PNME
Plataforma Nacional
de Mobilidade Elétrica

AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS PROSPECTIVOS PARA ELETRIFICAÇÃO DE ÔNIBUS NO BRASIL

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PARA OS CENÁRIOS PROSPECTIVOS DE ELETRIFICAÇÃO DE ÔNIBUS E ANÁLISE DO IMPACTO ECONÔMICO-FINANCEIRO

AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS PROSPECTIVOS PARA ELETRIFICAÇÃO DE ÔNIBUS NO BRASIL

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PARA OS CENÁRIOS PROSPECTIVOS DE ELETRIFICAÇÃO DE ÔNIBUS E ANÁLISE DO IMPACTO ECONÔMICO-FINANCEIRO

A equipe técnica responsável pelo desenvolvimento deste relatório é composta pelo coordenador Flávio Chevis – Economista pela FEA-USP sob CORECON 2ª Região nº 29.348-2, responsável técnico pela Addax, membro do Comitê de Economia da UITP, Professor do MBA PPP e Concessões da FESPSP/LSE. Possui créditos de Mestrado em Engenharia de Transportes pela POLI-USP e em Teoria Econômica pelo IE/UNICAMP, e pela equipe de analistas composta por Roberto Gentilezza – Economista pela FEA-USP, Arthur Yamoto – Geógrafo pela FFLCH-USP e Luiz Gustavo Duque – Engenheiro Civil pela Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Informações legais

As ideias e opiniões expressas nesta publicação são dos autores e não refletem necessariamente a posição da Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica. A duplicação ou reprodução de todo ou partes e distribuição para fins não comerciais é permitida, desde que a PNME seja citada como fonte da informação. Para outros usos comerciais, incluindo duplicação, reprodução ou distribuição de todo ou partes deste estudo, é necessário o consentimento por escrito da Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica.

Maio de 2021

PREFÁCIO

A Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica (PNME) é um espaço para discussão e construção de metas de longo prazo para a mobilidade elétrica no Brasil, considerando os pontos de vista ambientais, tecnológicos, de políticas governamentais e de mercado. Criada a partir de um esforço conjunto de importantes atores do Governo, da Indústria, da Academia e da Sociedade Civil, a PNME discute questões sensíveis ao setor, considerado as especificidades e diferentes visões de cada tema, o que é o grande diferencial no trabalho da Plataforma.

O setor de transportes é a principal fonte de emissão das cidades brasileiras e, por isso, a PNME compreende a relevância de estimular o debate sobre a eletrificação na mobilidade urbana junto aos diferentes atores envolvidos. A mobilidade elétrica é uma resposta já concreta a vários desafios econômicos e ambientais em todo o mundo, e os benefícios que podem ser alcançados pela eletrificação dos sistemas de transporte público são especialmente caros, uma vez que melhoram a experiência dos usuários e ajudam a sociedade de uma maneira geral, colaborando, por exemplo, com a qualidade do ar nas cidades.

Além dos benefícios intrínsecos ao processo de eletrificação de sistemas de transportes, a conjuntura atual, pós-pandemia de Covid-19, apresenta-se como uma importante janela de oportunidade para pensar em formas de recuperação econômica que sejam sustentáveis e baseadas em princípios econômicos, sociais e ambientalmente responsáveis, buscando uma melhor qualidade de vida para a população.

Nesse sentido, o grupo de trabalho de ônibus elétrico (GT Ebus) da PNME tem trabalhado e discutido diferentes aspectos da eletrificação de frotas de ônibus urbanos, a fim de pensar em estratégias e ações capazes de alavancá-la nas diferentes realidades locais do território nacional, considerando as oportunidades e benefícios globais dessa mudança.

No Brasil, questões relacionadas à mobilidade urbana e sistemas de ônibus são amplamente decididas no âmbito municipal, mas há questões que superam as competências municipais e estão atreladas a políticas estaduais e nacionais, fazendo com que seja necessário pensar em um sistema de incentivos mais amplo e coordenado para promover a mobilidade elétrica. Políticas e incentivos nacionais são especialmente relevantes, uma vez que sinalizam uma posição estruturada e coordenada dos esforços.

O presente estudo foi elaborado com o objetivo de ser uma referência inicial de como as políticas nacionais podem interferir no processo de eletrificação das frotas. Por exemplo, políticas que privilegiem a redução do custo inicial de aquisição dos veículos e infraestruturas de apoio, como pontos de recarga, são incentivos reais à transição, considerando especialmente que o investimento inicial é um dos principais entraves para a mudança do modelo atual, uma vez que os custos de operação e do ciclo de vida dos veículo elétricos já são comprovadamente menores do que os de sistemas com veículos a combustão.

Assim, esta é uma contribuição da PNME e do GT Ebus para enriquecer a discussão sobre políticas públicas que favoreçam a questão de frotas de ônibus urbanos para veículos elétricos, levando em conta não somente a transição tecnológica, mas entendendo todo o potencial de melhorias sociais, ambientais e econômicas para a sociedade que podem vir atreladas a essa mudança.

Marília Neves
Coordenadora Técnica da PNME

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 7

1. ASPECTOS METODOLÓGICOS 8

2. ANÁLISE QUALITATIVA E QUANTITATIVA DAS VARIÁVEIS 10
- 2.1. Frota e Produção Nacional 10
- 2.2. Tributação vigente 10
- 2.3. Custo do ônibus 11
- 2.4. Custo da infraestrutura elétrica 11
- 2.5. Energia elétrica e Diesel 12
- 2.6. Custo de Manutenção, consumíveis e depreciação 13
- 2.7. Custo do financiamento 13
- 2.8. Impacto Cambial 13
- 2.9. Custo do Ciclo de Vida 14

3. CENÁRIOS DE ELETRIFICAÇÃO 15
- 3.1. Cenário Business as Usual 16
- 3.2. Cenário Moderado 18
- 3.3. Cenário Otimista 20
- 3.4. Cenário Regulatório Nacional 22

4. PROJEÇÃO DO IMPACTO ECONÔMICO-FINANCEIRO 24

5. CONCLUSÃO 26

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 | Esquema da Estrutura Metodológica 8

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 | Tributação do Ônibus Elétrico no Cenário BAU 16
Tabela 2 | Produção de ônibus elétricos para o cenário ***Business as Usual*** *17*
Tabela 3 | Frota circulante de ônibus elétricos para o cenário ***Business as Usual*** *17*
Tabela 4 | Tributação do Ônibus Elétrico no Cenário Moderado 18
Tabela 5 | Produção de ônibus elétricos para o cenário Moderado 19
Tabela 6 | Frota circulante de ônibus elétricos para o cenário Moderado 19
Tabela 7 | Tributação do Ônibus Elétrico no Cenário Otimista 20
Tabela 8 | Produção de ônibus elétricos para o cenário Otimista 21
Tabela 9 | Frota circulante de ônibus elétricos para o cenário Otimista 21
Tabela 10 | Tributação do Ônibus Elétrico no Cenário Regulatório Nacional 22
Tabela 11 | Produção de ônibus elétricos para o cenário Regulatório Nacional 23
Tabela 12 | Frota circulante de ônibus elétricos para o cenário Regulatório Nacional 23
Tabela 13 | Resultados Econômico-Financeiros de cada um dos cenários de migração 24
Tabela 14 | Síntese dos resultados de eletrificação e impactos econômico-financeiros 27

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 | Evolução dos preços do diesel e eletricidade industrial 12

Gráfico 2 | Previsão para os preços do diesel e eletricidade 13

Gráfico 3 | Custo do Ciclo de Vida do Ônibus Elétrico em Relação ao Ônibus a Diesel no Cenário Business as Usual 16

Gráfico 4 | Custo do Investimento Inicial do Ônibus Elétrico em Relação ao Ônibus a Diesel no Cenário Business as Usual 16

Gráfico 5 | Eletrificação da frota ao longo do tempo para o cenário Business as Usual 17

Gráfico 6 | Custo do Ciclo de Vida do Ônibus Elétrico em Relação ao Ônibus a Diesel no Cenário Moderado 18

Gráfico 7 | Custo do Investimento Inicial do Ônibus Elétrico em Relação ao Ônibus a Diesel no Cenário Moderado 18

