

CUSTOS DOS SERVIÇOS DE TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS ELÉTRICO

METODOLOGIA DE
CÁLCULO E PARÂMETROS



OUTUBRO
2 0 2 3

CUSTOS DOS SERVIÇOS DE TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS ELÉTRICO

METODOLOGIA DE
CÁLCULO E PARÂMETROS



FICHA TÉCNICA

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS - ANTP

Ailton Brasiliense Pires

Presidente

Luiz Carlos Mantovani Néspoli

Superintendente

EQUIPE TÉCNICA

Fernando Fleury Filho

Sócio-diretor da Almeida & Fleury Consultoria em Economia Ltda.

Rodrigo Eduardo Dias Verroni

Engenheiro Civil/Escola Politécnica/USP,

Mestre em Transportes/UNICAMP e Consultor de Transporte

PROJETO GRÁFICO

DUO Design

ESPAÇO PARA FICHA
CATALOGRÁFICA

CUSTOS DOS SERVIÇOS DE TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS ELÉTRICO

METODOLOGIA DE
CÁLCULO E PARÂMETROS



OUTUBRO
2 0 2 3

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	7
1. INTRODUÇÃO	13
<i>O Método de Cálculo da ANTP de 2017</i>	<i>14</i>
<i>O complemento necessário na Planilha ANTP com o advento do ônibus elétrico</i>	<i>15</i>
<i>Alterações relevantes no cálculo de custo com a introdução do ônibus elétrico</i>	<i>15</i>
<i>Advertências</i>	<i>16</i>
<i>Fontes de Dados Utilizadas</i>	<i>18</i>
2. PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE SERVIÇOS DE TRANSPORTE PÚBLICO POR MEIO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS	21
a. <i>Identificação de linhas</i>	<i>22</i>
b. <i>Identificação do Modelo de Recarga do Veículo</i>	<i>24</i>
c. <i>Dimensionamento da Capacidade do Veículo</i>	<i>26</i>
d. <i>Identificação dos Pontos de Recarga</i>	<i>28</i>
3. ESTRUTURA DA PLANILHA DE CUSTOS	31
a. <i>Transição de Tecnologia Veicular – Custos Permanentes e Custos Modificados</i>	<i>32</i>
b. <i>Custos Variáveis (CV)</i>	<i>33</i>
i. <i>Consumo de Energia Elétrica (EE)</i>	<i>33</i>
ii. <i>Tarifas de Energia Elétrica</i>	<i>33</i>
iii. <i>Lubrificantes (CLB)</i>	<i>34</i>
iv. <i>Peças e Acessórios (CPA)</i>	<i>34</i>

c. Custo com Pessoal de Manutenção	34
d. Depreciação do Capital	35
i. Depreciação dos Veículos (DVE)	35
ii. Depreciação de Baterias (DB)	36
iii. Depreciação de Equipamentos de Energia e Recarga (DER)	36
iv. Depreciação da Infraestrutura (DI)	37
v. Remuneração do Capital Imobilizado	38
4. RECOMENDAÇÕES	41
5. ANEXOS	45
a. Anexo I: Coeficientes Propostos para Consumo e Preços de Energia Elétrica	46
b. Anexo II: Parâmetros propostos para o Consumo de Lubrificantes de Veículos Elétricos	49
c. Anexo III: Parâmetros propostos para o Consumo de Peças e Acessórios de Veículos Elétricos	50
d. Anexo IV: Principais modelos de veículos elétricos disponíveis no Brasil	51
e. Anexo V: Parâmetros propostos para Investimentos em Equipamentos e Sistemas de Carregamento	53
f. Anexo VI: Parâmetros propostos para Investimentos em Garagens e Infraestrutura ..	55



APRESENTAÇÃO

O país está assistindo à introdução do ônibus elétrico em experiências de projetos-pilotos em operação comercial nas redes de transporte público. Isso decorre do avanço desta tecnologia e da crescente busca pela redução de poluentes em todo o mundo, assunto presente nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)¹, como também no Acordo de Paris para Mudança do Clima (COP21).

A nascente indústria de ônibus elétrico está crescendo em muitos países, ampliando experiências, com alterações tecnológicas cada vez mais rápidas. No Brasil ela se encontra praticamente em fase de prototipagem, e ainda falta clareza suficiente para garantir segurança à indústria e aos prestadores de serviço de transporte, pois não houve tempo para se conhecer a fundo os indicadores de eficiência e de desempenho dos veículos em operação comercial nas condições das cidades brasileiras, e sua implantação ainda está envolta em dúvidas quanto a questões operacionais e empresariais não totalmente conhecidas.

Os custos operacionais da prestação de serviço de transporte público na grande maioria das cidades brasileiras ainda são remunerados por receitas provenientes do pagamento da tarifa pública pelos passageiros, o que aumenta a insegurança para empreender em ônibus elétricos, que têm preços maiores que os dos ônibus a diesel. No entanto, a intenção dos poderes públicos municipais em implantar o ônibus elétrico em suas cidades vem aumentando, com experiências das mais variadas, mas sem um conhecimento sobre as implicações importantes que isso representa.

Neste momento em que o país vem se preparando para concretizar a entrada do ônibus elétrico nas redes de transporte público, é fundamental que se conheça os custos dos serviços, uma vez que eles podem alterar o equilíbrio econômico e financeiro dos contratos em vigência, ou mesmo para que sejam mais bem calculados em licitações futuras.

Em 2017, a Associação Nacional de Transportes Públicos – ANTP publicou o documento denominado *Método de Cálculo dos Custos dos Serviços de Transporte Público por Ônibus*², um projeto desenvolvido em parceria com a Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos – NTU, a Frente Nacional de Prefeitos – FNP e o Fórum Nacional de Secretários e Dirigentes Públicos de Mobilidade Urbana. A elaboração do Método de Cálculo da ANTP foi realizada como uma proposta tangível às demandas surgidas no seio de um amplo movimento social de busca por transparência, governança e participação nas decisões públicas brasileiras, demandas expressas nas diversas manifestações de junho de 2013. Buscava-se, por um lado, trazer luz ao debate sobre o cálculo da remuneração de empresas prestadoras de serviços.

O Método de Cálculo da ANTP teve por referência o ônibus movido a diesel. O que se propõe neste novo documento é uma complementação ao Método de Cálculo, mantendo-se a sua estrutura lógica de cálculo do custo, mas procedendo à alteração nos itens relacionados com a especificação técnica do ônibus elétrico.

¹ Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável são um apelo global à ação para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e de prosperidade.

² Associação Nacional de Transportes Públicos: “Custos dos serviços de transporte público por ônibus: método de cálculo”. - São Paulo: ANTP, 2017. 191 p.:il. ISBN 978-85-86454-03-5.

O objetivo do *Método de Cálculo do Custo dos Serviços de Transporte Público por Ônibus Elétrico*, ora apresentado, um complemento ao Método de 2017, é o de servir como um instrumento de referência nacional para apoio à parametrização de custos do ônibus elétrico para que gestores públicos e operadores privados possam planejar e gerir seus sistemas de transporte público de forma justa e transparente. Dada a experimentação de novos protótipos e também da experiência em operação comercial nas cidades, é natural que o conhecimento irá se ampliar, novos dados e informações vão surgir, o que, por isso, é imperativo que periodicamente o documento venha a ser revisto, de forma a incorporar novos elementos e utilizar parâmetros mais condizentes em cada momento evolutivo.

Esse é o desafio que se pretende vencer no presente documento. Para atender a este objetivo, os três alicerces utilizados no Método de Cálculo para ônibus a diesel são mantidos inalterados. O documento compõe-se dos seguintes capítulos.

O **Capítulo 1** aborda de maneira introdutória uma descrição sucinta do Método de Cálculo para o ônibus a diesel, na forma como foi editado, para servir de referência comparativa para o novo cálculo, agora para o ônibus elétrico. Neste capítulo se aponta também os principais elementos de cálculo que mudam em razão da alteração de tecnologia e um conjunto de advertências em razão do estado em que se encontram as experiências e as informações técnicas no momento.

O **Capítulo 2** trata da sistematização dos processos de produção de serviços de transporte público de passageiros por meio de veículos elétricos, qual seja, o do planejamento operacional, diferenciando esses processos da produção tradicional por meio de veículos a diesel. O tipo de via utilizado no itinerário e os períodos de operação da linha de ônibus du-

rante o dia impactam o custo da energia elétrica, já que, diferentemente do preço do diesel, o preço dela depende do agente comprador, da tensão e do horário da compra, assim como de oscilações sazonais. Dependendo da via e do tráfego geral a que o ônibus está submetido, a baixa velocidade de circulação impacta a possibilidade de regeneração de energia pelos sistemas de frenagem, reduzindo a autonomia da bateria. Há diferenças significativas se os ônibus elétricos circulam em espaços segregados na via pública ou em meio ao tráfego geral, se são utilizados em linhas estruturais ou em linhas convencionais — radiais ou locais — ou alimentadoras de outros sistemas de transporte.

O **Capítulo 3** trata da estrutura da planilha de custos, que possui as mesmas bases da Planilha utilizada no Método de Cálculo publicado pela ANTP para ônibus a diesel, qual seja, a metodologia para custos variáveis, que dependem da quilometragem rodada, dos custos fixos, envolvendo basicamente a remuneração e depreciação do capital imobilizado, o custo da mão de obra e os custos administrativos e, ainda, aqueles derivados dos tributos envolvidos. Neste documento complementar são abordados exclusivamente os elementos de custos que são alterados por força da transição tecnológica.

No **Capítulo 4** encontram-se as recomendações que ressaltam a importância das etapas de planejamento e do acompanhamento na transição para a eletromobilidade de forma progressiva e não abrupta, considerando os impactos do modelo do planejamento operacional do ônibus elétrico retratado no **Capítulo 2**, para uma evolução paulatina que permita aos empreendedores “aprenderem” como o sistema funciona na prática do dia a dia. Há que se considerar também as flexibilidades nas estruturas contratuais para mensuração do desempenho, análise de custos, bem como do

compartilhamento de ganhos e perdas. Ainda, um aspecto relevante é o da instabilidade do custo de capital no início da transição, o que remete à necessidade de linhas de financiamento subvencionadas ou que haja participação do governo federal.

O documento é concluído com seis anexos. Os primeiros três anexos apresentam os parâmetros apurados para os índices de consumo dos elementos que compõem os custos variáveis, quais sejam, consumo de energia, consumo de lubrificantes e consumo de peças e acessórios. No quarto anexo é detalhada a tipologia dos veículos disponíveis e produzidos por fabricantes nacionais. O quinto anexo esmiuça os componentes dos investimentos em equipamentos e sistemas derivados do modelo de transporte por ônibus elétricos, e o sexto apresenta as modificações necessárias da infraestrutura física das garagens e terminais.

Todo o processo de cálculo do custo está desenvolvido em Excel no formato de planilha com simulador para que possa ser utilizado nas mais variadas condições de projeto.



1. INTRODUÇÃO

O MÉTODO DE CÁLCULO DA ANTP DE 2017

O objetivo central do método de cálculo dos custos do transporte público coletivo de passageiros proposto pela ANTP em 2017 foi o de proporcionar um instrumental de referência nacional atualizado, em substituição à antiga planilha Geipot, de maneira que pudesse apoiar as municipalidades, particularmente aquelas que por diversas razões não detivessem um corpo técnico especializado na gestão de sistemas de transporte público. O instrumental proposto foi então elaborado de maneira a oferecer um método universal, com parâmetros de referência nacionais, deixando claro e transparente o cálculo de custos operacionais, de maneira que pudesse também atender ao cálculo correspondente à definição de tarifas técnicas que equilibrassem a prestação de serviços por parte das empresas operadoras.

