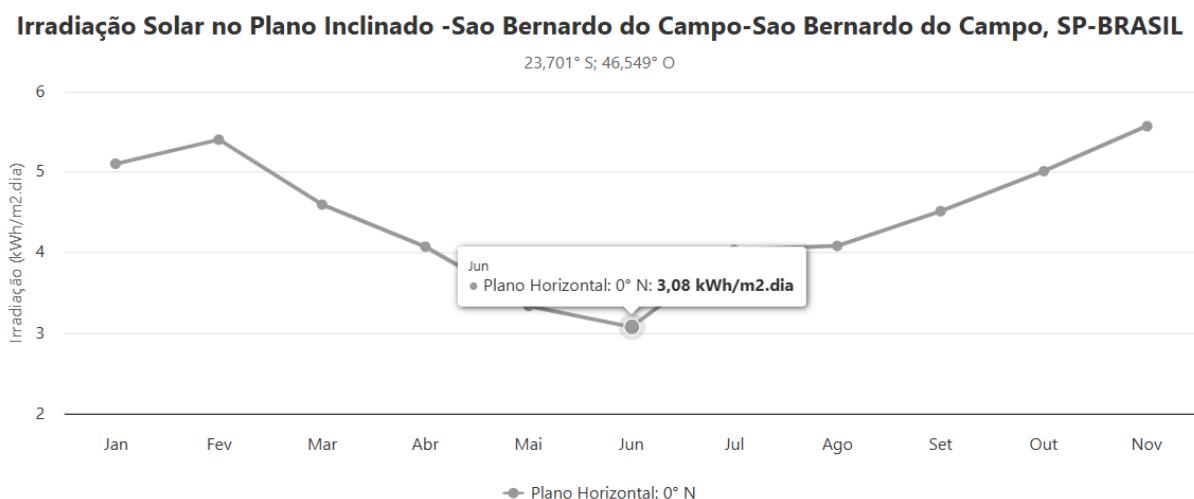
Estação: Sao Bernardo do Campo
Município: Sao Bernardo do Campo , SP - BRASIL
Latitude: 23,701° S
Longitude: 46,549° O
Distância do ponto de ref. (23,659322° S; 46,52711° O): 5,1 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	5,11	5,40	4,60	4,08	3,34	3,08	3,18	4,04	4,08	4,51	5,01	5,57	4,33	2,49
<input type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	24° N	4,62	5,15	4,72	4,62	4,12	3,99	4,03	4,78	4,33	4,40	4,60	4,95	4,53	1,16
<input type="checkbox"/>	Maior média anual	21° N	4,71	5,22	4,74	4,58	4,05	3,91	3,95	4,72	4,33	4,45	4,68	5,06	4,53	1,31
<input type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	33° N	4,32	4,90	4,62	4,67	4,28	4,20	4,22	4,90	4,29	4,23	4,32	4,59	4,46	,70

Fonte: CRESESB, 2024.

Para trabalharmos com folga, utilizaremos como base a instalação em 0°, considerado o cenário com menor irradiação dos apresentados na pesquisa. Dessa forma, os painéis poderiam ser instalados na horizontal em cima das vans. Na Figura 16, é apresentado um gráfico das médias mensais com a inclinação escolhida.

Figura 16 – Gráfico da média de irradiação



Fonte: CRESESB, 2024.

Para a estimativa da geração de energia elétrica do sistema fotovoltaico, é necessário considerar a quantidade de módulos, a potência nominal de cada módulo, a irradiação solar média diária do local e o fator de desempenho do sistema, que

contempla perdas por aquecimento, sujeira, cabeamento e eficiência dos equipamentos.

Com base nos dados coletados, temos:

Número de módulos: 3

Potência nominal de cada módulo: 330 Wp

Irradiação solar média diária no local: 4,33 kWh/m²

Fator de desempenho do sistema: 0,8 (correspondente a 20% de perdas)

A potência total instalada (Ptotal) é dada por:

$$P_{\text{total}} = 3 \times 330 = 990 \text{ Wp} = 0,99 \text{ kWp}$$

A geração diária estimada (Ediária) pode ser calculada por:

$$\text{Ediária} = 0,99 \times 4,33 \times 0,8 = 3,42936 \text{ kWh/dia}$$

Por fim a geração mensal (Emensal) considerando 30 dias é de:

$$\text{Emensal} = 3,42936 \times 30 = 102,8808 \text{ kWh/mês}$$

Considerando que o dia tem 24 horas e as Bases Comunitárias Móveis ficam expostas ao sol apenas durante seu turno de 12 horas diárias, vamos considerar apenas metade desses valores apresentados de geração. Sendo assim, teremos aproximadamente 1,72 kWh de geração diária e 51,44 kWh mensais. A Figura 17 mostra uma sugestão de instalação das placas solares na horizontal.

Figura 17 – Sugestão de montagem das placas



Fonte: dos próprios autores, 2025

É importante destacar que este valor corresponde a uma média estimada, baseada na irradiação solar média anual do local. Portanto, variações de radiação solar podem influenciar na geração real, aumentando ou reduzindo o valor mensal em determinados períodos do ano.

3.3.1 Inversores Solares

Conforme abordado anteriormente neste trabalho, os inversores solares desempenham um papel fundamental na construção de sistemas fotovoltaicos. A seguir, será apresentado em detalhes o equipamento escolhido, bem como seu funcionamento.

Nossa primeira definição importante, antes de detalhar as especificações técnicas, é explicar a diferença entre Inversores Solares On Grid e Off Grid.

O modelo On Grid é o mais utilizado, onde o inversor é usado para conectar um sistema fotovoltaico à rede da sua residência ou empresa, sendo projetado para desligar rapidamente caso a rede elétrica venha a cair.

O modelo Off Grid foi desenvolvido para sistemas fotovoltaicos que estejam desconectados da rede elétrica, ou seja, sistemas que usam baterias e normalmente estão em lugares que não possuem rede elétrica. Esses inversores podem variar de 150 W a 2000 W, dependendo da sua utilização e o quanto de potência irá ser necessário. (Portal Solar, 2025).

Visto a necessidade e dadas as circunstâncias da BCM, o inversor escolhido para ser utilizado é o Off Grid, levando em conta que o veículo permanece longe da rede elétrica a maior parte do dia.