Gráfico 8 | Eletrificação da frota ao longo do tempo para o cenário Moderado 19

Gráfico 9 | Custo do Ciclo de Vida do Ônibus Elétrico em Relação ao Ônibus a Diesel no Cenário Otimista 20

Gráfico 10 | Custo do Investimento Inicial do Ônibus Elétrico em Relação ao Ônibus a Diesel no Cenário Otimista 20

Gráfico 11 | Eletrificação da frota ao longo do tempo para o cenário Otimista 21

Gráfico 12 | Custo do Ciclo de Vida do Ônibus Elétrico em Relação ao Ônibus a Diesel no Cenário Regulatório Nacional 22

Gráfico 13 | Custo do Investimento Inicial do Ônibus Elétrico em Relação ao Ônibus a Diesel no Cenário Regulatório Nacional 22

Gráfico 14 | Eletrificação da frota ao longo do tempo para o cenário Regulatório Nacional 23

INTRODUÇÃO

O Brasil tem como meta reduzir em 43% os seus níveis de emissões de gases de efeito estufa até 2030 em relação ao ano base de 2005 (redução de 2,03 bilhões para 1,15 bilhão de toneladas de CO2 equivalente), de acordo com o compromisso firmado, em 2016, no Acordo de Paris da Convenção de Clima da ONU (Organização das Nações Unidas), além de ter uma meta de se tornar um país Carbono Neutro, ou seja, com emissões líquidas zero de gases efeito estufa (GEE) até o horizonte de 2060, como descrito no relatório "Brasil Carbono Zero em 2060" enviado à presidência em 2018. Para alcançar essa meta, políticas em diversas áreas precisam ser adotadas, incluindo no setor de transportes. Além disso, é necessário com o atual cenário de pandemia que uma recuperação econômica global seja pensada levando em conta um futuro com carbono neutro. Contribuindo para este processo, surge a Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica - PNME, um espaço para fomentar o desenvolvimento do setor no Brasil.

Criada em 2020, a PNME agrega mais de 30 instituições da indústria, poder público, sociedade civil e academia. A coordenação é feita pelo ICS (Instituto Clima e Sociedade), organização filantrópica que promove prosperidade, justiça e desenvolvimento de baixo carbono no Brasil.

No âmbito da Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica - PNME, foi criado o Grupo de Trabalho para Eletrificação de Ônibus – GT Ebus, composto por especialistas da sociedade civil, academia e agências públicas de desenvolvimento. Após apresentações e discussões com stakeholders do setor, ficou clara a importância da criação de cenários prospectivos que demonstrem o tamanho do mercado em potencial para eletrificação de ônibus em território nacional.

Dentro deste contexto, a Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica - PNME contratou a presente consultoria da ADDAX para a elaboração de estudo que crie cenários prospectivos da demanda potencial de eletrificação de ônibus no território brasileiro. Para isso, foi criada e aplicada uma metodologia para definição de cenários e, a partir disso, foram estabelecidos recortes temporais e identificadas variáveis que possam impulsionar ou retardar este processo no território nacional.

Inicialmente, foi discutida uma metodologia para projeção da frota de ônibus urbano, da cenarização de migração tecnológica e cálculo dos impactos econômico-financeiros estimados. Neste processo foi apresentado o contexto atual do mercado de ônibus brasileiro, com intuito de dimensionar a frota, sua produção destinada à renovação e ao incremento, assim como identificar a distribuição da frota de ônibus no país. Com o mercado atual caracterizado, foi então feita uma análise qualitativa das variáveis críticas, que por sua vez serviram para embasar a metodologia de criação das projeções de frota e de eletrificação. Com a metodologia de projeção de frota e de eletrificação de cada cenário estruturada, foi então apresentada a metodologia para dimensionamento dos impactos econômicos e financeiros.

Finalmente, são apresentados os resultados decorrentes da metodologia e das premissas formuladas para as variáveis-chave apresentadas no Produto 1, de forma a dimensionar cada um dos cenários criados e seus impactos.

O Capítulo 1 apresenta de forma esquematizada a metodologia proposta de forma a retomar e ilustrar resumidamente a sua aplicação.

O Capítulo 2 deste relatório, por sua vez, apresenta as formulações elaboradas acerca das variáveis determinantes identificadas no modelo de cenarização da eletrificação, e como elas influenciam na adoção da tecnologia de motorização elétrica na frota de ônibus nacional.

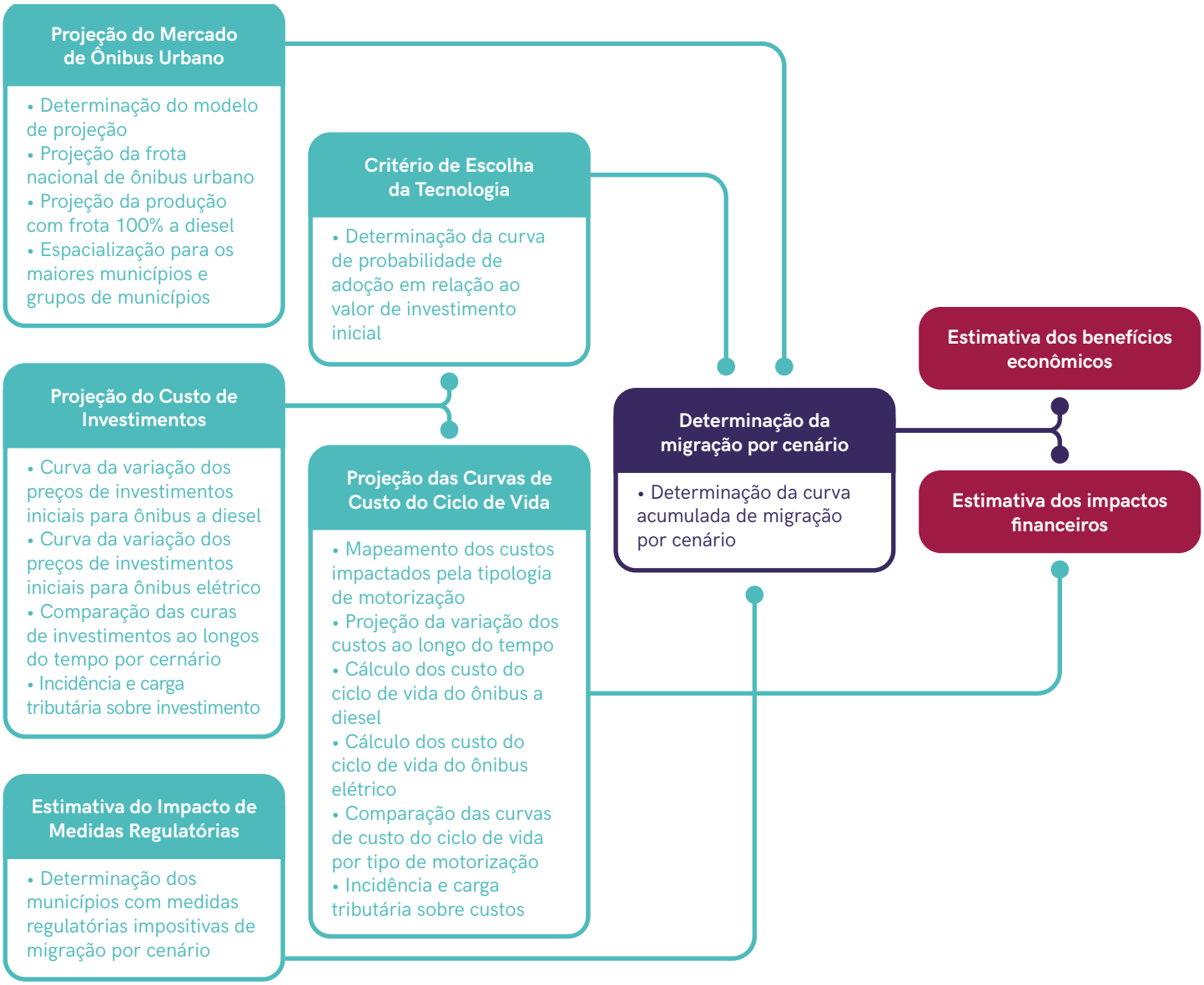
Enquanto isso, o Capítulo 3 apresenta o cálculo dos investimentos iniciais e do custo do ciclo de vida do ônibus elétrico, resultantes das variáveis apresentadas no capítulo anterior. A partir da curva de investimentos, dos parâmetros de custos e das premissas regulatórias cenarizadas, tem-se a dimensão da migração potencial para cada cenário formulado e o consequente impacto econômico-financeiro reproduzido no Capítulo 4.