Tendo por base esses objetivos, o Método de Cálculo da ANTP foi construído sobre três alicerces principais. O primeiro alicerce é a macroestrutura metodológica utilizada para o cálculo de custos do sistema. Essa estrutura metodológica procurou definir:

- a. Quais custos são parte da estrutura operacional de uma empresa prestadora de serviços públicos de transporte coletivo de passageiros em meio urbano, definindo desde questões como o porte de ativos imobiliários utilizados como infraestrutura operacional, garagens e centros de manutenção, até as bases de dimensionamento do quadro de pessoal, incluindo cargos e atribuições. A estrutura de custos pressupõe a combinação entre uma visão de processos internos e externos gerados na produção dos serviços de transporte e, em complemento, uma visão sobre o conjunto de ativos materiais demandados para que esses processos sejam adequadamente realizados, conforme os parâmetros definidos pelas municipalidades.

- b. Em contrapartida, definir quais custos eventualmente incorridos por empresas operadoras não seriam contabilizados como custos remuneráveis, a exemplo de custos institucionais associados a eventuais litígios com terceiros, custos decorrentes de processos trabalhistas, custos com multas e outras sanções de caráter administrativo, comuns a empresas do setor, mas que não justificariam sua cobrança face aos tomadores dos serviços.
- c. Quais elementos de riscos, e sua respectiva implicação na forma de custos, deveriam ser considerados no cálculo do valor remuneratório das empresas prestadoras de serviços, tendo em vista tais custos não haverem sido contabilizados na forma de despesas diretas apropriadas no primeiro conjunto de custos.

A partir da consolidação da macroestrutura metodológica, o segundo alicerce do Método de Cálculo da ANTP foi a proposição de um conjunto de parâmetros de consumo, fatores de utilização e indicadores de produtividade que traduzem em números a visão operacional construída na base metodológica da planilha. Os parâmetros sugeridos na Nova Planilha de Custos basearam-se na observação sistematizada e crítica dos dados apurados com gestores municipais, metropolitanos e operadores privados de transporte público que participaram do processo de construção da Nova Planilha.

O terceiro alicerce do Método de Cálculo da ANTP são as referências propostas para as fontes de preços públicos de determinados itens, como valor de combustível ou salários de motoristas de ônibus, assim como a metodologia para apuração de preços de itens que não dispõem de preços públicos, como veículos e infraestrutura operacional. Essas duas metodologias são complementadas com a sugestão de parâmetros para outros itens como custos administrativos.

Com base nesses três alicerces, o Método de Cálculo da ANTP permitiria ao gestor de qualquer município ou região metropolitana, como de fato permitiu, e hoje se observa como referência em muitos processos licitatórios e também de apoio a reajustes e revisões tarifárias em todo o país: (i) definir o conjunto de fatores que deverão ser remunerados em favor do operador que presta os serviços de transporte público coletivo de passageiros, (ii) identificar parâmetros de produtividade aplicáveis a esse conjunto de fatores remuneráveis, e (iii) levantar em fontes públicas ou por meio de metodologia própria os preços necessários para que se complete esse processo.

O COMPLEMENTO NECESSÁRIO NA PLANILHA ANTP COM O ADVENTO DO ÔNIBUS ELÉTRICO

Ao universalizar o conhecimento sobre os processos de montagem do Método de Cálculo da ANTP, procurou-se garantir a transparência e a abertura do diálogo a toda a sociedade, deixando abertura para ser complementado e atualizado frente à introdução de novas tecnologias.

Transcorridos alguns anos da publicação do Método de Cálculo da ANTP, observa-se no país o desafio de implementação de uma transição para uma nova matriz energética no setor de transporte público, tendo em vista a necessidade de atender aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas - ONU, sobretudo dos acordos internacionais sobre o clima assinados pelo Brasil, fato que já vem sendo observado sistematicamente em algumas cidades brasileiras, com projetos-pilotos introduzindo o ônibus elétrico nos serviços de transporte público, cujas experiências de investimentos e custos não são inteiramente conhecidas das autoridades e gestores públicos, bem como dos prestadores de serviço. São experiências que não geram conhecimentos e referências

universais que possam ser transpostas de uma localidade para outra.

Por essa razão, é muito oportuno que o Método de Cálculo da ANTP, elaborado em 2017 para serviços de transporte público por ônibus movidos a diesel, venha a ser complementado metodologicamente com informações que reflitam o estado da arte da aquisição, operação e monitoração da prestação de serviço por esse tipo de tecnologia, tendo em vista que parte da análise de custo não deriva mais de motores a combustão, mas de veículos elétricos, com alterações profundas em vários aspectos da elaboração de custo, esclarecendo, no entanto, que a estrutura metodológica do documento atual da ANTP é mantida integralmente em sua lógica. Trata-se, apenas, de verificar o método de calcular custos em itens específicos introduzidos pela nova tecnologia na análise geral de custo do serviço de transporte público.

ALTERAÇÕES RELEVANTES NO CÁLCULO DE CUSTO COM A INTRODUÇÃO DO ÔNIBUS ELÉTRICO

Chassi

O primeiro item com alterações importantes é o chassi. Concebido para suportar baterias elétricas pesadas, o chassi do ônibus elétrico traz alterações significativas em relação ao chassi do ônibus a diesel. Uma delas é a alteração do seu peso sobre eixos. Há também modelos de motores elétricos, um central, por eixo, ou um para cada roda de tração, que também alteram a estrutura do chassi, e também se são sistemas com regeneração de energia ou não. Essas alterações impactam o custo final do chassi com relação ao utilizado em ônibus a diesel das mesmas dimensões. A alteração do chassi vai exigir adaptações nos projetos de carroceria, mas cujo impacto final no custo não é muito diferente daquele das carrocerias de ônibus a diesel.

Bateria

O segundo item que altera a formulação do custo é a bateria elétrica, um elemento novo em razão do motor elétrico. Claro que há ônibus elétricos que captam a energia elétrica exclusivamente via cabos elétricos em catenária. Neste documento, entretanto, foram consideradas as alternativas de ônibus elétrico a bateria com carga do tipo “plug-in”, os veículos com carga via catenária e os veículos com carga via ultracapacitores, entendendo que estes serão os modelos de ônibus elétricos predominantes no país. O desenvolvimento atual conduz a alguns modelos de bateria que diferem entre si em função da carga que podem armazenar, das suas dimensões e peso, e do tempo de autonomia. Além do custo da energia elétrica (consumo), a bateria deve ser tratada na elaboração de custo como um ativo, um capital imobilizado, que deve ser remunerado e depreciado ao longo do contrato de prestação de serviço.

Equipamentos e infraestrutura para recarga de bateria

O terceiro item que sofre alteração é o sistema de abastecimento. Enquanto para o ônibus a diesel o abastecimento é de tecnologia bem definida e largamente experimentada (bomba de combustível), cujo carregamento é muito rápido, os equipamentos de carregamento de veículos elétricos ainda estão em fase de amadurecimento tecnológico. A infraestrutura elétrica necessária para suportar o carregamento de baterias constitui um item de grande importância e difícil padronização. A depender da capacidade dos carregadores instalados e do número de veículos que estarão em processo de recarga de forma simultânea, a reforma dos sistemas elétricos poderão implicar a implantação de subestações de média capacidade que demandarão autorizações específicas, projetos particularizados, análise da rede de transmissão, além dos custos dos equipamentos em si.

Garagem

O quarto item é a adequação necessária da garagem para abrigar os ônibus elétricos a bateria, que requer a criação de áreas específicas e instalações adequadas para o estacionamento dos ônibus e o carregamento das baterias, como cobertura, maior distanciamento entre ônibus, equipamentos específicos e a inclusão de profissionais com formações específicas para atuar nos processos associados aos veículos elétricos, tais como na manutenção preventiva e corretiva de veículos e das instalações.

Devido à diversidade de situações e da relevância em relação ao custo, esses itens são especificados em maiores detalhes nos **Anexos**.

ADVERTÊNCIAS

É importante observar que o Brasil está na fase embrionária de introdução do ônibus elétrico na prestação de serviço de transporte público. O processo de produção do transporte envolve tradicionalmente quatro atores fundamentais.

- O poder público, responsável constitucional por prover o transporte público para a população em padrões de qualidade, a custos modestos para suas características de universalidade, mas também, no seu âmbito de ação, pela infraestrutura (vias, terminais, estações, pontos de embarque e desembarque, entre outros), pela qualidade do ar que a população respira e também pela qualidade do clima global.
- A indústria nacional, responsável por produzir ônibus dentro das especificações estabelecidas por normas técnicas e pelo poder público concedente dos serviços.
- O operador, responsável por colocar à disposição da população os serviços de transporte público, na qualidade e eficiência estabelecida pelas normas, regras e especificações dos serviços conforme definido pelo poder público.

- O agente financiador, responsável por estabelecer linhas de crédito em condições satisfatórias de prazos e juros que possam permitir o financiamento da infraestrutura e da frota necessárias, e assim a manutenção da sua qualidade ao longo de todo o período de contrato.

Na fase de transição de ônibus diesel para ônibus elétrico há impactos distintos entre os atores. Para a indústria nacional, organizada e estruturada para produzir em escala ônibus a diesel, é necessário o domínio da nova tecnologia para produção do protótipo, fazer os testes necessários e rever a planta de fabricação, o que requer tempo e muito recurso. Para produzir a preços razoáveis, a indústria precisa de produção em escala, que, por sua vez, depende da demanda de aquisição de veículos.

Para os operadores, as alterações implicam em riscos elevados relacionados primeiro com o conhecimento da nova tecnologia, mas também com o conhecimento dos indicadores de desempenho e de custo. Considerando que no país predominam os contratos cujos custos operacionais são pagos pela receita vinda dos passageiros que pagam a tarifa pública, os riscos de empreender com elevados custos de aquisição de ônibus e com as incertezas ainda sobre o seu desempenho vêm impondo cautelas ao setor.

O agente financiador condiciona os empréstimos a garantias de pagamento, que muitas vezes desestimulam operadores que veem riscos decorrentes de receitas que dependem da demanda e da tarifa pública, riscos contratuais e na alteração do modelo de operação e da aquisição de tecnologias que não são do seu profundo conhecimento.

A introdução de uma nova tecnologia com esse nível de impacto nos processos vigentes há anos, ainda com um conhecimento incipiente da sua eficiência e desempenho,

requer uma política nacional para sua implementação, cuja participação do governo federal é imprescindível.

Outra advertência importante é sobre os dados utilizados na elaboração dos cálculos neste documento. O desenvolvimento do ônibus elétrico no mundo e especialmente no Brasil está em sua fase de nascimento, com muitas incertezas que só serão equacionadas plenamente com a experiência prática, a qual ainda é muito incipiente.

Esse processo de nascimento/crescimento de uma nova tecnologia vem conduzindo a uma diversidade de maneiras de organizar os vários componentes constituintes do processo de produção dos serviços de transporte por ônibus e se apresenta ainda com amplas variações sobre os parâmetros de desempenho e eficiência entre os fornecedores.

Tais condições estão também produzindo disparidade de preços que são tornados públicos de maneira difusa ainda. Por se tratar também de um ambiente industrial de grande competitividade, reporta-se dificuldade de obtenção de informações aprofundadas sobre alguns tipos de indicadores.