De acordo com as pesquisas realizadas, o equipamento que mais atende às necessidades é o Inversor de Onda Senoidal Pura, da marca Intelbras. Com uma tensão nominal de 24 V, esse equipamento se transforma de forma alternada em 127 V e possui uma potência de 1500 W. Utiliza-se a energia gerada das baterias para alimentar produtos de uso residencial ou comercial, como eletrodomésticos, portáteis, iluminação, motores, entre outros. (Intelbras, 2022). Na Figura 18, há um exemplo do inversor escolhido para realização do projeto.

Figura 18 – Inversor solar OFF GRID



Fonte: Intelbras, 2022

Para melhor entendimento desse equipamento, as especificações técnicas estão presentes no Anexo D.

3.3.2 Controlador Solar

O controlador de carga é um dos componentes mais importantes de um sistema solar off-grid, pois é o responsável por preservar a vida útil das baterias, protegendo-as dos efeitos de sobrecarga. (Portal Solar, 2025).

Esse mesmo componente também é utilizado para armazenar energia excedente, diminuindo as perdas energéticas. De uma forma mais técnica, o controlador gera uma corrente de alimentação maior que a descarga do sistema, preservando o funcionamento da bateria. Além disso, esse componente tem como função compensar os fluxos de energia que ocorrem quando a bateria está sendo carregada e utilizada, um processo chamado de suspensão. Ele determina quando a bateria está fraca, protege contra sobrecarga e curto-círcito e é capaz de medir a temperatura e pressão do sistema.

O controlador de carga faz a intermediação entre o painel solar e a bateria, gerenciando informações sobre o funcionamento e otimizando o processo de armazenamento de energia em sistemas autônomos. (Portal Solar, 2025).

Para o dimensionamento do projeto e das placas solares, foi selecionado o controlador da Intelbras MPPT (Maximum Power Point Tracking), modelo ECM 4024, como mostrado na Figura 19. As especificações técnicas completas do equipamento estão disponíveis no Anexo C.

Figura 19 – Controlador de carga



Fonte: Intelbras, 2022

3.4 ESTAÇÕES DE RECARGA

Parte importante da pesquisa é levar em consideração o carregamento das baterias. Hoje, no Brasil e em boa parte do mundo, a disponibilidade de eletropostos e estações de recarga ainda é uma questão delicada e que precisa de mais atenção, pois não temos uma sólida estrutura para atender uma alta demanda de frota de veículos elétricos.

Existem diferentes modos de carregamento de veículos elétricos e híbridos plug-in, cada um com uma forma de conexão e variadas potências de carregamento, sendo em corrente alternada ou corrente contínua.

Começando com o Modo 1, geralmente mais comum para carregamento de bicicletas e motos elétricas, pois exige menos carga na bateria, é o modo em que o veículo é ligado diretamente na tomada de casa (CA), usando uma tomada comum de

110 V ou 220 V. No Modo 2, o carregamento também é feito direto numa tomada residencial, porém o que o diferencia do primeiro modo é a conexão, que agora é feita por um adaptador que garante uma maior potência de carregamento, geralmente até 4,4 kW, utilizando uma tomada de 220 V. Com esta potência, dependendo do uso do veículo, já pode ser razoável ter um veículo de passeio leve e mantê-lo carregado para o dia a dia.

Idealmente, para veículos de maior porte que, consequentemente, têm maiores baterias, recomenda-se o uso a partir do Modo 3. Este modo, ainda em corrente alternada, já entrega uma potência de carregamento consideravelmente maior. Geralmente com uma potência entre 4,4 kW e 22 kW, os carregadores de Modo 3 são estações de recarga comumente chamadas de *Wallbox*, apresentado na Figura 20, pois podem ser colocadas na parede de casa ou de um estabelecimento qualquer, a partir de uma estrutura de instalação.

Figura 20 - WALLBOX Intelbras



Fonte: Intelbras, 2025

Por fim, temos o Modo 4, o mais potente entre eles, pois oferece carregamento em corrente contínua. O Modo 4, também conhecido como eletroposto ou estação de recarga especial, é o modo que geralmente postos de combustível, que oferecem carregamento de veículos elétricos, possuem, podendo variar sua potência entre 22 kW e 300 kW, o que pode gerar um tempo de carregamento expressivamente mais rápido que os outros de corrente alternada. Porém, para ter essa opção de carregamento, precisa-se de uma instalação mais complexa, como uma cabine primária e alta disponibilidade energética no local.

No caso da E-Transit, idealmente usaremos uma estação de recarga Modo 3, que já deve ser o suficiente para suprir a demanda das BCMs. Para nosso estudo, consideramos a *Wallbox* da Intelbras de modelo EVE 0074H com 7,4 kW de potência de carregamento, a mesma apresentada na Figura 20. Com este carregador, estima-se que a bateria da E-Transit possa ser totalmente carregada (de 0% a 100%) em aproximadamente 9 horas e 10 minutos, o que atenderia com folga a necessidade da polícia militar.

3.5 CUSTOS

Para a análise de viabilidade da eletrificação das Bases Comunitárias Móveis, é fundamental considerar os custos envolvidos na aquisição e operação dos veículos. A seguir, são apresentados os principais custos relacionados aos modelos Sprinter e E-Transit, permitindo uma comparação direta entre as duas alternativas.

3.5.1 Custos da Sprinter

Atualmente, o 6º Batalhão da Polícia Militar utiliza uma van modelo Sprinter 415 CDI, conforme já mencionado anteriormente. Quando entregue ao batalhão, o veículo era novo e passou por adaptações específicas para atender às necessidades operacionais da corporação.

Conforme pesquisas realizadas, o valor pago na época pelo veículo já adaptado foi de aproximadamente R\$187.900,00, conforme registrado na Bolsa Eletrônica de Compras do Estado de São Paulo (2017). Atualizando esse montante com base no Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) acumulado no período, utilizando como base a Calculadora do Cidadão (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2025), estima-se que o custo atual do veículo seria de aproximadamente R\$272.094,70. Os valores podem ser visualizados com mais detalhes no Apêndice A.