Conclui-se o produto com um diagnóstico crítico dos resultados obtidos a partir de análises de sensibilidade a variáveis críticas e da cenarização formulada, juntamente com uma proposição de diretrizes para a política pública em âmbito federal.

1. ASPECTOS METODOLÓGICOS

A Figura 1 apresenta, de forma sintética, um esquema simplificado da metodologia adotada neste estudo.

Figura 1 | **Esquema da Estrutura Metodológica**



Elaboração: Addax

Em um primeiro momento é calculada a projeção de frota do mercado de ônibus nacional, que vai servir de base para as projeções dos cenários de eletrificação, e, posteriormente, para dimensionar os benefícios gerados pela eletrificação da frota. A projeção da frota foi estimada com base na tendência histórica observada de crescimento da frota em relação ao crescimento populacional. A partir da frota, calcula-se a produção anual de veículos, com base na taxa de renovação derivada da vida útil do veículo e na estimativa de incremento da frota patrimonial.

Também é avaliado o contexto regulatório na esfera municipal. Os compromissos de implantação de frota limpa existentes, mesmo que informais, dos municípios de São Paulo, Rio de Janeiro, Curitiba e Salvador também estão contemplados na cenarização proposta.

Paralelamente são construídas as curvas de custos, tanto dos investimentos iniciais, quanto do ciclo de vida, dos ônibus a diesel e elétricos a bateria. Em linhas gerais, estas curvas são formuladas a partir das expectativas de mercado para os preços relativos e são válidas para todos os cenários. Estes variarão exclusivamente em função das hipóteses formuladas para a carga tributária dos veículos elétricos e seus componentes no curto, médio e longo prazo, sendo as premissas e seus resultados apresentados no Capítulo 3.

A função de probabilidade da migração tecnológica pondera o volume de investimentos iniciais, e o valor presente do custo do ciclo de vida dos ônibus a diesel e elétricos. Os resultados obtidos para a eletrificação em cada cenário, apresentados também no Capítulo 3, dão a dimensão do mercado potencial para produção de ônibus elétricos a bateria diante dos diferentes cenários de incentivos e apoio Federal.

Com a migração definida é então desenvolvida a avaliação econômico-financeira dos cenários, que leva em consideração os impactos de redução da emissão de gases poluentes, de emissão de ruído e dos custos operacionais, e analisados os impactos gerados pelas políticas tributárias e pela migração.

2. ANÁLISE QUALITATIVA E QUANTITATIVA DAS VARIÁVEIS

2.1. FROTA E PRODUÇÃO NACIONAL

A produção de ônibus urbano foi estimada a partir da projeção da frota patrimonial e seu índice de renovação. Ao analisar o comportamento da relação entre a população e a frota circulantes, percebe-se de partida que há uma correlação de 0,99 entre estas variáveis, ou seja, a variação da frota patrimonial é aderente à variação da população. Também é possível constatar que as curvas da relação população/frota patrimonial são decrescentes e assintóticas, convergindo no longo prazo para 1.600 pessoas/ônibus urbano.

Assim, tomando as projeções populacionais formuladas pelo IBGE, tem-se a projeção da frota patrimonial urbana nacional, que ainda pode ser mais detalhada entre estimativas estaduais e municipais. Estima-se que a frota circulante nacional de ônibus parte de 393 mil veículos em 2020, divididos entre 125 mil urbanos e 268 mil ônibus rodoviários, para o patamar de 465 mil veículos em 2040, subdivididos em 146 mil ônibus urbanos e 319 mil ônibus rodoviários.

Considerando o crescimento da frota patrimonial e a respectiva vida útil e índice de renovação, pode-se então estimar a produção de ônibus urbanos no contexto nacional, que parte de cerca de 12 mil veículos em 2021, crescendo gradativamente até 2040 para atender a renovação e crescimento da frota estimada. A partir deste ano, a produção anual passa a girar em torno de 16 mil veículos, mantendo-se estável nos anos seguintes, sendo que após 2048 estes passam a ser destinados integralmente à renovação da frota, mas neste mesmo patamar de produção.[1, 2]

Em tempo, vale ressaltar que as estimativas formuladas para as frotas podem ser impactadas por investimentos em infraestrutura que gerem melhorias no desempenho operacional, como segregação de via, priorização semafórica e tecnologia da informação, que permitiram uma menor necessidade de frota para a mesma população atendida.

2.2. TRIBUTAÇÃO VIGENTE

Ainda no âmbito deste estudo, foi identificada a incidência tributária e alíquotas vigentes sobre a produção dos ônibus urbanos e seus componentes. Com relação aos impostos estaduais, com o intuito de simplificar o modelo, adotou-se como hipótese a carga tributária do Estado de São Paulo.

Estas alíquotas são válidas tanto para as frotas elétricas quanto a diesel. No entanto, os veículos a diesel acabam por não serem onerados pelo IPI sobre bateria e pelo imposto de importação, uma vez que sua produção é nacionalizada.

Impostos Federais

- IPI Veículo = 0,00%
- IPI Bateria = 15,00%
- PIS/Cofins = 9,25%
- Imposto de Importação = 35,00%

Impostos Estaduais

- ICMS = 13,30%
- IPVA = 2,00%

Como se verá, os cenários fiscais trabalharão em torno de diferentes hipóteses de incentivos fiscais no curto, médio e longo prazo, que variam em intensidade e duração dos descontos e/ou isenções. Optou-se por não onerar os sistemas de ônibus, seja taxando a motorização a diesel, obrigando migração sem incentivos fiscais, ou forçando renovação antecipada.

1. Assumindo frota 100% diesel. Os quantitativos de produção variam de acordo com a intensidade da eletrificação graças a uma maior vida útil dos veículos elétricos;

2. De acordo com o IBGE a população brasileira passa a cair levemente a partir de 2048. Considerou-se que a frota operacional seria mantida constante a partir deste ano, sendo refletida em melhores níveis de serviço.

2.3. CUSTO DO ÔNIBUS

Os preços dos ônibus utilizados para o cálculo dos investimentos foram estimados com base em dados históricos obtidos por meio da planilha tarifária da SPTrans no caso ônibus a diesel, assim como por meio de sua tributação incidente. Para o caso dos ônibus elétricos movidos a bateria, as projeções se basearam nos custos estimados para as baterias e no quanto estas representam do valor total do ônibus elétrico, publicadas pela Bloomberg, sendo então aplicadas as devidas tributações sobre os componentes.

No CAPEX do ônibus a diesel (fórmula 2.1) o custo do ônibus é calculado distinguindo os componentes nacionais dos importados, devido à tributação diferir para cada um desses componentes, e então é aplicado um fator de custo do financiamento estimado, que será apresentado no item 2.7, que pode reduzir o custo de aquisição do veículo de acordo com as taxas de financiamento praticadas.

Por sua vez, o CAPEX do ônibus elétrico (fórmula 2.2) é calculado a partir das estimativas do custo da bateria e sua representatividade sobre o custo do veículo, projetados pela Bloomberg[3], sempre em preços internacionais, para então serem convertidos a preços nacionais em função das premissas de componentes importados, custos de frete e imposto de importação e câmbio. A partir deste valor, assim como no ônibus a diesel, é aplicado um fator de custo do financiamento que, no caso dos veículos de baixa emissão de carbono, possuem condições mais vantajosas junto ao BNDES.

Ressalta-se que para todos os cenários, a premissa de importação foi mantida a mesma, sendo o ônibus a diesel de produção 100% nacional, enquanto o ônibus elétrico tem seus componentes de carroceria nacionalizados até 2028, mantendo-se a bateria sempre 100% importada. Devido às premissas de tributação variarem por cenários, o valor do ônibus elétrico sofre variações em cada um deles, sendo os resultados apresentados no Capítulo 3.