No entanto, pela ampla pesquisa realizada, pelas visitas aos fornecedores, encontros com equipes técnicas das indústrias, do setor empresarial da operação e ainda de órgãos públicos, é importante ressaltar que os dados utilizados neste documento neste momento refletem razoavelmente o que está sendo proposto no mercado. Naturalmente, aumentando-se a produção de veículos, ampliando-se as experiências pilotos no país, crescendo a participação dos ônibus elétricos na frota total de sistemas em cidades de diferentes portes demográficos e níveis de oferta de serviço e criando-se possibilidade de escalar a produção, os valores dos parâmetros sem dúvida vão mudar, o que requer que o documento seja re-

visitado periodicamente para melhor refletir, a cada momento, as novas condições.

FONTES DE DADOS UTILIZADAS

A elaboração do presente documento partiu da construção de uma ampla base de dados, realizada a partir de fontes primárias e secundárias. Como fontes primárias foram realizadas reuniões específicas para levantamento de dados com³:

- Os principais fabricantes de veículos elétricos e seus componentes, de acordo com as diversas configurações que esta indústria assume.
- Operadores que possuem experiência pontual ou constante com a operação de veículos elétricos.
- Gestores públicos de municípios ou regiões metropolitanas que estejam em fase de pla-

nejamento, implantação ou operação experimental de veículos elétricos.

As fontes secundárias consideraram:

- Dados disponibilizados sobre a operação de sistemas com preponderância de veículos elétricos, como Santiago do Chile e Bogotá, na Colômbia.
- Artigos publicados por entidades envolvidas diretamente com a transição para eletromobilidade, como o C40 (Organização dos gestores públicos das cidades que buscam o protagonismo no combate às mudanças climáticas), ZEBRA (*Zero Emission Bus Resource Alliance*), Governo Federal do Brasil, Banco Mundial, Banco Interamericano de Desenvolvimento e Ministério das Cidades.
- Artigos publicados por pesquisadores envolvidos com as novas tecnologias veiculares.

³ As entrevistas e dados obtidos com as fontes primárias deram-se em caráter sigiloso.



2. PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE SERVIÇOS DE TRANSPORTE PÚBLICO POR MEIO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

Neste capítulo são apresentadas as principais diferenças entre os processos de produção de serviços de transporte público por meio de veículos a diesel e veículos elétricos. O detalhamento desses processos não necessita de maior aprofundamento quando se trata do dimensionamento de custos utilizando veículos a diesel, mas tal fato não é observado quando da operação de veículos elétricos. Alguns dos elementos que levam a essa distinção são, entre outros:

- O combustível de veículos elétricos, eletricidade, possui preços que variam de acordo com o tipo de contrato que se firma, se de curto ou de longo prazo, com o agente comprador, com a tensão de compra e com o horário de carregamento.
- O tempo de abastecimento de um veículo elétrico, que pode variar de menos de um minuto a mais de quatro horas.
- A autonomia de veículos elétricos, que é usualmente inferior à autonomia de veículos a diesel.

- A possibilidade de que veículos elétricos regenerem energia no processo de frenagem.

Por tais razões, diferentemente da tecnologia a diesel, o cálculo do custo dos serviços de transporte público urbano que se vinculam a veículos elétricos depende da elaboração prévia de um plano operacional aprofundado. O planejamento operacional de veículos elétricos deve atender aos seguintes passos:

a. Identificação de linhas

Veículos elétricos podem ser utilizados de forma exclusiva ou combinada com veículos a diesel na produção de serviços de transporte público de passageiros. Caso a opção seja em favor do uso combinado, será necessário definir inicialmente em quais linhas do Sistema de Transporte Público do Município ou da Região Metropolitana os veículos elétricos serão utilizados. Como tipologia de linhas, pode-se adotar três critérios:

QUADRO 1: Tipologias de Linhas para Alocação de Veículos Elétricos

TIPOLOGIA	CARACTERÍSTICAS
Linhas com priorização do tráfego para o ônibus	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas BRT, Corredores ou faixas exclusivas. • Total ou parcialmente segregada do trânsito de veículos individuais. • Maior velocidade média. • Início ou término em infraestruturas urbanas como Terminais.
Linhas em Áreas Centrais	<ul style="list-style-type: none"> • Trânsito em vias compartilhadas com veículos individuais. • Elevado número de cruzamentos. • Baixa velocidade média. • Possibilidade, mas não obrigatoriedade, de início ou término em Terminais.
Linhas Alimentadoras ou em Áreas Não Centrais	<ul style="list-style-type: none"> • Trânsito em vias compartilhadas com veículos individuais. • Número de cruzamentos variável. • Velocidade média intermediária. • Usualmente início em viário público ou em infraestruturas de pequeno porte e possibilidade de término em Terminais ou infraestruturas de maior porte.

A escolha das linhas em que serão utilizados os veículos elétricos é resultado de uma ponderação de fatores que deverá incluir:

- **Preferência por linhas de maior velocidade:**

uma vez que os veículos elétricos possuem a possibilidade de regenerar energia, o consumo total diminui e a autonomia eleva-se em linhas que possuem maior velocidade comercial máxima, pois a regeneração de energia no processo de frenagem é mais eficiente.

Deve-se dar preferência a linhas que viabilizem o desenvolvimento de velocidades comerciais máximas acima de 20 km/h com a maior frequência. Uma vez atingido este marco, a frenagem contribuirá para a regeneração de energia.

Linhas que circulem com elevada velocidade média por segmentos longos terão menor eficiência, pois a ausência de frenagem não resultará em regeneração de energia, aumentando o consumo e reduzindo a vida útil das baterias.

- **Preferência por linhas que iniciem e/ou terminem em terminais:**

os veículos elétricos à bateria poderão passar por uma “recarga de oportunidade”, isto é, uma carga da bateria que se realiza por um período limitado de tempo e que não completa o ciclo de carregamento, mas viabiliza a ampliação de sua autonomia.

A recarga de oportunidade eleva a autonomia diária de circulação do veículo e amplia a vida útil da bateria.

Os terminais são localidades adequadas para a instalação de infraestrutura para a recarga de oportunidade.

- **Preferência por linhas em áreas centrais:**

os benefícios socioambientais decorrentes da utilização de veículos elétricos, eliminação

da emissão de gases poluentes e materiais particulados, redução de poluição sonora e outros, são mais relevantes nas áreas centrais dos municípios por seu maior adensamento do que seriam observadas em regiões menos densamente ocupadas.

A operação realizada de forma exclusiva por veículos elétricos ou combinada com veículos a diesel resulta em uma segunda diferença relevante sobre o planejamento dos serviços, o dimensionamento da frota reserva. Veículos do tipo “plug-in”, ou seja, que não contem com carga realizada por catenária ou por ultracapacitor, demandam tempo relevante para a realização de uma carga completa de suas baterias, e, dependendo das condições operacionais planejadas, a autonomia diária de apenas um ciclo de carregamento poderá ser insuficiente para o atendimento da oferta de viagens. Nessas situações, poderá ser necessário ampliar a frota reserva para que esses veículos entrem em operação enquanto os demais veículos encontram-se em etapa de carregamento, sendo possível mitigar parcialmente esse sobrecusto com as denominadas recargas de oportunidade.

Em situações particulares, nas quais o planejamento da operação de um corredor foi realizado exclusivamente com veículos elétricos sem a recarga de oportunidade, o dimensionamento operacional resultou no cálculo da necessidade de frota reserva de aproximadamente 20% da frota operacional, devido à necessidade de recarga ao longo do dia. O dimensionamento combinado entre veículos elétricos e veículos a diesel, ou a realização de carregamentos de oportunidade em pontos terminais, reduziria a necessidade de veículos reserva para aproximadamente 7,0% da frota operacional, nos moldes expostos no *Método de Cálculo dos Custos dos Serviços de Transporte Público por Ônibus* (ANTP, 2017).

b. Identificação do Modelo de Recarga do Veículo

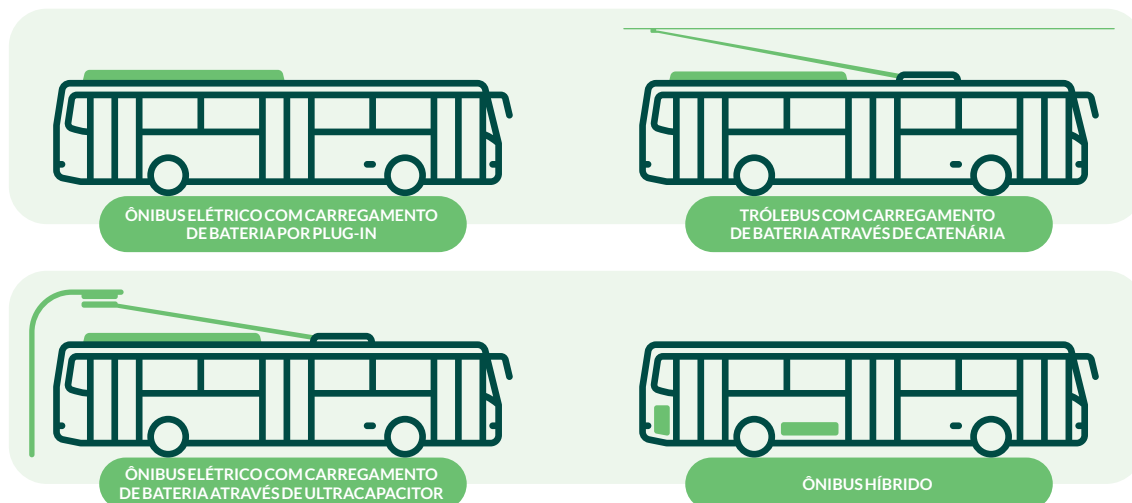
Existem quatro tipos de ônibus elétricos que poderão ser utilizados na produção de serviços de transporte público, classificados de acordo com o método de recarga das baterias.

QUADRO 2: Tipologias de Veículos Elétricos Disponíveis no Brasil de Acordo com o Método de Recarga de Baterias

TIPOLOGIA	CARACTERÍSTICAS
Veículo de carga direta por sistema de plug-in	<ul style="list-style-type: none"> Exclusivamente movido a energia elétrica. Alimentação da bateria por meio de conexão direta com a rede elétrica através de carregadores plug-in.
Trólebus	<ul style="list-style-type: none"> Exclusivamente movido a energia elétrica. Alimentação via ligação entre pantógrafo e catenária conectada à rede aérea. Trólebus modernos possuem um conjunto de baterias que permite a utilização do veículo de forma desconectada da rede de energia por trajetos de mais de 40 km.
Veículo carregado por ultracapacitor	<ul style="list-style-type: none"> Exclusivamente movido a energia elétrica. Alimentação via transmissão de energia por meio de ultracapacitores instalados em terminais e eventualmente pontos de parada. Conta com um conjunto de baterias que garante a autonomia para movimentação do veículo entre os pontos de recarga.
Veículos híbridos	<ul style="list-style-type: none"> Veículos que combinam motor a combustão com motor elétrico. Alimentação da bateria por meio da energia gerada pelo motor a combustão.

A figura a seguir exemplifica a configuração de diferentes tipos de ônibus elétricos.

FIGURA 1: Ilustração de Veículos Elétricos Disponíveis no Brasil



Recentemente observou-se a avaliação de ônibus elétricos movidos a hidrogênio, que utilizam pilhas a combustível para estocagem de energia. As pilhas a combustível convertem energia química do hidrogênio em energia elétrica por meio da reação com um oxidante, o oxigênio. Não há dados disponíveis sobre veículos elétricos a hidrogênio em operação, de forma que essa tecnologia não foi detalhada no presente estudo.