Em entrevista com os membros da Polícia Militar, foi informado que a viatura apresenta uma quilometragem média diária de 50 km, totalizando aproximadamente 1.500 km percorridos por mês. O consumo médio de combustível é de 5,0 km por litro, resultando em um consumo mensal estimado de 300 litros de óleo diesel.

Considerando o valor de R\$6,50 por litro do óleo diesel S-10, o dispêndio mensal com combustível corresponde a R\$1.950,00.

Conforme informações fornecidas pela fabricante, a Sprinter 415 possui um consumo médio de 7,6 km/l em condições normais de tráfego urbano. Todavia, em virtude da natureza operacional da viatura policial, que inclui patrulhamento em baixas velocidades e permanência prolongada com o motor em funcionamento em pontos de estacionamento, o consumo médio é reduzido para aproximadamente 5,0 km/l.

O óleo lubrificante do motor é substituído a cada 5.000 km, o que, dada a quilometragem mensal, corresponde a uma troca a cada três meses. Emprega-se o óleo Mobil Super 5W-30, com um volume de 12 litros por troca. O custo total por troca de óleo é de R\$600,00, considerando o preço unitário de R\$50,00 por litro. Para fins de planejamento orçamentário, estima-se um custo mensal aproximado de R\$200,00 com óleo lubrificante.

Sendo assim, o custo mensal com manutenção básica e consumo de combustível deve ser de aproximadamente R\$2.150,00.

3.5.2 Custos do kit fotovoltaico

A seguir, são apresentados os valores estimados para aquisição e instalação dos módulos, inversores e controladores. Esses dados permitem uma análise de viabilidade em comparação aos custos atuais considerando tanto o investimento inicial quanto à relação custo-benefício a longo prazo.

Os principais componentes selecionados foram todos da fabricante Intelbras, visando padronização e compatibilidade entre os equipamentos. O módulo Intelbras EMS 330P, com potência de 330 Wp, apresenta um custo unitário médio de R\$892,86, considerando a utilização necessária dos 3 módulos, temos um custo de R\$2.678,57. Para o gerenciamento da carga e proteção do banco de baterias, foi incluído o Controlador de Carga Intelbras ECM 4024, que pode ser encontrado por volta de R\$1.200,00 em seu valor comercial e, com a isenção de Imposto de circulação de mercadorias e serviços (ICMS), temos o custo de R\$1.071,43. Já para a conversão da energia em corrente alternada, necessária para o funcionamento dos equipamentos da base, será utilizado o Inversor Solar Off Grid 1500 W Onda Senoidal Pura ISV 1501, também da Intelbras, cujo custo é estimado em R\$1.866,07. Também

deve ser levado em consideração a mão de obra de instalação do kit que, fazendo a cotação com a empresa Ampexx Energia, chegamos a um valor de R\$2.321,43. Com isso, totalizam R\$7.937,50 para a instalação do kit completo de painéis fotovoltaicos.

Esses valores servem como base para o dimensionamento financeiro do sistema e possibilitam uma análise mais precisa da viabilidade econômica da eletrificação das Bases Comunitárias Móveis com a instalação de placas solares.

Os valores podem ser visualizados detalhadamente no Apêndice B.

3.5.3 Custos do equipamento de recarga

Para o carregamento da bateria da E-transit, devemos levar em consideração os valores da estação de recarga e de sua instalação.

Conforme mencionado anteriormente, utilizaremos uma wallbox da Intelbras de modelo EVE 0074H. Considerando o valor comercial dessa estação de recarga, que é de R\$3.799,00, teremos um custo aproximado de R\$3.391,96 devido o desconto de isenção de ICMS. Além disso, há o custo de instalação da wallbox, que deve ser feito por um especialista para ter maior segurança e confiabilidade, por isso optamos pela instalação feita pela própria equipe da Intelbras, o que nos custaria R\$3.455,36. Somando os valores, o custo total para instalação da estação de recarga seria de aproximadamente R\$6.848,32. Os valores podem ser visualizados em mais detalhes também no Apêndice B.

3.5.4 Custos da E-Transit

A Ford E-Transit é um produto novo no Brasil e ainda não possui uma rotatividade considerável no mercado brasileiro, por esse motivo ainda não tem um valor apresentado pela Tabela FIPE. Diante disso, consideramos o valor apontado por Rodrigues (2024), cujo preço inicial apresentado do veículo deve custar algo em torno de R\$542.000,00. Considerando a isenção ICMS de 10,71% e um desconto concedido pela montadora de 12,59%, mesmos descontos aplicados no valor final da Sprinter, o valor da E-Transit para a frota policial ficaria em aproximadamente R\$415.657,04 em sua versão base, sem contar ainda com as modificações e adaptações da Base Comunitária.

Para o custo da E-Transit, deve-se levar em consideração os equipamentos necessários para o policiamento, como o giroflex, o rádio transceptor e até mesmo o grafismo, que são itens que já compõem a Sprinter. Além disso, vamos incluir os equipamentos adicionais mencionados anteriormente, como o frigobar e o filtro de água, por exemplo. Sabendo disso, deve-se acrescentar algo em torno de R\$113.127,70 referente aos custos dos equipamentos já existentes na base. Para os novos equipamentos, o custo estimado total é de R\$3.926,07. Somando todos os custos com equipamentos, teremos o valor de total de R\$117.053,77.

Além de todos os equipamentos mencionados, precisamos incluir o custo de instalação da estação de recarga que calculamos anteriormente: R\$6.848,32.

Para completar, em nosso estudo levamos em consideração o custo para instalação do kit de painéis solares, conforme mencionado no item 3.5.2, então deve-se adicionar um custo de R\$7.937,50. Então, atualizando o valor com todas as modificações e os painéis instalados, a E-transit custaria R\$547.496,63.

Agora, em vez do consumo de diesel como combustível, devemos considerar o consumo de energia elétrica utilizada no carregamento dos furgões. Para o cálculo, utilizamos como base o valor da tarifa residencial de energia elétrica pela Enel de São Paulo em setembro de 2024, que custava R\$0,6718 por kWh. Vale ressaltar que este valor não considera a taxação de impostos (Cereijo, 2024). Considerando os cálculos de consumo da bateria, conforme apresentando no item 3.1.2, a van deve consumir algo em torno de 27,76 kWh por dia. Entretanto, com os painéis solares instalados, eles devem suprir em média 1,72 kWh por dia, reduzindo o consumo considerado para recarga da van para 26,04 kWh. Sabendo disso, o custo diário de recarga fica em aproximadamente R\$17,49 e mensalmente o valor despendido total seria de R\$524,81.