2.4. CUSTO DA INFRAESTRUTURA ELÉTRICA

Os custos de Infraestrutura necessários para atender a frota elétrica e suprir as características impostas pela logística de abastecimento de energia desta tipologia de frota foram calculados com base em parâmetros da planilha tarifária da SPTrans, que apresenta um valor de R$ 1.250,00 por mês para cada ônibus elétrico. Foi considerado que o valor mensal por ônibus seria mantido por todo o horizonte de projeto.

Para o ônibus a diesel, o investimento necessário em infraestrutura (bombas e tanques de combustíveis) acaba não sendo considerado nas estimativas, uma vez que essa infraestrutura já está implementada e, desta forma, seus custos já terem sido incorridos e depreciados. Nesse sentido, haveria ainda uma oportunidade de liberação de áreas mediante descontaminação.

$$CAPEX_t^{Diesel} = \begin{matrix} Custo_{veículo}^{Diesel} * \left(\%Nacional_{veículo}^{Diesel} * Tax_{nacionais}^{Diesel} + \right. \\ \left. \%Importado_{veículo}^{Diesel} * Tax_{importados}^{Diesel}\right) * Custo\ Financeiro_t^{Diesel} \end{matrix} \quad (2.1)$$

$$CAPEX_t^{Elétrico} = \left[\begin{matrix} Custo_{veículo}^{Elétrico} * \left(\begin{matrix} \%Nacional_{veículo}^{Elétrico} * Tax_{nacionais}^{Elétrico} \\ + \\ \%Importado_{veículo}^{Elétrico} * Tax_{importados}^{Elétrico} \end{matrix}\right) \\ + \\ + Custo_{bateria} * \left(\begin{matrix} \%Nacional_{bateria} * Tax_{nacionais}^{bateria} \\ + \\ \%Importado_{bateria} * Tax_{importados}^{bateria} \end{matrix}\right) \end{matrix}\right] * Custo\ Financeiro_t^{Elétrico} \quad (2.2)$$

3. Lithium-ion Battery Costs and Market, de 5 de julho de 2017.

2.5. ENERGIA ELÉTRICA E DIESEL

Os preços da energia elétrica e do diesel são dois componentes de risco de grande relevância nos custos totais de operação dos ônibus. No caso do diesel, este representa 65% dos custos de operação e manutenção dos veículos[4]. Já no caso dos veículos elétricos a bateria, o consumo de energia elétrica representa 30% dos custos.

A Empresa de Pesquisa Energética – EPE, em seu balanço energético, apresenta a evolução dos preços médios do diesel e da energia elétrica industrial. A partir do histórico observado, pode-se perceber que os preços dos dois componentes se mostraram aderentes no longo prazo.

A tendência futura segundo a U.S. Energy Information Administration - EIA, entretanto, é de que no curto prazo o preço relativo da energia elétrica aumente, já reflexo do seu maior peso na matriz de transportes, mas que seja reduzido no longo prazo, na medida em que a oferta energética aumente.

O histórico do preço do diesel foi obtido a partir das planilhas tarifárias da SPTrans, com exceção dos anos de 2019 e 2020, quando foram adotados os preços médios nacionais apresentados no Balanço Energético da EPE. Em 2020, o preço médio nacional do diesel foi de R$ 3,6140/litro.

Com relação à forma de aquisição da energia elétrica, considera-se a possibilidade de sua contratação por três formas: i. mercado cativo na categoria industrial; ii. mercado cativo na categoria de tarifa social de energia de tração, e; iii. mercado livre.

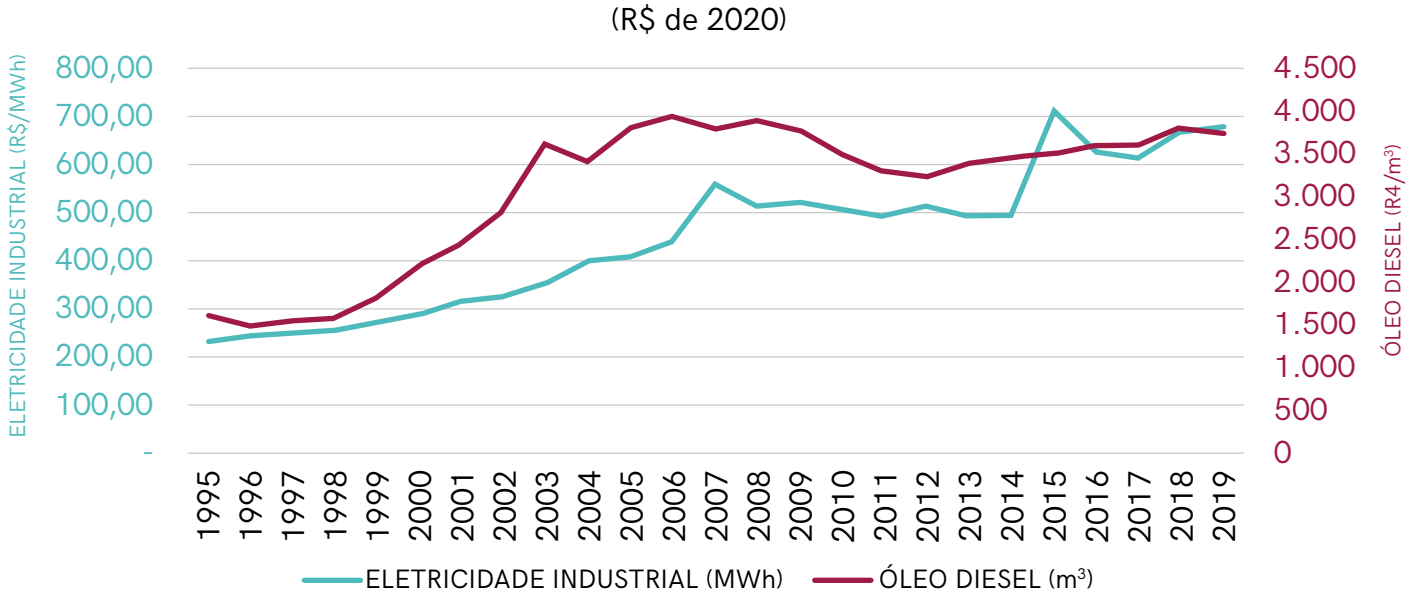
Segundo a EPE, o preço médio nacional da energia industrial no mercado cativo em 2020 foi de R$ 0,7628/kWh. Já a tarifa de energia de tração do mercado cativo teve uma média de R$ 0,4578/kWh no Sudeste em 2020, segundo a ANEEL. Enquanto isso, 70% das negociações no mercado livre não superaram R$ 0,2839/kWh, segundo a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE.

Como pode-se constatar, a forma de aquisição da energia pode ter impacto significativo no custo de vida da operação dos veículos elétricos. Como na aquisição via tarifa social pode haver barreiras jurídico-institucionais e a compra no mercado livre depende de escala da operação e investimentos em infraestrutura, optou-se, de forma conservadora, por considerar que a energia seria adquirida no mercado cativo na categoria industrial nos cenários Business as Usual, Moderado e Otimista. Já para o cenário Regulatório Nacional, parte-se da hipótese de compra de energia no mercado livre.

Adicionalmente, também poderia haver economia adicional com a instalação de painéis solares nas garagens e a geração de energia. Da mesma forma, por depender de investimentos adicionais, considerou-se de forma conservadora que estes não ocorreriam.

O modelo desenvolvido, todavia, é capaz de simular estes diferentes cenários relativos à energia elétrica.