Os veículos híbridos possuem operação mais simples, uma vez que a recarga não depende de uma conexão com a rede elétrica externa, realizada por meio de sistemas de “plug-in”, catenária ou ultracapacitores. Contudo, possuem custo mais elevado de aquisição, devido à combinação entre um motor a combustão e um motor elétrico, e benefícios socioambientais limitados, uma vez que não atendem aos princípios de não emissão de poluentes e materiais particulados.

Deve-se notar que os trólebus e os ônibus dotados de ultracapacitores não necessitam estar continuamente conectados à rede de alimentação elétrica. Os veículos possuem autonomia de circulação de cerca de 40 km ou mais, a depender do conjunto de baterias que seja carregado por meio de pantógrafos ou ultracapacitores. Assim, a rede de alimentação constituída por catenárias e subestações pode estar concentrada em determinados segmentos das linhas atendidas.

A escolha dos veículos deve ser realizada de acordo com os seguintes critérios:

- Veículos carregados por meio de catenárias ou ultracapacitores possuem trajetos rígi-

dos. Sem flexibilidade operacional, devem ser utilizados preferencialmente ou exclusivamente em corredores ou em linhas que possuam elevado nível de segregação em relação ao tráfego individual.

As catenárias e carregadores por ultracapacitor representam investimentos em sistemas complementares proporcionalmente elevados em comparação ao custo de aquisição de veículos. Por esta razão, recomenda-se que essas tecnologias sejam adotadas somente em linhas onde exista uma escala mínima de veículos que compense o investimento fixo.

Veículos carregados por meio de ultracapacitores necessitam fazer paradas em cada ponto de recarga, de forma que seu uso é recomendado para linhas nas quais exista demanda distribuída ao longo de seu trajeto; portanto, em que estejam previstas paradas com mais de um minuto como necessidade emanada da rede de transporte e não somente uma necessidade operacional do veículo.

- Veículos a bateria possuem maior autonomia e flexibilidade operacional, porém necessitam de recarga extensa a ser realizada entre viagens, seja uma recarga de ciclo completo, seja uma recarga de oportunidade. Assim, o uso exclusivo de veículos a bateria no sistema de transporte público ou em uma determinada linha poderá elevar a necessidade de frota reserva em decorrência da indisponibilidade dos veículos que estão em processo de carregamento.

O quadro a seguir sintetiza a tipologia de recarga a ser selecionada pelo Município.

QUADRO 3: Vantagens e Desvantagens de Tipologias de Recarga

TIPOLOGIA DE RECARGA	CUSTO FIXO	CAPACIDADE DE RECARGA (KW)	TAMANHO DA BATERIA (KWH)	TEMPO E VELOCIDADE DE RECARGA	PRÓS	CONTRAS
Plug-in	Médio: Instalações elétricas concentradas e Plugs de Carregamento	150 a 200, considerando-se 180 como padronização do mercado	300 a 660	De 3 a 4 horas para carga completa	<ul style="list-style-type: none"> Menores custos de infraestrutura e eletricidade, portanto, menor investimento inicial Operação flexível Menos requisitos para a rede elétrica 	<ul style="list-style-type: none"> Tempo de carregamento elevado Área para implantação de infraestruturas
				De 10 a 30 minutos para carga de oportunidade		
Trólebus	Elevado: catenárias, rede elétrica e subestações de energia dispersas	<ul style="list-style-type: none"> 125 a 500 (durante movimento) Até 600 (nas estações de recarga) 	60 a 240, a depender da autonomia do veículo fora da conexão com a rede	Carregamento rápido, 5 a 20 minutos	<ul style="list-style-type: none"> Maior autonomia diária Baterias menores Tempo de carregamento curto Menor área dedicada à infraestrutura 	<ul style="list-style-type: none"> Itinerários rígidos Infraestrutura mais cara Preço da energia mais caro Maior capacidade da rede elétrica
Ultracapacitor	Muito elevado: ultracapacitores, rede elétrica completa e subestações de energia dispersas	200 a 300	60 a 125	Carregamento rápido e dinâmico (ou seja, a infraestrutura aérea ou eventualmente subterrânea se alinha com a infraestrutura de carregamento no ônibus)	<ul style="list-style-type: none"> Maior autonomia diária Baterias menores Tempo de carregamento curto Menor área dedicada à infraestrutura 	<ul style="list-style-type: none"> Itinerários rígidos Infraestrutura muito cara Preço da energia mais caro Maior capacidade da rede elétrica

c. Dimensionamento da Capacidade do Veículo

Em paralelo à definição da tipologia de carregamento das baterias de veículos elétricos, o planejamento operacional deve avaliar as alternativas de dimensão do veículo. Atualmente é comercializada no Brasil uma ampla

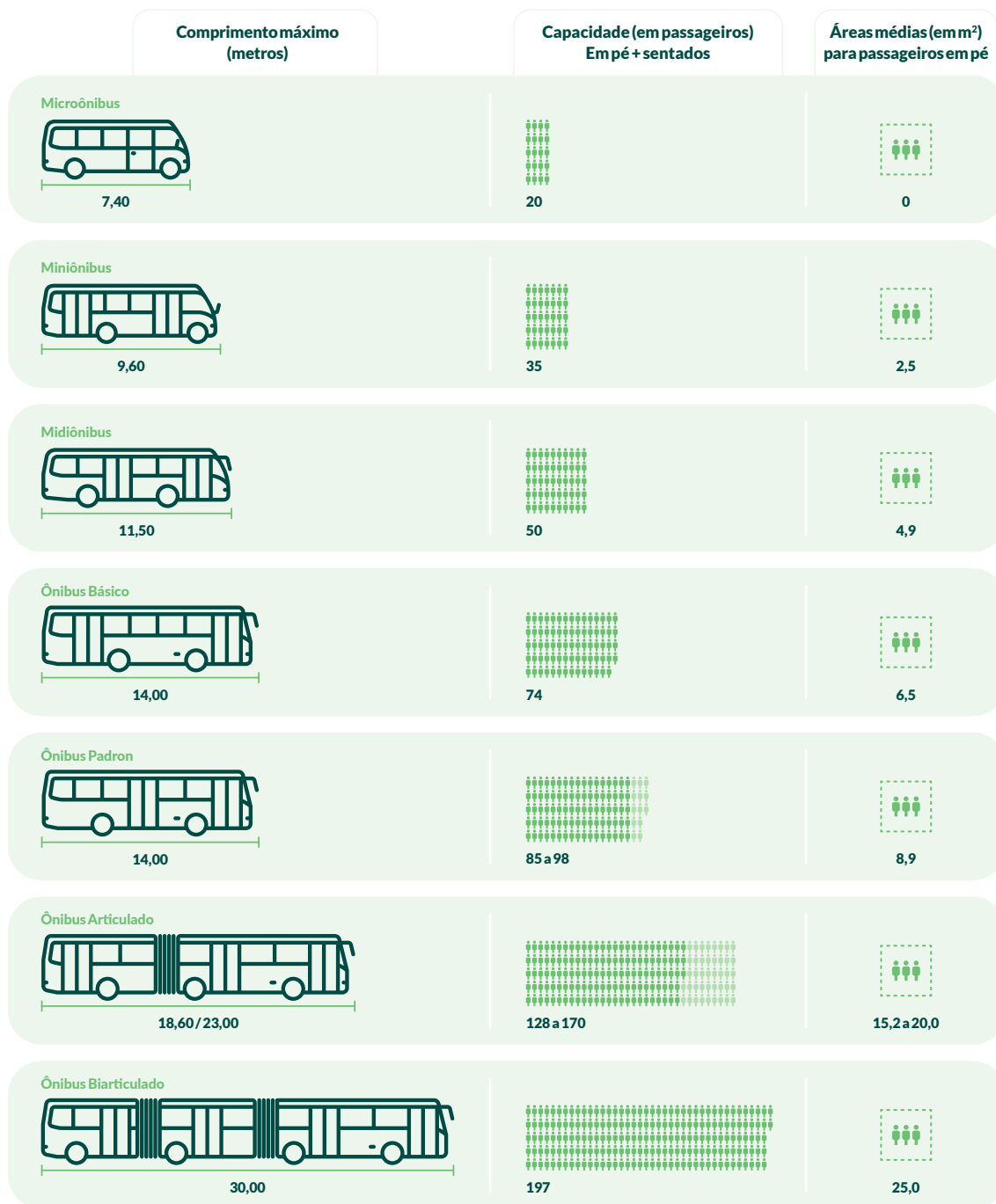
gama de veículos elétricos fabricados por diferentes empresas que variam conforme porte e capacidade.

As variações nas configurações de ônibus em razão do número e largura do vão das portas, do desenho interno, da existência de escada

e catraca embarcada e do comprimento da carroceria alteram a capacidade do veículo. O cálculo da quantidade de passageiros em pé considera uma taxa de conforto máxima de 6

passageiros em pé/m², à exceção dos miniônibus, em que foram usados 4 passageiros em pé/m² e dos midiônibus, com 5 passageiros em pé/m² (Figura 2)⁴.

FIGURA 2: Tipologias de Veículos Utilizados em Operações no Brasil



Fonte: Prefeitura de São Paulo; SPTrans; Edital de Licitação do Sistema Integrado de Transporte Coletivo (2017), ANEXO III (ESPECIFICAÇÃO DO SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE COLETIVO); Sub-Anexo 3.3 - Concepção do Sistema de Informação; Tabela 20 - Características dos ônibus, taxas de conforto e capacidades.

⁴ A tipologia ilustrada sintetiza de forma simplificada os padrões propostos pela classificação da ABNT NBR 15570.

A combinação entre tipologias de carregamento das baterias e tipologias de veículos mensurados por porte indicaria uma ampla gama de possibilidades de configuração de veículos, descartando-se os veículos híbridos. Contudo, determinadas combinações possíveis não são disponibilizadas por fabricantes ou não possuem

referências de operação encontradas em fontes primárias e secundárias de dados. Por esta razão, a combinação entre tipologias de carregamento de baterias e capacidades disponíveis resultou na elaboração do quadro resumido a seguir, utilizado como base para definição das características gerais dos veículos elétricos.

QUADRO 4: Perfil Predominante de Veículos Elétricos Planejados para Operação no Brasil

CATEGORIA	COMPRIMENTO (m)	RECARGA	CAPACIDADE DO CONJUNTO DE BATERIAS (kW/h)
Midi	9,0 a 10,0	Plug-In	240
Midi	9,0 a 10,0	Plug-In	360
Básico	12,0 a 12,8	Plug-In	360
Básico	12,0 a 12,8	Pantógrafo	60
Padron	13,0M	Plug-In	240
	13,0M	Plug-In	360
	15,0M	Plug-In	480
	15,0M	Pantógrafo	120
Articulado	18,0M	Plug In	480
Articulado	18,0M	Pantógrafo	240
Articulado	21,5M	Plug In	508

d. Identificação dos Pontos de Recarga

O planejamento da produção de serviços de transporte coletivo por meio de veículos elétricos se encerra com a definição dos pontos de recarga. Para a tipologia de veículos com carregamento por ultracapacitor ou trólebus, a definição do local de recarga coincide com o próprio itinerário da linha. Frisa-se que não há necessidade de cobertura do itinerário integral da linha por sistemas de catenárias ou

ultracapacitores, tendo em vista que o conjunto de baterias instaladas nos veículos propicia autonomias de quarenta quilômetros ou mais entre recargas, a depender do conjunto de baterias instaladas no veículo.