Diferente dos veículos movidos à combustão interna, como é o caso da Sprinter, os veículos 100% elétricos não têm um custo de manutenção recorrente como a troca de óleo, por exemplo. Se bem cuidada, a E-Transit tende a ter um custo muito menor com manutenção, já que são necessárias muito menos reposições de fluidos e substituições de peças móveis.

Os valores podem ser visualizados com mais detalhes no Apêndice C.

CONCLUSÃO

Para estruturar de forma clara e objetiva a conclusão deste estudo, optou-se por dividi-la em três partes fundamentais, que permitem uma análise abrangente dos principais pontos abordados. A primeira parte refere-se ao comparativo, no qual são apresentados os valores obtidos ao longo do projeto, possibilitando uma avaliação técnica entre as opções analisadas. Em seguida, são apresentados os resultados obtidos, destacando o montante do investimento necessário e a viabilidade econômica da proposta de eletrificação das Bases Comunitárias Móveis. Por fim, a terceira parte aborda os próximos passos, projetando as perspectivas futuras com base nos dados discutidos, bem como as recomendações para continuidade e ampliação do projeto.

COMPARATIVO

Com base nos dados apresentados nos Apêndices B e C, estima-se que o investimento inicial necessário para a customização da Ford E-Transit seja de aproximadamente R\$545.175,20. Esse montante representa um custo cerca de duas vezes superior ao da Mercedes-Benz Sprinter atualmente em operação. No entanto, essa diferença deve ser analisada sob uma perspectiva de custo total de propriedade (TCO), contemplando não apenas o valor de aquisição, mas também os custos operacionais e de manutenção ao longo da vida útil do veículo.

Um dos principais fatores de impacto no TCO é o consumo energético. Conforme demonstrado no item 3.5.1, o custo mensal médio com diesel para a Sprinter é da ordem de R\$1.950,00. Em contrapartida, a E-Transit, com alimentação via sistema fotovoltaico (ver item 3.5.4), apresenta um consumo energético diário estimado de 27,76 kWh, resultando em um custo operacional diário de R\$17,49, ou R\$524,81 mensais. Isso representa uma redução de aproximadamente 73% dos custos de abastecimento em relação ao modelo a combustão.

Visa ainda esclarecer que, no comparativo não está sendo considerado os custos de manutenção do veículo elétrico, já que são utilizados equipamentos mais específicos.

Para a análise de viabilidade econômica foram considerados os seguintes parâmetros: valor de aquisição, custo de customização, despesas com energia (ou combustível) e custos de manutenção preventiva e corretiva. A partir desses elementos, é possível estimar o payback do investimento e identificar o horizonte em que a substituição por veículos elétricos passa a ser economicamente vantajosa, especialmente em cenários de médio e longo prazo.

RESULTADOS OBTIDOS

A eletrificação das Bases Comunitárias Móveis representa um avanço tecnológico significativo, alinhado às diretrizes de sustentabilidade e inovação no setor público. Apesar do elevado custo inicial de aquisição e customização dos veículos elétricos, os dados analisados demonstram que esse investimento pode ser compensado ao longo do tempo por meio da redução dos custos operacionais.

Para iniciarmos uma conclusão mais justa dos resultados obtidos, serão necessárias algumas comparações entre o atual veículo utilizado, a Sprinter, e a proposta do futuro, que seria a E-Transit.

Inicialmente, deve-se considerar o valor de aquisição da Sprinter, restringindo-se ao custo do veículo, conforme apresentado no Apêndice A. Em paralelo, é necessário analisar o valor atual da van elétrica, desprovida de quaisquer equipamentos adicionais, conforme especificado no Apêndice C. A diferença entre os dois valores corresponde a um investimento incremental de R\$256.690,04.

Com base exclusivamente nesse investimento inicial, verifica-se uma economia operacional mensal de R\$1.904,99. Essa projeção desconsidera o acréscimo de equipamentos e parte de um cenário com menor demanda energética da bateria. Nessa condição, estima-se um payback em aproximadamente 134 meses, equivalente a cerca de 11 anos.

Quanto às adaptações operacionais, a Sprinter atualmente em uso possui uma série de equipamentos essenciais à rotina policial. Para que a van elétrica alcance uma configuração funcional equivalente à base móvel existente, será necessário implementar ajustes técnicos específicos. O custo estimado dessas modificações é

similar ao valor do investimento adicional previamente citado, mantendo, portanto, o mesmo horizonte de retorno sobre o capital investido.

Para a conclusão do projeto, foi realizada uma consulta com soldados do batalhão a fim de compreender suas preferências e necessidades operacionais em relação ao novo veículo. Durante as entrevistas, foi identificado o interesse na inclusão de equipamentos que atualmente não estão presentes na BCM. A incorporação desses novos dispositivos implica maior demanda energética, resultando em um aumento no consumo da bateria elétrica e, consequentemente, nos custos operacionais.

Ainda assim, mesmo com os acréscimos, estima-se uma economia mensal de aproximadamente R\$1.625,19, considerando exclusivamente os custos com abastecimento e troca de óleo. Diante do investimento adicional entre os dois modelos, agora calculado em R\$273.080,50, o retorno sobre o investimento (payback) é estimado em cerca de 168 meses, o que equivale a aproximadamente 14 anos.