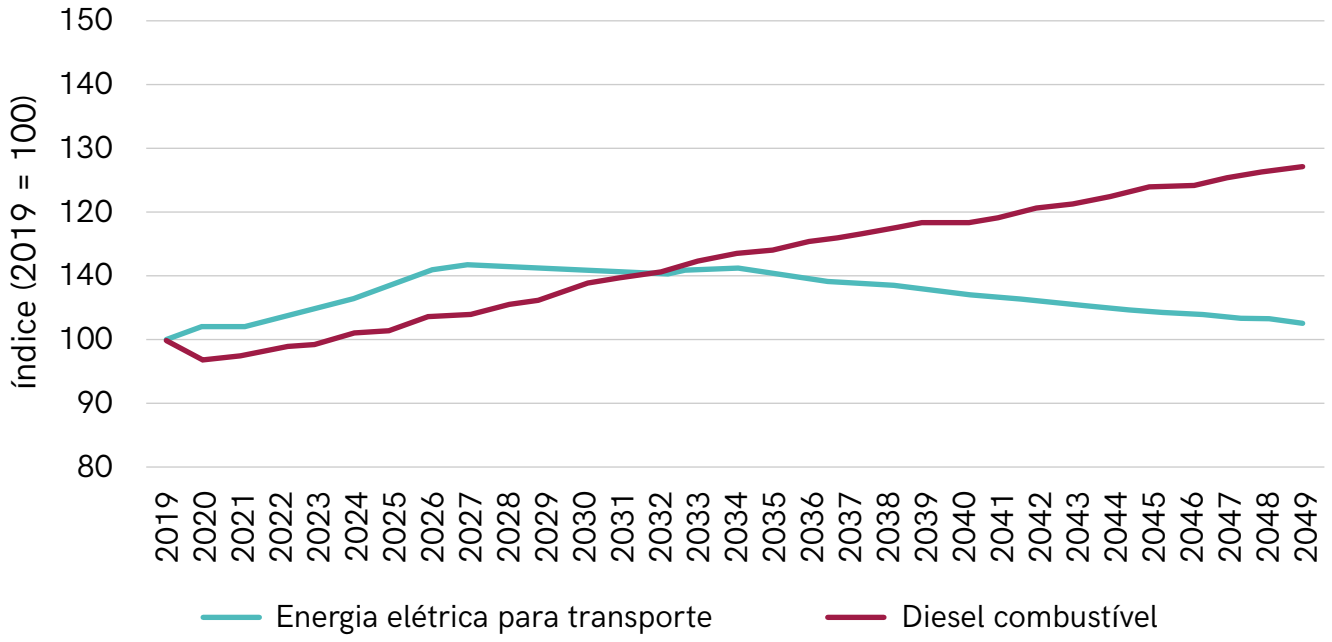
Gráfico 1 | **Evolução dos preços do diesel e eletricidade industrial**



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética – EPE; Elaboração: Addax

4. Desprezados os custos de mão de obra e administrativos.

Gráfico 2 | **Previsão para os preços do diesel e eletricidade**



Fonte: U.S. Energy Information Administration - EIA; Elaboração: Addax

2.6. CUSTO DE MANUTENÇÃO, CONSUMÍVEIS E DEPRECIAÇÃO

Os custos de manutenção, consumíveis e depreciação de veículos a diesel estão baseados nos parâmetros apresentados na planilha tarifária da SPTrans para veículos padron com idade média de 5 anos. Para os veículos elétricos, tomou-se como base parâmetros obtidos a partir da experiência chilena em Santiago, por haver maior frota circulante e tempo de rodagem.

2.7. CUSTO DO FINANCIAMENTO

Para as condições de financiamento dos veículos, tomou-se como base as linhas de crédito disponibilizadas pelo BNDES em abril de 2021. Para os ônibus a diesel, o BNDES disponibiliza uma linha denominada Finame BK Aquisição e Comercialização cujo custo é composto pela TLP, mais a taxa do BNDES, que varia entre 1,15% a.a. e 1,25% a.a., e a taxa do agente financeiro, negociada junto a instituição financeira intermediária, estimada em 3,85% a.a.. Como resultado, o custo do financiamento para aquisição dos veículos a diesel foi calculado em 7,49% a.a. em termos reais.

Já para os ônibus elétricos, o BNDES disponibiliza uma linha Finame - Baixo Carbono, em que o custo financeiro também parte da TLP, mas a taxa do BNDES é reduzida para 0,95% a.a. e a remuneração do agente financeiro limitada a 3,50% a.a.. Com isso, o custo do financiamento do veículo elétrico fica em 6,40% a.a..

Dada a linha tomada, o risco de inadimplemento é o principal fator na determinação da taxa do BNDES e do agente financeiro. Neste ponto, a estrutura financeira e de garantias adotada é fundamental para a mitigação de riscos, permitindo a redução das taxas. Nas avaliações realizadas, considerou-se que uma eventual estrutura financeira com segregação e securitização dos recebíveis, e estrutura adicional de garantias corporativas, permitiriam a redução da taxa de remuneração dos financiadores, reduzindo o custo do financiamento em pouco mais de 1,0 p.p..

2.8. IMPACTO CAMBIAL

A partir da análise da evolução dos preços no mercado nacional, pode-se constatar que tanto as carrocerias dos veículos elétricos e a diesel, quanto a bateria e o diesel combustível, têm seus preços no mercado interno atrelados aos preços internacionais. Esta característica acarreta exposição a variações cambiais, mesmo não havendo importação de componentes. Assim, a ferramenta desenvolvida precifica e projeta os preços dos ativos em dólar, convertendo-os para real em um segundo momento. Isso permite que sejam simulados inclusive cenários de sensibilidade cambial. Foi considerada a taxa de câmbio média de cada ano para os anos realizados, e mantida a média observada no primeiro trimestre de 2021 para os anos futuros.

2.9. CUSTO DO CICLO DE VIDA

As fórmulas adotadas para o cálculo do ciclo de vida dos ônibus, para o ônibus a diesel (3.1) e para o ônibus elétrico (3.2), respectivamente, são apresentadas a seguir:

A partir dos dados disponíveis para os anos realizados foi projetado e calculado o valor presente do custo de vida do ônibus a diesel e elétricos, considerando uma curva de evolução para os anos do horizonte de projeto.

$$CCV_t^{Diesel} = \begin{matrix} CAPEX_t^{Diesel} * TRC_t + VP_{Custos\ de\ Manutenção}^{Diesel} + VP_{Combustível} + \\ VP_{Lubrificantes} + VP_{Depreciação}^{Diesel} + VP_{IPVA}^{Diesel} \end{matrix} \quad (3.1)$$

$$CCV_t^{Elétrico} = \begin{matrix} CAPEX_t^{Elétrico} * TRC_t + VP_{Baterias\ e\ Infra} + VP_{Custos\ de\ Manutenção}^{Elétrico} + \\ VP_{Energia} + VP_{Depreciação}^{Elétrico} + VP_{IPVA}^{Elétrico} \end{matrix} \quad (3.2)$$

3. CENÁRIOS DE ELETRIFICAÇÃO

A primeira etapa para a estimativa da demanda potencial de frota elétrica de ônibus urbano foi calcular o mercado nacional total de ônibus urbano, que se baseou em projeções que variam de acordo com a população e a premissa de manutenção dos níveis de serviços oferecidos, assim como a manutenção da idade máxima de frota e de renovação. Estima-se que até o ano de 2050 a frota de ônibus urbanos brasileira chegue a aproximadamente 151 mil ônibus urbanos, um aumento de cerca de 19% em relação à frota de 2020 de cerca de 127 mil ônibus urbanos.

A partir desta frota total nacional, criou-se a estrutura de estimativa de eletrificação por cenários, que segue duas frentes: a primeira delas, regulatória, baseada na obrigatoriedade de eletrificação por meio de decisões legislativas por municípios ou federal, e; a segunda, mercadológica, que se baseia no volume de investimentos iniciais e no custo do ciclo de vida. A migração foi estimada com base em uma função de probabilidade ponderada entre o volume de investimentos iniciais e o custo do ciclo de vida.

Com o contexto regulatório previamente mapeado, e as projeções para os custos de investimentos e do valor presente do ciclo de vida resultantes de cada cenário, é então estimada para cada ano qual a captura de mercado da tecnologia elétrica em termos da produção.

Com relação à cenarização, a partir das variáveis qualitativas e quantitativas apresentadas no capítulo anterior, e da metodologia previamente definida, foram primeiramente determinados os parâmetros tributários, legislativos e de mercado, como curvas de preços unitários, parâmetros de consumo, e, no caso da energia, sua forma de contratação.