Para os veículos com carga do tipo “plug-in”, existem três tipologias de recarga que poderão ser utilizadas no planejamento da produção de serviços de transporte coletivo por meio de veículos elétricos.

QUADRO 5: Locais de Recarga de Veículos Plug-In

LOCAL DE RECARGA	CARACTERÍSTICAS
Exclusiva em Garagens	<ul style="list-style-type: none"> A recarga de veículos se faz nas garagens da empresa prestadora dos serviços de transporte público. Como forma de se evitar quilometragem ociosa, realiza-se o carregamento somente nos intervalos entre jornadas operacionais.
Exclusiva em Terminais	<ul style="list-style-type: none"> A recarga de veículos se faz na área de armazenagem operacional dos veículos em Terminais. Permite a realização de cargas completas nos intervalos entre jornadas operacionais e cargas de oportunidade nos intervalos entre viagens dentro de uma mesma jornada operacional, elevando a autonomia do veículo.
Combinada em Garagens e Terminais	<ul style="list-style-type: none"> A recarga longa dos veículos elétricos se faz nas garagens da empresa prestadora dos serviços de transporte público no período entre jornadas operacionais. A recarga de oportunidade é realizada nos terminais nos intervalos entre viagens dentro de uma mesma jornada operacional.

O quadro a seguir compara cada uma das alternativas descritas.

QUADRO 6: Vantagens e Desvantagens de Alternativas de Locais de Recarga de Veículos Plug-In

LOCAL DE RECARGA	PRÓS	CONTRAS
Exclusiva em Garagens	<ul style="list-style-type: none"> Concentração dos aspectos operacionais na empresa operadora. Maior proteção ao sistema de recarga. Carga realizada no período noturno, tarifas de energia elétrica reduzidas. 	<ul style="list-style-type: none"> Necessidade de recolhimento do veículo à Garagem, resultando em menor autonomia dos veículos.
Exclusiva em Terminais	<ul style="list-style-type: none"> Eliminação de quilometragem ociosa. Permite recarga de oportunidade. Tarifas públicas de energia elétrica eventualmente menores do que tarifas particulares. 	<ul style="list-style-type: none"> Restrita a situações específicas onde exista área de estocagem de veículos em quantidade excedente à necessidade do Terminal, viabilizando a implantação de centros de recarga. Também deverá ser observada a necessidade de distanciamento dos centros de recarga das áreas de circulação de passageiros, entre outros aspectos específicos. Duplicação dos custos de guarda de veículos (garagens e terminais).
Combinada em Garagens e Terminais	<ul style="list-style-type: none"> Concentração dos aspectos operacionais na empresa operadora. Maior autonomia operacional. Otimização dos ciclos operacionais. 	<ul style="list-style-type: none"> Além dos elementos descritos acima, há a duplicação dos custos com investimentos e operação de infraestrutura, incluindo disponibilidade de área, equipamentos e sistemas.

Uma vez definidas as características das linhas em que serão operados os veículos elétricos, definidos os tipos de veículos que

serão operados e os locais de recarga, torna-se possível definir a estrutura de custos que deverá ser remunerada.



3. ESTRUTURA DA PLANILHA DE CUSTOS

Conforme estabelecido no *Método de Cálculo dos Custos dos Serviços de Transporte Público por Ônibus (ANTP 2017)*, uma planilha de custo consiste “em demonstrativo de todos os custos, impostos e taxas de um determinado produto ou serviço. Através dela é possível obter o custo final do serviço e, a partir disso, poderá ser estabelecido o preço de venda assegurando que haja uma margem de lucro satisfatória”.

Na prestação de serviços de transporte público coletivo de passageiros, a planilha de custos é dividida em custos variáveis, custos fixos com pessoal, custos administrativos, amortização e remuneração do capital empregado, impostos e taxas. Inicialmente deve-se notar que parte dos custos se altera quando se substitui a tecnologia veicular a diesel por veículos movidos a tração elétrica. Neste *Manual de Cálculo dos*

Custos dos Serviços de Transporte Público por Ônibus Elétricos são analisados exclusivamente os elementos que se alteram por força da transição tecnológica. Para os demais itens de custos, recomenda-se como referência o método de cálculo para ônibus movidos a diesel⁵.

a. Transição de Tecnologia Veicular – Custos Permanentes e Custos Modificados

A transição para a prestação de serviços públicos de transporte coletivo de passageiros por meio de veículos elétricos impacta parcela importante dos custos, porém não todos os custos estimados com a prestação de serviços utilizando-se a tecnologia diesel.

O quadro a seguir aponta os custos que permanecem inalterados e os custos modificados com a transição tecnológica.

QUADRO 7: Custos Permanentes e Custos Modificados na Transição para Veículos Elétricos

CUSTOS PERMANENTES	CUSTOS MODIFICADOS
<p>Custos com motoristas, cobradores e demais funções operacionais: dimensionamento de quadro de pessoal e custos financeiros.</p> <p>Custos administrativos: custos com pessoal, serviços terceirizados, despesas gerais e outros.</p> <p>Custos variáveis com rodagem⁶.</p> <p>Custos com a operação dos veículos a diesel: havendo a operação conjunta entre veículos a diesel e veículos elétricos.</p>	<p>Custos variáveis: custos com energia, lubrificantes, peças e acessórios.</p> <p>Custos ambientais: os custos ambientais associados à operação dos veículos a diesel são eliminados na operação de veículos elétricos.</p> <p>Custos com pessoal de manutenção: custos mecânicos e auxiliares voltados à manutenção de motores, sendo acrescida a função de engenheiro de veículo elétrico.</p> <p>Custos de Capital, veículos e baterias: modificam-se os custos com a aquisição e a taxa de depreciação de veículos, que passam a ser subdivididos em depreciação de veículos e baterias, com vida útil distinta dos veículos a diesel.</p> <p>Custos de Capital, garagens e centro de manutenção: são modificados os parâmetros de área e custo construtivo de garagens e centro de manutenção.</p> <p>Custos de Capital, equipamentos e sistemas: são modificados os parâmetros de custos com equipamentos e sistemas.</p>

⁵ Associação Nacional de Transportes Públicos: “Custos dos serviços de transporte público por ônibus: método de cálculo”. Coordenação geral de Antonio Luiz Mourão Santana; Coordenação técnica de Maria Olívia Guerra Aroucha; Apresentação de Ailton Brasiliense Pires. - São Paulo: ANTP, 2017. 191 p.: il.

ISBN 978-85-86454-03-5.

⁶ Determinadas publicações levantam a hipótese de que poderia haver uma elevação dos custos com rodagem, tendo em vista que veículos elétricos possuem maior peso decorrente da instalação de baterias, que resultaria em maior desgaste de pneus. Os dados coletados sobre a operação de veículos elétricos e sua comparação com a operação de veículos a diesel não permitiram corroborar esta hipótese.

A seguir cada um dos elementos de custo modificado é detalhado.

b. Custos Variáveis (CV)

Os custos ou despesas variáveis ocorrem quando o serviço é prestado à população, mantendo relação direta com a quilometragem percorrida, ou seja, a incidência só ocorre quando o veículo está em movimento. No caso de veículos elétricos, os custos modificados são constituídos por energia elétrica (*EE*), lubrificantes (*LB*) e peças e acessórios (*PA*), além da exclusão dos custos ambientais inseridos no cálculo do custo com a prestação de serviços com base em veículos movidos a diesel.

$$CV = EE + LB + PA$$

Cada um dos componentes do custo variável utiliza coeficientes de consumo próprios como referência. Para o cálculo desses coeficientes de consumo, devem ser utilizados critérios de medição específicos. Não se recomenda a utilização de relatórios contábeis, tendo em vista que variam, significativamente, as políticas de compra e de estoque das empresas.

Nos subitens a seguir são descritas as particularidades de cada um dos componentes do custo variável e a forma de cálculo correspondente.

i. Consumo de Energia Elétrica (EE)

Uma ampla gama de elementos afeta o consumo de energia dos veículos elétricos. Inicialmente observa-se que há elementos parametrizáveis e outros não parametrizáveis para a indicação de qual deve ser o consumo médio de energia por um veículo em operação. Entre os elementos parametrizáveis estão a tipologia de recarga e o porte do veículo elétrico, a expectativa de uso de ar condicionado e a possibilidade de regeneração de energia nos

procedimentos de frenagem. O **Anexo I** apresenta a parametrização para os intervalos de consumo de energia de acordo com a tipologia de veículo utilizada e as condições específicas de operação, realizada com base em fontes primárias e secundárias de dados que variam de acordo com a capacidade de regeneração de energia, em decorrência das características operacionais da linha em que são alocados os veículos elétricos e a intensidade de uso de equipamento de ar condicionado.

Além dos elementos parametrizáveis, outros fatores não parametrizáveis afetarão o consumo de energia do veículo em operação, tais como condições de relevo, temperatura ambiente e outros fatores de menor importância. Por esta razão, recomenda-se que uma vez iniciada a operação de veículos elétricos seja realizada a medição do consumo em cada local de forma particularizada durante um período relevante, preferencialmente igual ou maior a um mês, ao longo de um mês típico de operação. Durante o período de medição serão avaliados os impactos das condições locais de operação, tais como relevo, temperatura ambiente, carregamento dos veículos e outros sobre o índice de consumo final.

ii. Tarifas de Energia Elétrica

De forma distinta da compra de diesel, o preço de compra de energia elétrica dependerá de um conjunto relevante de fatores, como:

- **A possibilidade de compra de energia no mercado livre:** essa alternativa de compra de energia, usualmente mais barata do que a energia fornecida por distribuidoras, se materializa quando a demanda prevista é maior do que 1,5 MW. Neste caso, o prestador de serviços contrata a compra de energia no denominado Ambiente de Contratação Livre – ACL, firmando contratos com comercializadoras de energia e pagando o custo do sistema de transmissão para tanto.

- **A possibilidade de autoprodução:** a autoprodução usualmente está associada à implantação de geração solar ou outras formas de geração distribuída em que se utiliza as áreas de garagem ou outras áreas descontínuas, desde que implantadas na mesma região atendida pela distribuidora de energia elétrica.

Caso nenhuma das duas hipóteses se aplique, o ente responsável pelo carregamento das baterias dos veículos elétricos deverá observar:

- Se o comprador da energia será a empresa operadora, portanto privada, ou o poder público, que possuem estruturas tarifárias distintas.
- O horário de carregamento dos veículos, uma vez que se aplicam as faixas horossazonais, sendo o preço da energia significativamente menor fora da hora pico do que ao longo do período de pico. Assim, o ciclo de carregamento completo das baterias deverá ser realizado prioritariamente no período noturno.
- A bandeira tarifária vigente, uma vez que o regime hídrico vigente à época do consumo de energia afeta os preços cobrados pelas empresas distribuidoras.
- A tensão de compra da energia, uma vez que as distribuidoras praticam tarifas distintas de acordo com esta variável.

O **Anexo I** apresenta a recomendação sobre a forma de levantamento dos preços de energia.

iii. Lubrificantes (CLB)

A despesa com lubrificantes em veículos elétricos limita-se a fluido de freio, graxa e outros, tendo em vista não haver a demanda por óleo de motor e óleo de caixa.