Na Figura 21, criada por Inteligência Artificial, ilustra outra sugestão de interior da van:

Figura 21 – Sugestão de interior da E-TRANSIT 2



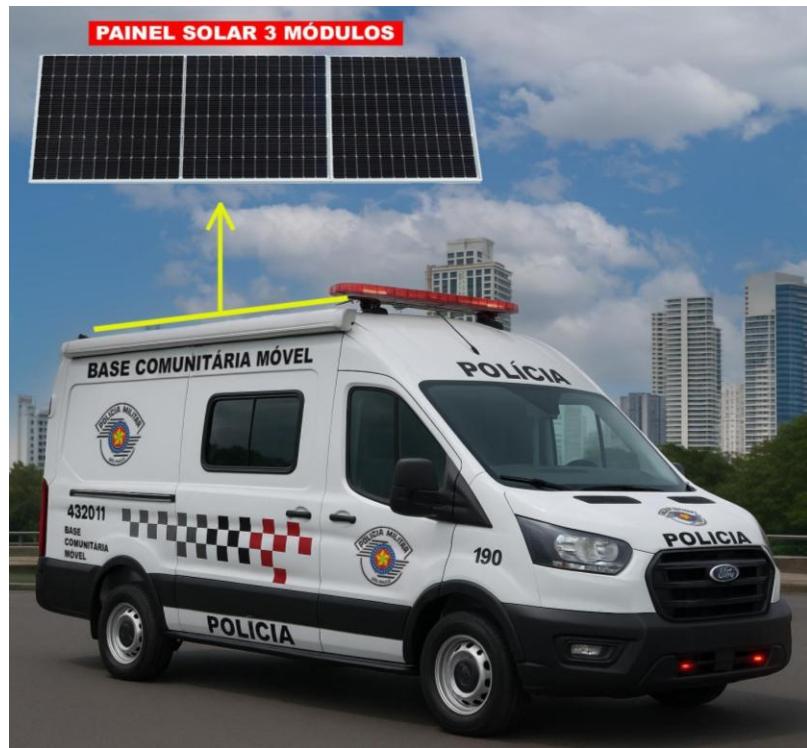
Fonte: dos próprios autores, 2025

É importante salientar que essa estimativa não contempla possíveis economias adicionais com manutenção preventiva e corretiva, que tendem a ser menores em veículos elétricos devido à simplicidade mecânica desses sistemas. Portanto, o

cenário real de retorno pode ser ainda mais favorável ao longo do ciclo de vida útil do veículo.

Além dos aspectos econômicos, o projeto de eletrificação contribui de forma expressiva para a redução das emissões de gases poluentes, promovendo um ambiente de trabalho mais sustentável e colaborando com políticas públicas voltadas à mitigação dos impactos ambientais. A energia solar fotovoltaica, adotada como principal fonte de recarga, reforça o compromisso institucional com o uso de fontes renováveis. A Figura 22 apresenta como ficaria a van com o painel solar instalado.

Figura 22 – Sugestão de design da E-TRANSIT



Fonte: dos próprios autores, 2025

Por outro lado, o estudo também identificou desafios técnicos, como a necessidade de adaptação dos equipamentos embarcados e a capacitação dos operadores para o uso eficiente dos sistemas solares. Esses fatores reforçam a importância de uma análise criteriosa quanto à viabilidade técnica e operacional da implantação em larga escala. Dessa forma, conclui-se que, embora se trate de um investimento a longo prazo, a eletrificação das Bases Móveis Comunitárias é uma

solução viável e estratégica, capaz de aliar eficiência operacional, responsabilidade ambiental e modernização institucional.

PERSPECTIVA DE CONTINUIDADE

A conclusão do presente trabalho abre espaço para novas frentes de pesquisa e desenvolvimento. A adoção de veículos elétricos não apenas torna mais sustentável a atuação da corporação, como também possibilita a integração de novas tecnologias e soluções operacionais. Um dos possíveis desdobramentos é o estudo da implementação de motocicletas elétricas como veículos de apoio às bases móveis. A utilização desse tipo de recurso já é uma realidade em países como a Espanha, onde, segundo o Portal Movilidad Eléctrica (2021), 22 motocicletas do modelo Zero DSR foram adquiridas pela Polícia Nacional e distribuídas em cidades como Santiago de Compostela, Granada, Madri, Valência, entre outras, esse modelo pode ser visualizado na Figura 23. Considerando a função estratégica das bases comunitárias, as motocicletas elétricas poderiam operar em conjunto com elas, ampliando a capacidade de atuação em campo e contribuindo para uma resposta mais ágil e eficiente. Ademais, conforme demonstrado neste estudo, ao final do expediente, ainda restaria carga na bateria da base móvel, o que permitiria a aplicação da tecnologia V2L (*Vehicle to Load*), possibilitando o carregamento, ao menos parcial, das baterias das motocicletas por meio da própria bateria da van, utilizando-a como fonte de energia.

Figura 23 – Motocicleta elétrica ZERO DSR



Fonte: Movilidad Eletrica, 2021

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APTIV. O que é veículo para carga? 2022. Disponível em:
<https://www.aptiv.com/en/insights/article/what-is-vehicle-to-load>. Acesso em: 19 abr. 2025.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. Calculadora do cidadão - Correção de valores. Disponível em:
<https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADAOPublico/exibirFormCorrecaoValores.do?method=exibirFormCorrecaoValores>. Acesso em: 7 mai. 2025.
- BOCCHI, N.; FERRACIN, L.C. e BIAGGIO, S.R. Estudo sobre o comportamento de baterias de lítio e chumbo-ácido: aspectos técnicos e de mercado. QNEsc – **Química Nova na Escola**, 2015. Disponível em:
<http://qnesc.sqb.org.br/online/qnesc11/v11a01.pdf> Acesso em: 08 out. 2024.
- BOLSA ELETRÔNICA DE COMPRAS - SP. Governo do estado de São Paulo. Disponível em:
https://www.bec.sp.gov.br/bec_pregao_UI/OC/pregado_oc_item.aspx?WfHcAft3HX0P01%2fGrWVGiJlcZKz4X2YFaM1u%2bWBt6pv3HaWwo9QcoiT1w9sjn3M0. Acesso em: 06 Mai. 2025.
- BOSCH, R. *Manual de Tecnologia Automotiva*. São Paulo: Blucher, 2005.
- CÂMBIO AUTOMÁTICO DO BRASIL. Inversores e Conversores em Veículos Híbridos e EV (Veículos Elétricos). 2024 Disponível em:
<https://cambioautomaticodobrasil.com.br/blog/inversores-e-conversores-em-hibridos-e-ev-veiculos-eletricos/>. Acesso em: 06 fev. 2025.
- CARROS NA WEB. Ficha Técnica Mercedes-Benz Sprinter Van 415 TA 2.2. Disponível em:
<https://www.carrosnaweb.com.br/fichadetalhe.asp?token=65af9313706edf7612e8a6de5cd8f1e5&codigo=9369> Acesso em: 23 fev. 2025
- CASTRO, B.H.R.; BARROS, D.C. e VEIGA, S.G. *Baterias automotivas: panorama da indústria no Brasil*. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES, 2013. Disponível em:
https://web.bnDES.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1511/3/A%20mar37_11_Baterias%20automotivas-panorama%20da%20ind%c3%bastria%20no.pdf Acesso em: 08 out. 2024.
- CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA (CRESES) / CEPEL. Potencial Solar – SunData v. 3.0. Rio de Janeiro: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica, s.d. Disponível em:
<https://www.creesb.cepel.br/index.php?section=sundata>. Acesso em: 15 abr. 2025.