Com os cenários determinados foram então calculados a curva de investimentos iniciais, necessária para a migração tecnológica (fórmulas 2.1 e 2.2), e o valor presente do custo do ciclo de vida dos veículos (fórmulas 3.1 e 3.2), ano a ano, a diesel e elétrico, de forma a possibilitar a construção de funções de escolha e estimar a probabilidade acumulada de eletrificação.

Optou-se por não onerar o sistema de ônibus, assim manteve-se a taxação atual sobre a motorização a diesel para todos os cenários, além das premissas de financiamento e garantias existentes. Desta forma, em todos os cenários a curva de evolução do custo de vida do ônibus a diesel se manteve igual.

No tocante aos ônibus elétricos, cada um dos cenários é composto por uma premissa de tributação que afeta diretamente os investimentos iniciais na aquisição dos veículos e baterias, assim como em outros fatores que também afetam o valor presente do custo de vida do ônibus elétrico, e, consequentemente, na taxa de eletrificação de cada cenário.

Outro ponto que também influencia a taxa de migração devido ao seu impacto nos investimentos e no ciclo de vida é a criação de estruturas financeiras e de garantias, capacitando a redução da taxa de financiamento.

Estima-se que para o ano de 2020 o custo de vida do ônibus elétrico seja 1,2 vezes maior que o ônibus a diesel, desta forma ainda tendo sua operação mais onerosa em relação ao custo de vida do veículo a combustão. Ao mesmo tempo, estima-se que os investimentos iniciais para aquisição de um veículo elétrico sejam 3,1 vezes maiores do que o de um ônibus equivalente a diesel. Este último se mostra um fator mais restritivo do que o primeiro para a eletrificação da frota de ônibus urbano.

A tendência é que os ônibus elétricos ganhem competitividade em ambas as relações ao longo do tempo, devido principalmente à redução dos custos das baterias utilizadas pelos veículos elétricos e pela de dinâmica do preço das fontes de abastecimento. Apesar da alta dos preços do diesel e da energia elétrica terem tido um comportamento similar no histórico observado, a representatividade do custo do diesel é maior sobre o custo do ciclo de vida do que a da energia elétrica.

Abaixo são apresentadas as premissas de cada um dos cenários, os resultados das curvas comparativas do custo de ciclo de vida e dos investimentos iniciais e, então, as taxas de migrações esperadas decorrentes destes parâmetros.

3.1. CENÁRIO BUSINESS AS USUAL

Para o cenário Business as Usual (BAU), as tributações do ônibus elétrico e a diesel foram mantidas inalteradas, conforme Tabela 1, mantendo a tributação vigente apresentada no Capítulo 2.2 por todo o horizonte de projeto, fazendo com que as variações de preços dos ônibus elétricos não sejam impactadas por este fator, mas somente pela queda de preço esperada dos componentes. Quanto ao preço de fornecimento de energia, neste cenário foi adotada a compra de energia industrial, sendo esta decisão conservadora, devido à dificuldade de acesso a outros tipos de fornecimento que pode ocorrer para diversos munícipios. Por sua vez, foi mantida a estrutura atual de financiamentos e de garantias, sendo as taxas adotadas para a análise, estimadas a partir de dados do BNDES, de 7,49% a.a. para a aquisição de ônibus a diesel e 6,40% a.a. para a aquisição de ônibus elétricos.

Para este cenário, estima-se que o custo do ciclo de vida do ônibus elétrico se equipare ao custo do ciclo de vida do ônibus a diesel no ano de 2025, porém, para este mesmo ano, estima-se que o investimento inicial no ônibus elétrico ainda seja 2,2 vezes maior do que o ônibus a diesel, considerando somente a compra do veículo e baterias, mas sem o investimento em infraestrutura, que foi tratado como custeio ao longo do seu ciclo de vida, como é possível observar nos gráficos abaixo.

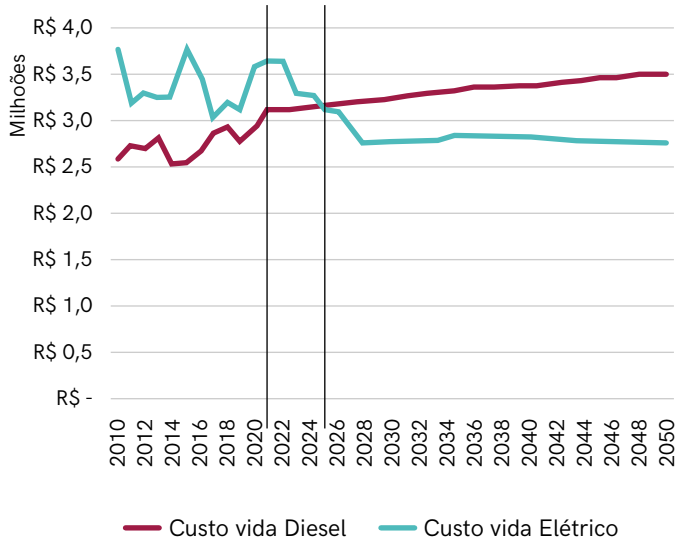
Tabela 1 | **Tributação do Ônibus Elétrico no Cenário BAU**

Tributação Elétrico	I. Import	PIS/Cofins	ICMS	IPVA	IPI Bateria	Carga Tributária Resultante*
de 2021 a 2025	35,00%	9,25%	13,30%	2,00%	15,00%	30,70%
de 2026 a 2030	35,00%	9,25%	13,30%	2,00%	15,00%	25,50%
de 2031 a 2050	35,00%	9,25%	13,30%	2,00%	15,00%	25,50%

* Carga tributária média resultante para o período, incidente sobre os investimentos iniciais de ônibus elétricos, de acordo com as premissas de nacionalização e de tributação adotadas para o cenário

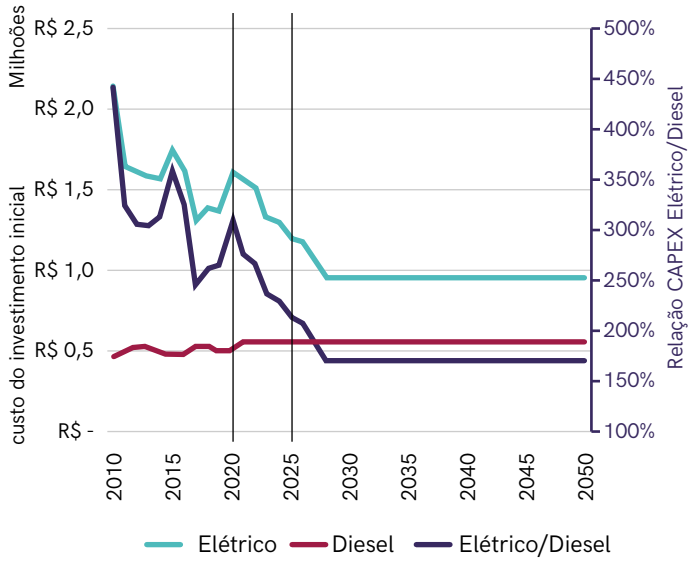
Elaboração: Addax

Gráfico 3 | **Custo do Ciclo de Vida do Ônibus Elétrico em Relação ao Ônibus a Diesel no Cenário Business as Usual**



Elaboração: Addax

Gráfico 4 | **Custo do Investimento Inicial do Ônibus Elétrico em Relação ao Ônibus a Diesel no Cenário Business as Usual**



Elaboração: Addax

Para o horizonte de projeto de 2050, por sua vez, estima-se que o ciclo de vida do ônibus elétrico seja 77% do custo do ciclo de vida do ônibus a diesel, mesmo que o investimento inicial ainda seja 1,7 vezes maior. Isso decorre do fato dos custos operacionais e de manutenção do ônibus a diesel serem bem mais elevados em relação ao ônibus elétrico. Porém, ressalta-se que devido ao investimento inicial ainda representar um patamar alto na comparação, este fator acaba restringindo o mercado potencial.