No **Anexo II** são apresentados os valores apurados para lubrificantes por quilômetro percorrido de acordo com o perfil de veículo selecionado.

iv. Peças e Acessórios (CPA)

Os custos com peças e acessórios correspondem às despesas das empresas ou sistema na aquisição das peças de reposição para a manutenção dos veículos da frota. Essas despesas são influenciadas por vários fatores, entre os quais podem ser destacados:

- Garantias fornecidas pelos fabricantes de veículos.
- Intensidade de uso da frota, expressa pela quilometragem operacional.
- Idade média da frota.
- Tipo e qualidade construtiva dos veículos utilizados na operação.
- Características e estado de conservação da infraestrutura viária.
- Condições operacionais do tráfego.
- qualificação da mão de obra operacional.

O quadro disposto no **Anexo III** apresenta o custo quilométrico apurado de peças e acessórios com fabricantes e operadores. Deve-se enfatizar que nos termos expostos no *Método de Cálculo dos Custos dos Serviços de Transporte Público por Ônibus* (ANTP, 2017) existe uma progressão nos custos com peças e acessórios associada à maior idade, ou maior quilometragem percorrida pela frota. Não obstante, a ausência de um volume relevante de veículos com idade mais elevada impede a construção, no presente estágio, desta memória de cálculo.

c. Custo com Pessoal de Manutenção

O impacto da introdução de veículos elétricos sobre o quadro de pessoal de manutenção dependerá da coexistência ou não entre veículos elétricos e veículos a diesel na frota de uma mesma empresa. Caso a composição da frota seja mista, deverão ser mantidos os fatores de utilização de funcionários para a íntegra das atividades, acrescentando-se um fun-

cionário com a função de “engenheiro elétrico” para cada local de carregamento, garagem e terminais urbanos. Caso a frota seja unicamente composta por veículos elétricos, deverá ser acrescido o funcionário com a função de “engenheiro elétrico” e suprimido o número proporcional de mecânicos voltados à manutenção de motores a combustão.

d. Depreciação do Capital

A depreciação representa a diminuição do valor de um bem durável, resultante do desgaste pelo uso, obsolescência e perda de valor de mercado devido à idade do item. A depreciação a ser considerada na planilha de custos visa acumular recursos para repor bens de capital ao final de sua vida útil e refere-se à depreciação econômica dos ativos, não devendo ser confundida com a depreciação contábil. Dessa forma, a depreciação a ser considerada refere-se à perda do valor do ativo no decorrer dos anos, e não ao valor permitido pela legislação que poderia ser depreciado anualmente nos balanços contábeis das empresas operadoras. Para o cálculo da depreciação econômica dos ativos, define-se, para cada ativo, a vida economicamente útil, o valor residual e o método de cálculo para depreciação do ativo no decorrer da vida útil (ou vida econômica) estabelecida.

A equação a seguir representa matematicamente essa composição dos custos fixos relativos à depreciação.

$$CDP = DVE + DB + DER + DIE$$

Onde:

- *CDP* é o custo mensal de depreciação (R\$);
- *DVE* é a depreciação mensal dos veículos, considerando-se chassi e carroceria;
- *DB* é a depreciação mensal da bateria, tendo em vista sua vida útil distinta da vida útil de chassi e carroceria;

- *DER* é a depreciação mensal de equipamentos de energia e recarga;
- *DIE* é a depreciação mensal da infraestrutura dedicada aos veículos elétricos.

Note-se que devido ao prazo de depreciação distinto, veículos e baterias necessitarão ser depreciados em bases separadas, mesmo que usualmente sejam adquiridos no mesmo conjunto do restante do veículo.

Nos subitens a seguir são detalhadas as formas de cálculo para cada uma das parcelas que compõem a depreciação.

i. Depreciação dos Veículos (DVE)

O valor da depreciação mensal depende diretamente do preço do veículo novo e da composição etária da frota total por classe de veículo.

Para cada tipo de veículo *z*, o valor da depreciação mensal é obtido pela somatória dos valores calculados para cada faixa etária. Esses valores são determinados multiplicando-se o coeficiente de depreciação anual ($\lambda_{z,t}$) pelo preço do veículo novo sem pneus ($VEC_z^{[\emptyset]}$) e pela quantidade de veículos ($FT_{z,t}$) enquadrados na faixa etária e dividindo-se por 12, para que se obtenha o valor mensal. O valor da depreciação mensal de toda a frota de veículos é obtido pela soma dos valores obtidos para a depreciação mensal para cada tipo de veículo.

Para obtenção do coeficiente de depreciação mensal, deve ser adotado o Método de Cole que representa de forma mais adequada a desvalorização desse ativo, caracterizada por uma perda acentuada de valor no início da vida útil e que se atenua com o passar do tempo.

- A equação a seguir representa matematicamente a estimativa do custo de depreciação mensal dos veículos (*DVE*).

$$DVE = \sum_{z=1}^Z \sum_{t=1}^{VUV_z} (\lambda_{z,t} * VEC_z^{[\emptyset]} * FT_{z,t}) / 12$$

Onde:

- DVE é a depreciação mensal dos veículos;
- z é o tipo de veículo sob análise;
- Z é a quantidade de tipos de veículos elétricos que compõem a frota;
- VUV_z é a vida útil do veículo do tipo z ;
- $\lambda_{z;t}$ é o coeficiente de depreciação anual do veículo tipo z considerando o ano t como referência;
- $VEC_z^{[0]}$ é o preço médio do ônibus novo tipo z sem pneus;
- $FT_{z;t}$ é a frota total para o tipo de veículo z considerando o ano t como referência.

Para a obtenção do coeficiente de depreciação mensal, adota-se o Método de Cole. Porém, diferentemente dos veículos movidos a diesel, a bibliografia sobre o tema recomenda a depreciação de veículos elétricos no prazo de 15 anos. O aumento da vida útil dos veículos decorre da inexistência de motor a combustão, o que diminui a vibração interna e o ruído. Apesar de diversos artigos referenciarem o mesmo parâmetro, este deve ser observado com cautela, uma vez que a vida útil do motor poderá ser de 15 anos, ou mais. Contudo, o chassi e a carroceria do veículo poderão se encontrar em condições inadequadas de operação neste intervalo. Assim, em um primeiro momento a recomendação que se faz é em favor de um prazo mais próximo aos padrões vigentes, adotando-se para fins de cálculo do custo do sistema uma vida útil média de 10 a 12 anos. Na medida em que a operação de veículos elétricos se consolida e se observe uma série de dados que comprove que os veículos atingirão, em média, 15 anos de idade máxima, esse parâmetro poderá passar por uma revisão posterior, eventualmente ajustando-se pontualmente o valor de remuneração de operadores.

Quanto ao valor residual, devido à elevada vida útil e à inexistência de um mercado secundário,

considera-se que este valor seja igual a zero no término do período de depreciação.

ii. Depreciação de Baterias (DB)

A depreciação de baterias é, por sua característica de vida útil e valor residual, realizada de forma apartada da depreciação dos veículos.

A vida útil apontada para as baterias de todos os tipos é de 8 (oito) anos, podendo ser sua depreciação realizada linearmente.

A equação a seguir representa matematicamente a estimativa do custo de depreciação mensal com baterias (DB).

$$DB = \frac{\sum_{b=1}^B \frac{(P_b * NB_b)}{8}}{12}$$

Onde:

- DB é a depreciação mensal de baterias;
- b é o tipo de bateria em uso;
- B é o total de tipos de bateria empregadas nos veículos elétricos;
- NB_b é o número de baterias do tipo b ;
- P_b é o preço de baterias novas do tipo b .

Quanto ao valor residual, considera-se que este valor seja igual a zero no término do período de depreciação, uma vez que não há aproveitamento comprovado para as baterias utilizadas. Também não se considera um valor negativo, ou seja, um custo com a disposição final de baterias, tendo em vista a logística reversa realizada pelos fabricantes de bateria para seu recolhimento e eventual reaproveitamento.

iii. Depreciação de Equipamentos de Energia e Recarga (DER)

Este item compreende o valor da depreciação dos investimentos realizados nos sistemas

de energia e recarga dos veículos elétricos. O **Anexo V** contém o detalhamento dos componentes necessários para garantir a eficiência, a confiabilidade e a segurança do sistema de recarga dos veículos carregados por meio de conexão direta por cabo com a rede de energia, ou seja, veículos do tipo plug-in.

A equação a seguir representa matematicamente a estimativa do custo de depreciação mensal com sistemas de energia e recarga (*DER*).

$$DER = \sum_{s=1}^S \lambda_s (P_s * NS_s) / 12 + \lambda_e * P_e / 12 + \lambda_c (P_c * NC_c) / 12$$

Onde:

- *DER* é a depreciação mensal de sistemas elétricos e carregadores;
- *s* é o tipo de subestação implantada, sendo "S" o total de tipos de subestações;
- λ_s é a taxa de depreciação aplicável a subestações;
- NS_s é o número de subestações do tipo *s*;
- P_s é o preço de uma subestação do tipo *s*;
- λ_e é a taxa de depreciação aplicável à reforma de rede elétrica, exclusas as subestações;
- P_e é o preço apurado com a reforma de rede elétrica;
- λ_c é a taxa de depreciação aplicável aos carregadores, incluso no valor dos carregadores os softwares de controle de carga;
- P_c é o preço unitário de um carregador;
- NC_c é o número de carregadores adquiridos.

Por simplificação, considera-se que o valor residual seja igual a zero no término do período de depreciação, uma vez que não há uso residual para subestações e rede elétrica após o término da vida útil. Os carregadores poderão ter um mercado secundário se comercializa-

do juntamente com os veículos. Contudo, na ausência de um mercado secundário vigente hoje recomenda-se que, ao menos em um primeiro momento, este valor seja considerado igual a zero.

iv. Depreciação da Infraestrutura (DI)

Este item compreende o valor da depreciação com as modificações necessárias a serem realizadas em garagens e terminais. Considera-se que os terrenos, onde se encontram instaladas as garagens e os terminais, não estão sujeitos à depreciação. Ademais, considera-se que o cálculo da depreciação depende da vida útil e do valor residual.

A equação a seguir explicita matematicamente o cálculo da depreciação mensal dos investimentos realizados em ampliação e melhoria de garagens e terminais dedicados à manutenção, guarda e recarga de veículos elétricos.

$$DI = \frac{(\varpi * I_{GT})}{12}$$

Onde:

- *DI* é a depreciação mensal de investimentos realizados em infraestrutura e terminais;
- ϖ é o coeficiente de depreciação anual dos investimentos em ampliação e melhoria das garagens e terminais realizados para a manutenção, guarda e recarga dos veículos elétricos;
- I_{GT} são os investimentos realizados em ampliação e melhoria das garagens e terminais para a manutenção, guarda e recarga dos veículos elétricos.

O **Anexo VI** detalha os coeficientes de depreciação anual e os parâmetros sugeridos para investimentos em ampliação e melhoria das garagens e terminais para a manutenção, guarda e recarga dos veículos elétricos.

v. Remuneração do Capital Imobilizado

A remuneração da íntegra do capital empregado pelo operador em veículos elétricos, considerando-se chassis e carrocerias, em baterias, equipamentos de energia e recarga, e *na* infraestrutura dedicada aos veículos elétricos deve manter os princípios aplicados à remuneração do capital empregado no restante da operação envolvida com a prestação de serviços de transporte coletivo de passageiros. Seja a remuneração baseada em uma taxa de remuneração unificada, seja a remuneração baseada em uma remuneração livre de risco agregada a uma taxa de prestação pelos serviços, o capital empregado na operação dos veículos elétricos deve ser considerado de forma simétrica ao restante do capital da empresa operadora.



4. RECOMENDAÇÕES

Sintetiza-se o presente trabalho em quatro recomendações relevantes.