CEREIJO, C. Quanto custa carregar um carro elétrico em casa? **Autoesporte**, 2024. Disponível em: <https://autoesporte.globo.com/servicos/noticia/2024/09/quanto-custa-carregar-carro-eletrico-em-casa.ghtml> Acesso em: 11 mai. 2025.

DENTON, T. **Veículos Elétricos e Híbridos**. São Paulo: Blucher, 2018.

DIAS, Daiane. Baterias e seu funcionamento: princípios da físico-química das baterias. **Manual da Química**. Sem data. Disponível em: <https://www.manualdaquimica.com/fisico-quimica/baterias.htm> Acesso em: 08 out. 2024.

EUDEMÁRIO. *Para que se faz a associação de placas fotovoltaicas ou baterias*. Eudemário – Engenharia, Energia Solar e Eletrônica, 19 mai. 2020. Disponível em: <https://www.eudemario.com.br/post/para-que-se-faz-a-associação-de-placas-fotovoltaicas-ou-baterias>. Acesso em: 10 fev. 2025.

FORD. Nova E- Transit Furgão. Disponível em: <https://www.ford.com.br/veiculos-comerciais/e-transit-furgao/> Acesso em: 23 fev. 2025.

GALESKI, A. Estudo sobre a viabilidade de aplicação do veículo elétrico na Polícia Militar do Paraná. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.9, n.2, p.8811-8828, feb., 2023. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/57669/42104> Acesso em 08. fev. 2024

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Setorização de policiamento: Base Comunitária Móvel (BCM)**. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/servicos-estaduais/setorizacao-de-policamento-base-comunitaria-movel-bcm>. Acesso em: 12 nov. 2024.

HUSAIN, I. **Electric and Hybrid Vehicles – Design Fundamentals**. Flórida: CRC Press, 2010.

INTELBRAS. Datasheet ECM 4024. 2022. Disponível em: <https://www.intelbras.com/pt-br/controlador-de-carga-mppt-off-grid-ecm-4024>. Acesso em: 15 abr. 2025.

INTELBRAS. Datasheet EMS 330P. 2022. Disponível em: https://backend.intelbras.com/sites/default/files/2022-03/Datasheet_EMS_330P_Frame_35mm_R1.pdf. Acesso em: 21 abr. 2025.

INTELBRAS. Datasheet ISV 1501. 2022. Disponível em: <https://www.intelbras.com/pt-br/inversor-solar-off-grid-1500-w-onde-senoidal-pura-isv-1501>. Acesso em: 15 abr. 2025.

INTELBRAS. Loja Intelbras. Disponível em: https://loja.intelbras.com.br/inversor-isv-1501/p?srsltid=AfmBOorNpWv_URhlzVzghAU5v4dEcyVX6EbOR3EIxVkBAG8r2wVT04Ze

Acesso em: 16 mai. 2025.

MANGUN. R.A. Análise da Viabilidade de Veículos Elétricos na Frota Policial.

Huntsville, TX: Sam Houston State University, 2014. Disponível em: <https://shsu-ir.tdl.org/server/api/core/bitstreams/079bcd55-7e4e-4d6e-932d-a79ee2158d0f/content>. Acesso em: 19 maio 2025.

MERCEDES-BENZ IMPRENSA. Mercedes-Benz entrega 164 unidades de Sprinter para o Governo do Estado de São Paulo. 2022. Disponível em: <https://imprensa.mercedes-benz.com.br/releases/mercedes-benz-entrega-164-unidades-de-sprinter-para-o-governo-do-estado-de-sao-paulo>. Acesso em: 15 mar. 2025.

NEOCHARGE. *Como melhores conversores CC-CA irão estimular a venda de carros elétricos.* [S. I.], 2024. Disponível em: <https://www.neocharge.com.br/blog/como-melhores-conversores-cc-ca-irao-estimular-a-venda-de-carros-eletricos>. Acesso em: 06 fev. 2025.

NEOSOLAR. Diferença entre Micro Inversor e Inversor String. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/microinversor/diferenca-micro-inversor-inversor-string>. Acesso em: 10 fev. 2025.

PMES. Polícia Militar recebe nove viaturas elétricas. Portal do Governo do Estado do Espírito Santo, [S. I.], 24 maio de 2024. Disponível em: <https://pm.es.gov.br/Not%C3%ADcia/policia-militar-recebe-nove-viaturas-eleticas>. Acesso em: 18 maio 2025.

PORTALR3. Polícia Militar de São Paulo inicia testes com viaturas elétricas.

São Paulo, 2021. Disponível em: <https://www.portalr3.com.br/2021/08/28/policia-militar-de-sao-paulo-inicia-testes-com-viaturas-eletricas>. Acesso em: 18 mai. 2025.

PORTAL SOLAR. Controlador de carga: o que é, qual a função, como funciona, tipos e quanto custa. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/controlador-de-carga>. Acesso em: 19 abr. 2025

PORTAL SOLAR. Microinversor ou inversor string: qual é a melhor escolha para o projeto solar? Disponível em:

<https://www.portalsolar.com.br/noticias/materias/microinversor-ou-inversor-string-qual-e-a-melhor-escolha-para-o-projeto-solar>. Acesso em: 6 out. 2024

PORTAL SOLAR. Placa Solar: como funciona, construção e modelos. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-placa-solar>. Acesso em: 5 out. 2024.