Neste cenário, estima-se que a frota que migrará devido à redução do custo do ciclo de vida e de investimentos ao longo do tempo será pouco maior do que a frota dos municípios de São Paulo, Rio de Janeiro, Salvador, Curitiba, Campinas e São José dos Campos, cidades que já possuem legislação para redução de poluentes ou que tenham manifestado interesse em aderir a frotas não poluentes, que juntas representam cerca de 24% de toda a frota urbana nacional.

A partir dos fatores e das curvas apresentadas acima para este cenário, estima-se que a produção de ônibus elétrico represente 21% do total de ônibus urbanos produzidos no país até 2050, resultando em uma frota circulante nacional de cerca de 47 mil ônibus, aproximadamente 31% da frota nacional.

Na Tabela 2 é apresentada a projeção da produção de ônibus elétricos e a diesel acumulada, para cada período indicado, necessária para suprir a demanda nacional, enquanto na Tabela 3 é apresentada a distribuição da frota por tipo de motorização, resultando na evolução de frota apresentada no Gráfico 5.

Tabela 2 | **Produção de ônibus elétricos para o cenário *Business as Usual***

PRODUÇÃO ACUMULADA NO PERÍODO					
PERÍODO	TOTAL	DIESEL	Market (%)	ELÉTRICO	Market (%)
2001 a 2010	151.425	151.425	100%	0	0%
2011 a 2020	214.995	214.948	100%	47	0%
2021 a 2025	78.540	74.351	94,7%	4.189	5,3%
2026 a 2030	78.761	64.829	82,3%	13.932	17,7%
2031 a 2050	296.009	232.978	78,7%	63.121	21,3%

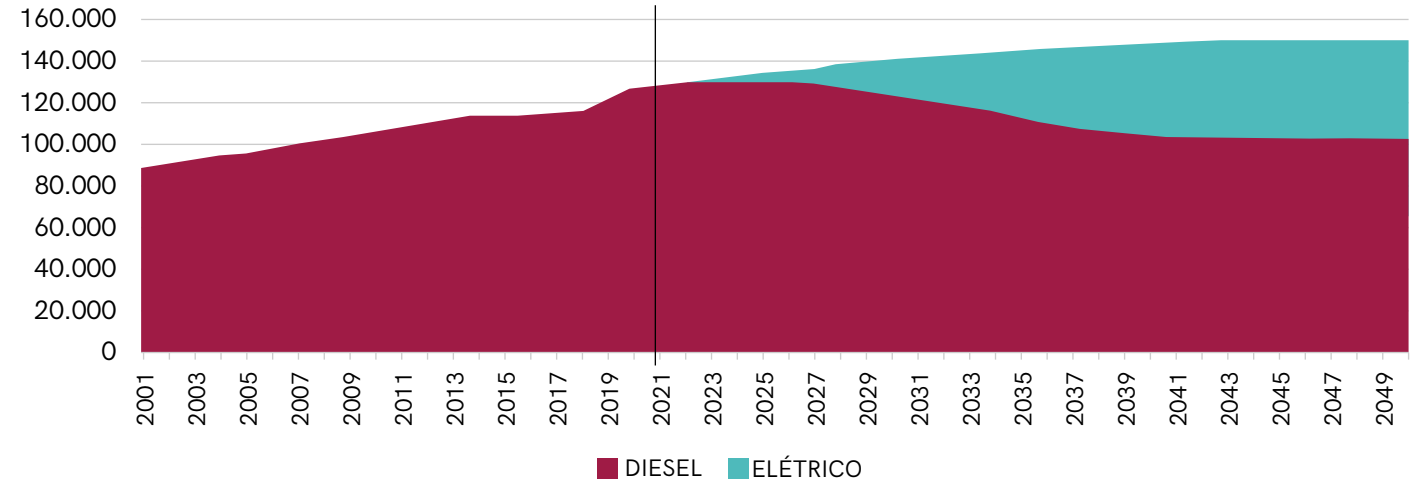
Elaboração: Addax

Tabela 3 | **Frota circulante de ônibus elétricos para o cenário *Business as Usual***

FROTA CIRCULANTE					
PERÍODO	TOTAL	DIESEL	Frota (%)	ELÉTRICO	Frota (%)
2001 a 2010	106.077	106.077	100%	0	0%
2011 a 2020	127.317	127.270	100%	47	0%
2021 a 2025	135.152	130.916	96,9%	4.236	3,1%
2026 a 2030	141.590	123.422	87,2%	18.168	12,8%
2031 a 2050	151.037	103.470	68,5%	47.567	31,5%

Elaboração: Addax

Gráfico 5 | **Eletrificação da frota ao longo do tempo para o cenário Business as Usual**



Elaboração: Addax

3.2. CENÁRIO MODERADO

No cenário Moderado, a tributação do ônibus a diesel foi mantida inalterada, enquanto a tributação do ônibus elétrico foi zerada no curto prazo, até 2025, e retomada parcial e gradualmente no médio e longo prazo, assim como apresentada na Tabela 4. Com isso, a redução dos preços dos ônibus elétricos esperada pela queda de preço nos componentes é intensificada pela menor tributação, tornando a alternativa elétrica mais competitiva. Quanto ao preço de fornecimento de energia, foi adotada como premissa a compra de energia industrial, assim como no cenário Business as Usual. Por sua vez, foi mantida a estrutura atual de financiamentos e de garantias, sendo as taxas adotadas para a análise, estimadas a partir de dados do BNDES, de 7,49% a.a. para a aquisição de ônibus a diesel e 6,40% a.a. para a aquisição de ônibus elétricos.

Para este cenário é estimado que o custo do ciclo de vida do ônibus elétrico se equipare ao custo do ciclo de vida do ônibus a diesel já no primeiro ano de redução dos tributos, porém, para este mesmo ano, estima-se que o investimento inicial no ônibus elétrico ainda seja 2 vezes maior do que a versão equivalente a diesel, como é possível observar nos gráficos abaixo.

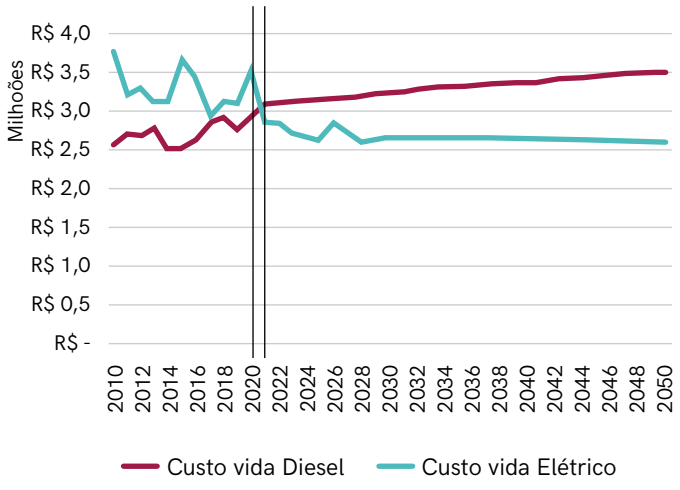
Tabela 4 | **Tributação do Ônibus Elétrico no Cenário Moderado**[5]

Tributação Elétrico	I. Import	PIS/Cofins	ICMS	IPVA	IPI Bateria	Carga Tributária Resultante*
de 2021 a 2025	0,00%	0,00%	8,00%	2,00%	0,00%	8,00%
de 2026 a 2030	7,00%	9,25%	12,00%	2,00%	0,00%	18,60%
de 2031 a 2050	11,00%	9,25%	12,00%	2,00%	0,00%	19,20%

* Carga tributária média resultante para o período, incidente sobre os investimentos iniciais de ônibus elétricos, de acordo com as premissas de nacionalização e de tributação adotadas para o cenário