Primeiro, antes de se emitir ordens de serviços para que se dê início ao processo de encomenda de veículos, baterias, equipamentos e sistemas, deve-se realizar um planejamento aprofundado sobre os serviços que serão ofertados com os veículos elétricos, a definição da tipologia dos veículos e a definição dos pontos de recarga. Uma vez realizadas essas definições, que sejam produzidos os estudos técnicos necessários para o dimensionamento da frota, de acordo com a autonomia de cada tipo de veículo empregado, da frota reserva necessária de acordo com o local e o tempo de recarga e a possibilidade de combinação com o uso de veículos a diesel.

Em seguida deverá ser realizado o dimensionamento da infraestrutura de recarga, manutenção e guarda de veículos, identificando quais as capacidades de subestações necessárias, o investimento em reforma e ampliação de capacidade das instalações elétricas e a instalação de carregadores nos locais adequados. Quanto às instalações de garagens e terminais, deverão ser identificadas as reformas necessárias como a cobertura das áreas de recarga, o isolamento de piso em áreas específicas para manutenção, a eventual ampliação das áreas pavimentadas para garantir a maior separação entre veículos, entre outras.

Com base nesses estudos técnicos será possível realizar um correto dimensionamento dos custos efetivos de todos os processos relacionados à transição para a eletromobilidade.

Como segunda recomendação, indica-se que esta transição seja paulatina. O elevado com-

prometimento de capital torna a transição para a eletromobilidade onerosa para empresas, criando o risco de que o poder público tenha de arcar com elevados custos em um sistema que poderá não surtir os resultados esperados. Uma transição progressiva permite que sejam avaliados os acertos e erros de cada etapa, eventualmente reorganizando o processo de transição de forma a maximizar os resultados e minimizar os riscos incorridos.

Como terceira recomendação, a transição para a eletromobilidade será tão mais segura para as partes quanto mais flexíveis e adaptáveis forem os contratos que vinculam o poder público às empresas operadoras. Revisões periódicas de custos unitários, de produtividade dos veículos e da vida útil dos ativos empregados consistirão em um instrumento adequado para que não se imponha risco excessivo às empresas operadoras ou não se vincule o poder público ao pagamento de uma remuneração exorbitante.

Por fim, recomenda-se que as partes, poder público e empresas operadoras, atuem junto a órgãos de financiamento que possuem linhas de financiamento competitivas para a aquisição de veículos elétricos. Linhas de financiamento favorecidas poderão baratear a operação como um todo e reduzir o esforço de caixa e garantias das partes na fase de implantação dos empreendimentos.

Por meio destas recomendações e do quadro exposto, pretende-se que o presente adendo à *Metodologia de Cálculo dos Custos do Transporte Público* auxilie gestores públicos e privados em uma transição segura e progressiva em direção a um mundo de baixas emissões de carbono.



5. ANEXOS

Anexo I – Coeficientes propostos para Consumo e Preços de Energia Elétrica

Anexo II – Parâmetros propostos para o Consumo de Lubrificantes de Veículos Elétricos

Anexo III – Parâmetros propostos para o Consumo de Peças e Acessórios de Veículos Elétricos

Anexo IV – Principais modelos de veículos elétricos disponíveis no Brasil

Anexo V – Parâmetros propostos para Investimentos em Equipamentos e Sistemas de Carregamento

Anexo VI – Parâmetros propostos para Investimentos em Garagens e Infraestrutura

○ ANEXO I – COEFICIENTES PROPOSTOS PARA CONSUMO E PREÇOS DE ENERGIA ELÉTRICA

Este Anexo tem por objetivo apresentar o intervalo de confiança proposto para o coeficiente de consumo de referência sugerido para cada perfil de veículo, estabelecido de acordo com o modelo de recarga e o porte do veículo. Procurou-se apurar os coeficientes sugeridos de acordo com duas condições operacionais específicas. Primeiro, o uso ou não de ar condicionado no interior dos veículos. Note-se que a quase totalidade dos modelos de ônibus elétricos ofertada no Brasil é dotada de ar condicionado. Contudo, elementos como temperatura

externa e frequência de parada dos veículos pode indicar que seu uso não será realizado. Nesses casos, há uma diminuição do consumo de energia e, por conseguinte, um aumento na autonomia do veículo.

De forma análoga, veículos ou condições operacionais que não possibilitem a regeneração de energia, ou pela ausência do equipamento, ou pela impossibilidade de desenvolver velocidades comerciais acima de 20 km/h em segmentos relevantes da linha, apresentarão um consumo por quilômetro maior de energia e, em decorrência, uma autonomia menor do que os veículos que operam em condições adequadas para a regeneração de energia.

A seguir são sintetizados os coeficientes propostos.

QUADRO 8: Consumo de Energia (kW/km) para a operação de veículos com ar condicionado e com regeneração de energia nos processos de frenagem

CATEGORIA	COMPRIMENTO (m)	PERFIL	CAPACIDADE DO CONJUNTO DE BATERIAS (kW/h)	CONSUMO ENERGIA (kW/Km) COM AR CONDICIONADO COM REGENERAÇÃO		
				MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO
Midi	9,0 a 10,0	Plug-In	360	1,20	1,40	1,55
Básico	12,0 a 12,8	Plug-In	360	1,40	1,55	1,70
Básico	12,0 a 12,8	Pantógrafo	60	1,15	1,30	1,45
Padron	13,0	Plug-In	240	1,40	1,55	1,70
	13,0	Plug-In	360	1,45	1,60	1,75
	15,0	Plug-In	480	1,65	1,80	2,00
	15,0	Pantógrafo	120	1,40	1,60	1,80
Articulado	18,0	Plug-In	480	2,05	2,45	2,80
Articulado	18,0	Pantógrafo	240	1,75	1,90	2,05
Articulado	21,5	Plug-In	508	2,50	2,70	3,00

QUADRO 9: Consumo de Energia (kW/km) para a operação de veículos com ar condicionado e sem regeneração de energia nos processos de frenagem

CATEGORIA	COMPRIMENTO (m)	PERFIL	CAPACIDADE DO CONJUNTO DE BATERIAS (kW/h)	CONSUMO ENERGIA (kW/Km) COM AR CONDICIONADO SEM REGENERAÇÃO		
				MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO
Midi	9,0 a 10,0	Plug-In	360	1,60	1,90	2,10
Básico	12,0 a 12,8	Plug-In	360	1,90	2,10	2,30
Básico	12,0 a 12,8	Pantógrafo	60	1,55	1,75	2,00
Padron	13,0	Plug-In	240	1,90	2,10	2,30
	13,0	Plug-In	360	1,95	2,15	2,35
	15,0	Plug-In	480	2,20	2,40	2,70
	15,0	Pantógrafo	120	1,90	2,15	2,40
Articulado	18,0	Plug-In	480	2,90	3,30	3,70
Articulado	18,0	Pantógrafo	240	2,20	2,55	2,80
Articulado	21,5	Plug-In	508	3,40	3,65	4,00

QUADRO 10: Consumo de Energia (kW/km) para a operação de veículos sem ar condicionado e com regeneração de energia nos processos de frenagem

CATEGORIA	COMPRIMENTO (m)	PERFIL	CAPACIDADE DO CONJUNTO DE BATERIAS (kW/h)	CONSUMO ENERGIA (kW/Km) SEM AR CONDICIONADO COM REGENERAÇÃO		
				MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO
Midi	9,0 a 10,0	Plug-In	360	1,00	1,20	1,30
Básico	12,0 a 12,8	Plug-In	360	1,20	1,30	1,45
Básico	12,0 a 12,8	Pantógrafo	60	1,00	1,10	1,20
Padron	13,0	Plug-In	240	1,20	1,30	1,45
	13,0	Plug-In	360	1,20	1,35	1,50
	15,0	Plug-In	480	1,40	1,50	1,70
	15,0	Pantógrafo	120	1,20	1,35	1,50
Articulado	18,0	Plug-In	480	1,75	2,10	2,40
Articulado	18,0	Pantógrafo	240	1,40	1,60	1,80
Articulado	21,5	Plug-In	508	2,10	2,30	2,55

QUADRO 11: Consumo de Energia (kW/km) para a operação de veículos sem ar condicionado e sem regeneração de energia nos processos de frenagem

CATEGORIA	COMPRIMENTO (m)	PERFIL	CAPACIDADE DO CONJUNTO DE BATERIAS (kW/h)	CONSUMO ENERGIA (kW/Km) SEM AR CONDICIONADO SEM REGENERAÇÃO		
				MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO
Midi	9,0 a 10,0	Plug-In	360	1,35	1,60	1,80
Básico	12,0 a 12,8	Plug-In	360	1,60	1,80	1,95
Básico	12,0 a 12,8	Pantógrafo	60	1,30	1,50	1,65
Padron	13,0	Plug-In	240	1,60	1,80	1,95
	13,0	Plug-In	360	1,65	1,85	2,00
	15,0	Plug-In	480	1,90	2,05	2,30
	15,0	Pantógrafo	120	1,60	1,85	2,10
Articulado	18,0	Plug-In	480	2,35	2,80	3,22
Articulado	18,0	Pantógrafo	240	1,90	2,20	2,40
Articulado	21,5	Plug-In	508	2,90	3,10	3,40

Para a apuração dos valores tarifários de energia, recomenda-se inicialmente que se considere a unidade responsável pela recarga dos veículos como vinculada ao denominado mercado cativo. Nesses casos, a empresa distribuidora local será responsável pela entrega da energia na unidade de carregamento, a menos que o volume de carregadores em uso simultâneo indique a necessidade de uma conexão direta com a rede de transmissão de energia, por meio de subestação mais próxima.

Há duas tarifas a serem consideradas no cálculo do preço de energia, tarifa de consumo e tarifa de demanda. A tarifa de consumo representa o volume efetivamente utilizado de energia no processo de carregamento de veículos. A tarifa de demanda representa a capacidade máxima de energia que será demandada quando todos os veículos estiverem em carregamento conjunto.

Exemplo:

- Uma empresa opera 10 veículos elétricos com capacidade de bateria de 360 kW.
- Os carregadores adquiridos possuem capacidade de carregamento de 120 kWh.

- Portanto, um veículo demorará cerca de 3 horas e 30 minutos para carregamento, uma vez que a velocidade de carregamento se reduz quando o veículo atinge cerca de 70% de carga da bateria.
- Pelo intervalo de operação dos veículos elétricos, será necessário um carregador para cada dois veículos durante a carga noturna.
- Portanto, serão necessários 5 carregadores.
- O funcionamento simultâneo de 5 carregadores representa uma demanda de energia de 600 kW durante o horário noturno (fora da faixa de pico).
- Recomenda-se que por segurança a demanda contratada represente ao menos 105% do máximo consumo horário de energia.
- A demanda deverá ser calculada para o máximo carregamento realizado de forma simultânea no período de ponta e no período fora da ponta.

A categoria de compra dependerá da tensão de fornecimento de energia de acordo com a subestação de energia implantada na entrada do centro de reabastecimento.