PORTAL SOLAR. Placa solar fotovoltaica: o que é e como funciona? Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/placa-solar-fotovoltaica-o-que-voce-precisa-saber>. Acesso em: 5 out. 2024.

Portal Movilidad Electrica. *Las nuevas motos eléctricas de la Policía Nacional.* 2021.
<https://movilidadelectrica.com/las-nuevas-motos-electricas-de-la-policia-nacional/>
Acesso em: 19 maio 2025.

RODRIGUEZ, H. Ford Transit elétrico estreia mais caro que Mustang Mach-E: R\$542.000. Quatro Rodas, 2024. Disponível em: https://quatrorodas.abril.com.br/carros-eletricos/ford-transit-eletrico-estreia-mais-caro-que-mustang-mach-e-r-542-000#google_vignette. Acesso em: 23 fev. 2025.

SWAN, Robert. *The greatest threat to our planet is the belief that someone else will save it*. [S.l.], [s.n.], [20-]. Frase atribuída. Disponível em: <https://www.robertswan.com> Acesso em: 22 out. 2024.

VIA CIRCULAR. Mercedes-Benz Sprinter 415 CDI. Disponível em:
<https://viacircular.com.br/chassis/mercedes-benz/sprinter-415-cdi/>
Acesso em: 23 fev. 2025

WEG. *Tração Elétrica – Inversor de Frequência CVW300*. Jaraguá do Sul, [2024]. Disponível em: https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Drives/Mobilidade-El%C3%A9trica/Ve%C3%ADculos-Leves---Empilhadeiras-e-Carros-de-Golf/Inversor-de-Frequ%C3%A3ncia-CVW300/Tra%C3%A7%C3%A3o-El%C3%A9trica---Inversor-de-Frequ%C3%A3ncia-CVW300/p/MKT_WDC_BRAZIL_ELECTRIC_TRACTION_FREQUENCY_INVERTE_R_CVW300. Acesso em: 22 mar 2025.

WOOD, D.L. Viability of Electric Vehicles in VPD Fleet. University of British Columbia. Vancouver, 2014. Disponível em: https://sustain.ubc.ca/sites/default/files/2014-06_Viability%20of%20Electric%20Vehicles%20in%20VPD%20Fleet_Wood%20%28final%29.pdf. Acesso em: 19 maio 2025.

APÊNDICES

APÊNDICE A - VALORES DETALHADOS DA MERCEDES BENZ SPRINTER

VALORES DO VEÍCULO

VEÍCULO	VALOR COMERCIAL	ISENÇÃO ICMS 10,71429%	DESCONTO 12,59%	VALOR FINAL
SPRINTER 415	R\$207.287,61	R\$22.210,66	R\$26.109,95	R\$158.967,00

VALORES DOS EQUIPAMENTOS E VALOR TOTAL

ITEM	VALOR COMERCIAL	ISENÇÃO ICMS	VALOR FINAL
SINALIZADOR SONORO	R\$4.695,23	R\$503,06	R\$4.192,17
SINALIZADOR LUM. PRIMÁRIO	R\$1.949,58	R\$208,88	R\$1.740,70
SINALIZADOR LUM. SECUND.	R\$1.949,58	R\$208,88	R\$1.740,70
MÓDULO DE CONTROLE	R\$6.173,66	R\$661,46	R\$5.512,20
TRANSCEPTOR MÓVEL	R\$35.742,24	R\$3.829,53	R\$31.912,71
GRAFISMO	R\$4.061,62	R\$435,17	R\$3.626,45
ESTOFADOS	R\$1.462,18	R\$156,66	R\$1.305,52
EQUIPAMENTOS DIVERSOS	R\$66.607,30	R\$7.136,50	R\$59.470,80
REVISÃO	R\$2.599,44	R\$278,51	R\$2.320,93
TREINAMENTO	R\$1.462,18	R\$156,66	R\$1.305,52
SUBTOTAL	R\$126.703,01	R\$13.575,31	R\$113.127,70

VALOR FINAL DA SPRINTER	R\$272.094,70
--------------------------------	----------------------

APÊNDICE B - VALORES DO KIT SOLAR E DA ESTAÇÃO DE RECARGA

VALORES DO KIT DE INSTALAÇÃO DA INTELBRAS

ITEM	VALOR COMERCIAL	ISENÇÃO ICMS	VALOR FINAL
MÓDULOS EMS 330P	R\$3.000,00	R\$321,43	R\$2.678,57
CONTROLADOR DE CARGA ECM 4024	R\$1.200,00	R\$128,57	R\$1.071,43
INVERSOR SOLAR ISV 1501	R\$2.090,00	R\$223,93	R\$1.866,07
INSTALAÇÃO	R\$2.600,00	R\$278,57	R\$2.321,43
TOTAL	R\$8.890,00	R\$952,50	R\$7.937,50

VALORES DA ESTAÇÃO DE RECARGA

ITEM	VALOR COMERCIAL	ISENÇÃO ICMS	VALOR FINAL
WALLBOX EVE 0074H	R\$3.799,00	R\$407,04	R\$3.392,96
INSTALAÇÃO	R\$3.870,00	R\$414,64	R\$3.455,36
TOTAL	R\$7.669,00	R\$821,68	R\$6.848,32

APÊNDICE C - VALORES DETALHADOS DA FORD E-TRANSIT

VALORES DO VEÍCULO

VEÍCULO	VALOR COMERCIAL	ISENÇÃO ICMS	DESCONTO	VALOR FINAL
E-TRANSIT	R\$542.000,00	R\$58.071,45	R\$68.271,51	R\$415.657,04

VALORES DOS EQUIPAMENTOS JÁ EXISTENTES

ITEM	VALOR COMERCIAL	ISENÇÃO ICMS	VALOR FINAL
EQUIPAMENTOS	R\$126.703,01	R\$13.575,31	R\$113.127,70

VALORES DOS NOVOS EQUIPAMENTOS

ITEM	VALOR COMERCIAL	ISENÇÃO ICMS	VALOR FINAL
NOTEBOOK	R\$2.600,00	R\$278,57	R\$2.321,43
FILTRO D'ÁGUA	R\$599,00	R\$64,18	R\$534,82
FRIGOBAR	R\$1.299,00	R\$139,18	R\$1.159,82
TOTAL	R\$4.498,98	R\$481,93	R\$3.926,07