○ ANEXO II - PARÂMETROS PROPOSTOS PARA O CONSUMO DE LUBRIFICANTES DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

QUADRO 12: Consumo de lubrificantes (R\$/km) por perfil de veículo

CATEGORIA	COMPRIMENTO (m)	PERFIL	CAPACIDADE DO CONJUNTO DE BATERIAS (kW/h)	LUBRIFICANTES (R\$/KM)		
				MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO
Midi	9,0 a 10,0	Plug-In	360	0,0366	0,0406	0,0447
Básico	12,0 a 12,8	Plug-In	360	0,0366	0,0406	0,0447
Básico	12,0 a 12,8	Pantógrafo	60	0,0366	0,0406	0,0447
Padron	13,0	Plug-In	240	0,0366	0,0406	0,0447
	13,0	Plug-In	360	0,0366	0,0406	0,0447
	15,0	Plug-In	480	0,0366	0,0406	0,0447
	15,0	Pantógrafo	120	0,0366	0,0406	0,0447
Articulado	18,0	Plug-In	480	0,1073	0,1192	0,1311
Articulado	18,0	Pantógrafo	240	0,1073	0,1192	0,1311
Articulado	21,5	Plug-In	508	0,1073	0,1192	0,1311

○ ANEXO III – PARÂMETROS PROPOSTOS PARA O CONSUMO DE PEÇAS E ACESSÓRIOS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

A seguir são apresentados os custos quilométricos com Peças e Acessórios apurados para veículos elétricos. Registra-se que os veículos que compõem a amostra utilizada possuem idade inferior a 4 anos, são utilizados em serviços de quilometragem média inferior à média dos sistemas e em diversos casos encontram-se em fase de vigência da garantia ofertada pelo fabricante.

QUADRO 13: Consumo com peças e acessórios (R\$/km) por perfil de veículo

CATEGORIA	COMPRIMENTO (m)	PERFIL	CAPACIDADE DO CONJUNTO DE BATERIAS (kW/h)	PEÇAS E ACESSÓRIOS (R\$/Km)		
				MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO
Midi	9,0 a 10,0	Plug-In	360	0,4320	0,4695	0,5071
Básico	12,0 a 12,8	Plug-In	360	0,4543	0,4938	0,5333
Básico	12,0 a 12,8	Pantógrafo	60	0,4543	0,4938	0,5333
Padron	13,0	Plug-In	240	0,4841	0,5262	0,5683
	13,0	Plug-In	360	0,4841	0,5262	0,5683
	15,0	Plug-In	480	0,5213	0,5667	0,6120
	15,0	Pantógrafo	120	0,5213	0,5667	0,6120
Articulado	18,0	Plug-In	480	0,8788	0,9552	1,0317
Articulado	18,0	Pantógrafo	240	0,8788	0,9552	1,0317
Articulado	21,5	Plug-In	508	1,0427	1,1333	1,2240

ANEXO IV – PRINCIPAIS MODELOS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS DISPONÍVEIS NO BRASIL

A seguir são apresentados os principais modelos comercializados de veículos elétricos no Brasil.

QUADRO 14: Modelos de Veículos Elétricos Comercializados no Brasil

MARCA	TIPO	MODELO	TAMANHO	CAPACIDADE TOTAL	CAPACIDADE BATERIA	CARREGAMENTO
BYD	Padron Piso Baixo Plug-In	BYD 2912TZ-XY-A	12,10m	Não disponível	344 kW	2 a 3 horas
BYD	Padron Piso Alto Plug-In	BYD 2912TZ-XY-A	12,20m	Não disponível	344 kW	2 a 3 horas
BYD	Articulado Piso Baixo Plug-In	BYD 2912TZ-XY-A	21,30m	Não disponível	590 kW	2 a 3 horas
Eletra Bus	Pesado piso baixo Plug-In	MBBO 500U / Caio Millennium 4	12,50m	70 passageiros	360 kW	3 horas e 30 minutos
Eletra Bus	Alongado piso baixo Plug-In	Scania K310 / Caio Millennium 4	15,00m	101 passageiros	480 kW	4 horas e 40 minutos
Eletra Bus	Articulado piso baixo Plug-In	MBBO 500UA / Caio Millennium 4	18,00m	126 passageiros	508 kW	5 horas e 10 minutos
Eletra Bus	Pesado piso baixo Trólebus	Low Entry – MBB/Caio	12,50m	34 Sentados / 47 Pé	Flexível	Rede Aérea - 400/750 V-DC
Eletra Bus	Pesado piso baixo Trólebus	Low Entry – VW/Caio	12,50m	34 Sentados / 49 Pé	Flexível	Rede Aérea - 400/750 V-DC
Eletra Bus	Alongado piso alto Trólebus	Scania / Caio	15,00m	45 Sentados / 52 Pé	Flexível	Rede Aérea - 400/750 V-DC

CONTINUA ►

QUADRO 14: Modelos de Veículos Elétricos Comercializados no Brasil

MARCA	TIPO	MODELO	TAMANHO	CAPACIDADE TOTAL	CAPACIDADE BATERIA	CARREGAMENTO
Eletra Bus	Alongado piso baixo Trólebus	Low Entry – Scania/Caio	15,00 m	45 Sentados / 52 Pé	Flexível	Rede Aérea - 400/750 V-DC
Eletra Bus	Articulado piso baixo / Trólebus	Low Entry Autônomo – MBB/Caio	18,00 m	46 Sentados / 78 Pé	Flexível	Rede Aérea - 400/750 V-DC
Higer	Midi Ônibus Plug-In	Azure A9	9,00 m	Não disponível	Flexível	2 a 3 horas
Higer	Urbano Basico Plug-In	Azure A10 BR	10,5 m	50 passageiros	270 km com AC	4 horas
Higer	Urbano Basico Plug-In	Azure A12 BR	12,20 m	70 passageiros	270 km com AC	4 horas
Higer	Padron Plug-In	Low Floor CityBus	12,50 m	Máximo de 80 passageiros (33 sentados)	271 km com AH	3 Horas
Higer	Padron Ultracapacitor	Low Floor CityBus	13,00 m	Não disponível	Flexível	Rede Ultracapacitor
Higer	Articulado	Higer 18 m Bateria - E18B	18,75 m	Máximo de 153 passageiros (50 sentados)	271 km com AH	-
Mercedes-Benz	Em fase de teste					
Marcopolo	Em fase de teste					

○ ANEXO V – PARÂMETROS PROPOSTOS PARA INVESTIMENTOS EM EQUIPAMENTOS E SISTEMAS DE CARREGAMENTO

O investimento em equipamentos e sistemas adequados para a recarga de veículos elétricos possui elevada importância sobre a eficiência operacional planejada para a rede, além de potencial impacto sobre o dimensionamento de custos da transição para eletromobilidade. O conjunto de equipamentos e sistemas será composto por três elementos principais. O primeiro elemento são os carregadores, que usualmente são divididos entre carregadores de carga lenta (até 80 kWh) e carga rápida (entre 120 kWh e 220 kWh). Atualmente observa-se a tendência à padronização de mercado para carregadores com capacidade de carregamento entre 120 kWh e 180 kWh. Para o cálculo do número de carregadores necessários para uma determinada garagem deve-se considerar:

- O intervalo de tempo disponível para recarga. Como exemplo, pode-se definir o intervalo para recarga de 7 horas, entre 22:00 e 5:00 da manhã do dia seguinte.
- A capacidade de armazenagem das baterias que equipam os veículos e o volume de energia necessário para uma carga completa. Por exemplo, uma bateria de 360 kWh que inicie um ciclo de carga completa com 60 kWh disponíveis demandará 300 kWh de carga completa.
- A capacidade de carregamento dos carregadores instalados. Como exemplo, se a capacidade dos carregadores for de 120 kWh/h, em princípio seriam necessárias duas horas e trinta minutos para o carregamento

completo. Não obstante, a partir de um nível de carregamento de 70% da capacidade máxima da bateria há uma diminuição na velocidade de carregamento como forma de se evitar o desgaste necessário de material. Desta forma, usualmente esta carga será realizada em três horas. Com o intervalo disponível de 7 horas e sendo necessário reservar um espaço de tempo para a movimentação e preparação de veículos, haverá tempo para a realização de duas cargas completas.

A implantação e uso simultâneo de um determinado número de carregadores definirá a necessidade de adaptação de rede elétrica interna do centro de abastecimento, com a substituição do cabeamento convencional por cabeamento elétrico de maior capacidade de transmissão, além do aterramento adequado de todos os carregadores. A rede elétrica também deverá estar devidamente protegida contra descargas elétricas, que poderão comprometer o funcionamento e eventualmente inutilizar os carregadores implantados. Este é o segundo componente.

O terceiro investimento se dará em subestações de energia, que deverão seguir as normas sobre recarga e subestações publicadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica, a ANEEL. A Nota Técnica nº 304/2010 e a Resolução Normativa nº 819/2018 versavam originalmente sobre o dimensionamento da capacidade de subestações e do acesso à rede de transmissão e distribuição elétrica. Ambas foram consolidadas na Resolução Normativa ANEEL nº 1.000, de 2021, com particular atenção quanto ao disposto no capítulo 5, que trata, entre outros, do acesso aos carregadores de veículos elétricos à rede.

A depender do volume de carregadores implantados e utilizados de forma simultânea, será necessário que a subestação possua alta

tensão, devendo ser observada eventual necessidade de implantação de conexão direta com a rede de transmissão de energia, havendo necessidade de investimentos para além dos limites da garagem e do terminal.

Além dos elementos físicos, deve-se considerar os custos com projeto e gerenciamento adequados da instalação dos sistemas elétricos, necessários para garantir a segurança, a eficiência e a confiabilidade do sistema de recarga.

Quando o planejamento operacional envolver o uso misto de garagens para a realização de cargas completas no período noturno e terminais para a realização de cargas rápidas de oportunidade ao longo do dia, o dimensionamento financeiro deverá contemplar os dois custos de implantação de sistemas de carregamento.

Os valores sugeridos para investimentos em instalação elétrica são apresentados no quadro a seguir.

QUADRO 15: Parâmetros de Valores Propostos para Investimentos em Sistemas Elétricos, veículos Plug-In

CARREGADORES (R\$)				
CATEGORIA		MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO
Veículos Plug-In (carregadores lentos, até 90 kWh)		135.000	150.000	165.000
Veículos Plug-In (carregadores)		290.000	310.000	330.000
REDE ELÉTRICA E SUBESTAÇÕES (R\$)				
CATEGORIA	Nº VEÍCULOS	MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO
Veículos Plug-In (Garagem ou Terminal)	De 0 a 10	1.485.000	1.650.000	1.897.500
Veículos Plug-In (Garagem ou Terminal)	De 10 a 50	1.680.000	1.860.000	2.139.000
Veículos Plug-In (Garagem ou Terminal)	De 50 a 100	2.400.000	2.700.000	3.105.000
Veículos Plug-In (Garagem ou Terminal)	Acima de 100	4.050.000	4.500.000	5.175.000

○ ANEXO VI – PARÂMETROS PROPOSTOS PARA INVESTIMENTOS EM GARAGENS E INFRAESTRUTURA

Além dos investimentos nos equipamentos e sistemas de carregamento dos veículos elétricos, deverá ser observada a necessidade de adaptação das garagens de guarda de veículos e centros de manutenção. Particular atenção deverá ser dada aos seguintes elementos:

- Maior espaçamento entre veículos nas áreas de recarga, de forma a garantir a segurança de funcionários, veículos e equipamentos, minimizando a possibilidade de ocorrência de curto-circuito.
- Cobertura das áreas de recarga, protegendo veículos e equipamentos de condições climáticas adversas.
- Tratamento especial para o piso, com o devido isolamento elétrico nas áreas de manutenção.

Os investimentos em complemento de garagem são específicos de cada unidade, e a parametrização deste custo deverá ser realizada por cada empresa operadora a partir das condições vigentes de infraestrutura.



ESPAÇO PARA
CÓD. DE BARRAS