VALORES DO KIT FOTOVOLTAICO

ITEM	VALOR COMERCIAL	ISENÇÃO ICMS	VALOR FINAL
KIT INTELBRAS	R\$8.890,00	R\$952,50	R\$7.937,50

VALORES DA ESTAÇÃO DE RECARGA

ITEM	VALOR COMERCIAL	ISENÇÃO ICMS	VALOR FINAL
WALLBOX INTELBRAS	R\$7.669,00	R\$821,68	R\$6.848,32

VALOR FINAL DA E-TRANSIT	R\$547.496,63
---------------------------------	----------------------

ANEXOS

ANEXO A - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DA MERCEDES-BENZ SPRINTER

- Motor OM651
- 4 cilindros em linha
- Injeção: direta
- Potência máxima: 146 cv a 3800 rpm
- Torque máximo: 330 Nm @ 1200 a 2400 rpm
- Torque específico: 15,7 kgfm/litro
- Potência específica: 68,1 cv/litro
- Direção: hidráulica
- Câmbio manual de 6 marchas
- Tração: traseira
- Suspensão dianteira: independente, McPherson
- Suspensão traseira: eixo rígido
- Freio dianteiro: disco ventilado
- Freio traseiro: disco rígido
- Volume do tanque de combustível: 75 L
- Velocidade máxima: 155 km/h
- Consumo urbano: 7,6 km/l
- Consumo rodoviário: 9,1 km/l
- Autonomia urbana: 570 km
- Autonomia rodoviária: 683 km
- PBT: 3880 kg (podendo variar conforme inclusão de opcionais)
- Distância entre-eixos: 3665 mm
- Comprimento: 5910 mm
- Balanço dianteiro: 1004 mm
- Balanço traseiro: 1240 mm

Fonte: Ficha Técnica Sprinter Mercedes Benz 2019.

ANEXO B - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS FORD E-TRANSIT

- Motor: 198 kW BorgWarner
- Potência: 198 kW / 269 cv
- Torque: 43,8 kgfm @ 0-4.000 rpm
- Velocidade máxima: 136 km/h (normal) / 110 km/h (eco)
- Bateria alta voltagem – capacidade útil: 68 kWh
- Bateria alta voltagem – configuração: Lí-ion NCM de 10 células reparáveis e refrigeradas individualmente
- Autonomia: 193 km (INMETRO)
- Carregamento: CA e CC (rápida) - plugue tipo 2 (padrão europeu)
- Carregamento CC – potência máxima: 115 kW - 80% em 35min
- Carregamento CA – potência máxima: 11kW - 100% em 8 hrs
- Transmissão: Automática de 1 velocidade
- Tração: Traseira
- Direção: Elétrica
- Suspensão dianteira: Independente, c/ molas helicoidais e barra estabilizadora
- Suspensão traseira: Independente, c/ molas helicoidais e barra estabilizadora
- Freios: Freios ABS à disco nas 4 rodas - dianteiros ventilados e traseiro sólidos
- Rodas: Aço 16 x 6.5 e Pneus 235/65 R16C 121/119 R
- Rodado: simples
- Comprimento total: 5981
- Largura total (com/sem espelhos): 2474/2059
- Altura máxima: 2769
- Distância entre-eixos: 3750
- Balanço dianteiro: 1023
- Balanço traseiro: 1208
- Volume máximo (m³): 11,5
- Capacidade de carga (kg): 78

Fonte: Ficha Técnica Ford E-Transit, 2025.

ANEXO C - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO MÓDULO FOTOVOLTAICO

- Modelo: EMS 330P
- Registro INMETRO: Registro 000325/2019 (Portaria nº004/2011)
- Dimensões das células: 156,75 * 156,75 mm
- Dimensões do módulo (L x A x P): 992 x 1960 x 35 mm
- Número de células: 72
- Peso: 22kg
- Comprimento do cabo: 1200 mm
- Diodos Bypass: 3
- Seção transversal do cabo: 4 mm²
- Material da estrutura: Liga de alumínio anodizado
- Grau de proteção (módulo / caixa de junção): IP68
- Temperatura de operação: -40°C - +85°C
- Carga de neve: Até 5400 Pa
- Carga de vento: Até 2400 Pa
- Condutividade do terra: $\leq 0,1\Omega$
- Resistência: $\geq 100M\Omega$
- Conector: Compatível com MC4
- Coeficiente de temperatura máxima (Pmax): -0,40%/°C
- Coeficiente de temperatura (Voc): -0,31%/°C
- Coeficiente de temperatura (Isc): +0,06%/°C
- Temperatura nominal da célula (NOCT): 45±2°C

Fonte: Intelbras, Datasheet EMS 330P, 2022

ANEXO D - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO INVERSOR SOLAR

- Modelo: ISV 1501
- Tipo de Onda (Saída AC): Onda Senoidal
- Tensão nominal de entrada (Vcc): 24
- Potência máxima (nominal) de saída (W): 1500
- Potência instantânea de pico suportada (W): 3000
- Tensão de saída (Vca): 127 (Tolerância de 5%)
- Corrente máxima de entrada (A): 76
- Tensão máxima de entrada (Vcc): 31
- Frequência de saída (Hz): 60
- Eficiência Máxima (%): 90
- Dimensões (mm): 405x108x230

Fonte: Intelbras, Datasheet ISV 1501, 2022.

ANEXO E - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO CONTROLADOR SOLAR

- Modelo: ECM 4024
- Máxima corrente de carregamento de bateria: 40A
- Máxima corrente na saída de carga: 20A
- Saída de carga: Não estabilizada, segue a tensão de carga/descarga da bateria
- Potência nominal de saída de carga: 240W (Sistema 12V); 480W (Sistema 24V)
- Máxima potência fotovoltaica: 550 W (sistema 12 V); 1100 W (sistema 24 V)
- Faixa de tensão fotovoltaica: 17 V á 75 V (sistema 12 V); 36 V á 75 V (sistema 24 V);
- Tensão do sistema (bateria): Reconhecimento automático 12 V / 24 V

Fonte: Intelbras, Datasheet ECM 4024, 2022.