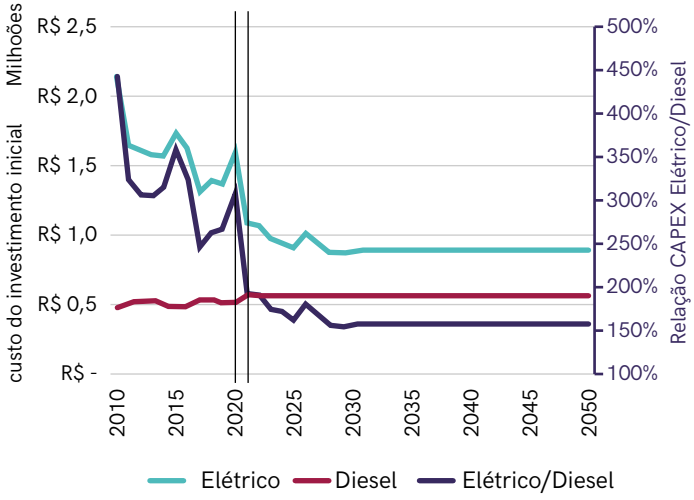
Elaboração: Addax

Gráfico 6 | **Custo do Ciclo de Vida do Ônibus Elétrico em Relação ao Ônibus a Diesel no Cenário Moderado**



Elaboração: Addax

Gráfico 7 | **Custo do Investimento Inicial do Ônibus Elétrico em Relação ao Ônibus a Diesel no Cenário Moderado**



Elaboração: Addax

5. As alíquotas foram dimensionadas de forma que a carga tributária resultante gerasse o incentivo desejado para a migração da motorização para cada cenário, respeitando os horizontes de curto, médio e longo prazos. Também, as alíquotas propostas levam em consideração padrões de desonerações praticados em outros casos ou momentos históricos. Pela concepção dos cenários, o Cenário Moderado se localiza em posição intermediária em relação aos cenários BAU e Otimista. Priorizou-se a redução dos tributos federais em virtude de seu impacto na carga e sua abrangência nacional.

Para o horizonte de projeto de 2050, estima-se que nesse cenário o valor presente do custo do ciclo de vida do ônibus elétrico seja 74% do custo do ciclo de vida do ônibus a diesel, mesmo que o investimento inicial ainda seja 1,6 maior. O investimento inicial, porém, é significativamente reduzido em comparação ao cenário Business as Usual, o que aumenta ainda mais a vantajosidade do ônibus elétrico em seu ciclo de vida.

Quanto à questão regulatória, foram adotadas as mesmas premissas que no cenário BAU, o que resultou no mesmo peso e porcentagem, desta forma este sempre representando um potencial de migração menor do que aquele motivado por questões mercadológicas. Desta forma, a partir dos fatores e das curvas apresentadas acima para este cenário, estima-se que a produção de ônibus elétrico represente 30% do total de ônibus urbanos produzidos no país até 2050, resultando em uma frota nacional de cerca de 64 mil ônibus elétricos, aproximadamente 42% da frota nacional.

A partir dos resultados obtidos é possível observar que uma isenção tributária parcial, como a adotada neste cenário, pode estimular a adoção do ônibus elétrico, fazendo o market-share subir de 31% no cenário Business as Usual para 42%, acarretando cerca de 16 mil ônibus elétricos a mais até o ano de 2050. Os impactos econômicos e financeiros deste e demais cenários estão abordados no Capítulo 4.

Tabela 5 | **Produção de ônibus elétricos para o cenário Moderado**

PRODUÇÃO ACUMULADA NO PERÍODO					
PERÍODO	TOTAL	DIESEL	Market (%)	ELÉTRICO	Market (%)
2001 a 2010	151.425	151.425	100%	0	0%
2011 a 2020	214.995	214.948	100%	47	0%
2021 a 2025	78.540	64.909	82,6%	13.631	17,4%
2026 a 2030	77.080	57.393	74,5%	19.687	25,5%
2031 a 2050	278.715	195.589	70,2%	83.126	29,8%

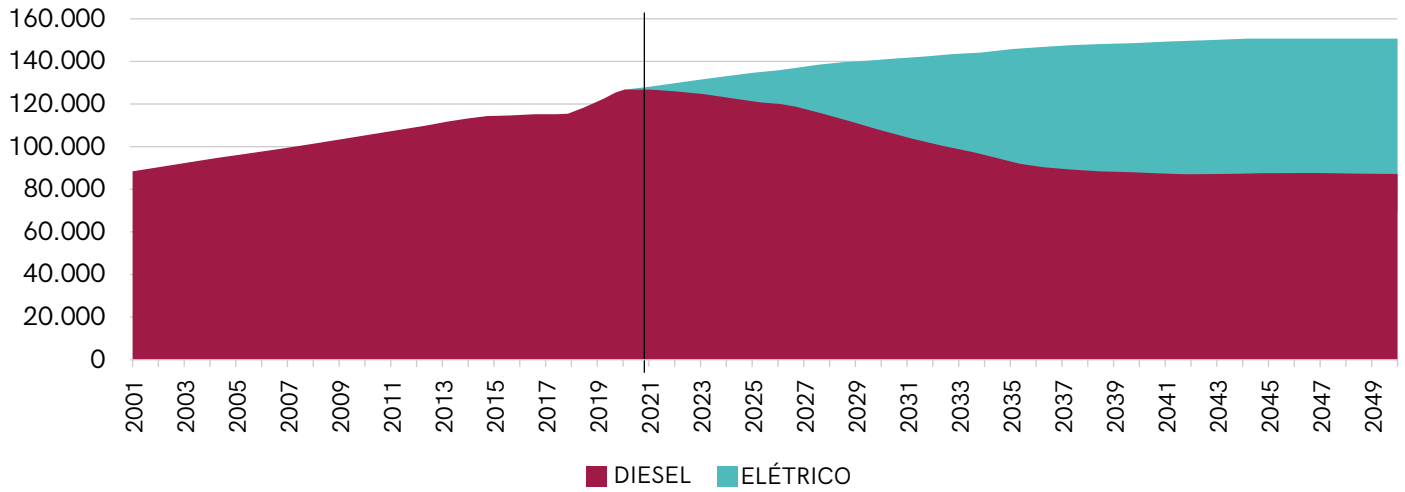
Elaboração: Addax

Tabela 6 | **Frota circulante de ônibus elétricos para o cenário Moderado**

FROTA CIRCULANTE					
PERÍODO	TOTAL	DIESEL	Frota (%)	ELÉTRICO	Frota (%)
2001 a 2010	106.077	106.077	100%	0	0%
2011 a 2020	127.317	127.270	100%	47	0%
2021 a 2025	135.152	121.474	89,9%	13.678	10,1%
2026 a 2030	141.590	108.225	76,4%	33.365	23,6%
2031 a 2050	151.037	87.244	57,8%	63.793	42,2%

Elaboração: Addax

Gráfico 8 | **Eletrificação da frota ao longo do tempo para o cenário Moderado**



Elaboração: Addax

3.3. CENÁRIO OTIMISTA

No cenário Otimista, a tributação do ônibus a diesel também foi mantida inalterada, enquanto a tributação federal do ônibus elétrico foi zerada por todo o horizonte de projeto, e a tributação estadual foi reduzida, assim como mostra a Tabela 7. Com isso, os preços dos ônibus elétricos são reduzidos por todo o período em análise, ainda mais do que seriam reduzidos exclusivamente pela redução esperada para o custo dos componentes pela consolidação da tecnologia ao longo do tempo (refletida no Cenário BAU). Quanto à aquisição de energia, também é adotada como premissa a compra de energia industrial no mercado cativo, assim como nos cenários BAU e Moderado. Todavia, passa-se a considerar a adoção de estruturas de financiamentos e de garantias para o caso das aquisições de veículos elétricos, o que permite a redução do custo do financiamento para 5,37% a.a.. O custo de financiamento para caso dos veículos a diesel se mantém inalterado em 7,49% a.a..

Como resultado, neste cenário o custo do ciclo de vida do ônibus elétrico fica abaixo do custo do ciclo de vida do ônibus a diesel desde o primeiro ano de redução dos tributos, atingindo um patamar de 89% do valor deste, similar ao cenário Moderado. O investimento inicial no ônibus elétrico ainda parte de 1,9 vez maior do que o ônibus a diesel, mas atinge patamares mais vantajosos no médio e longo prazos, resultados impactados também pela redução dos custos de financiamento citados acima, que podem ser vistos nas curvas apresentadas nos gráficos abaixo. Neste cenário vale ressaltar que a isenção total do imposto de importação tem um impacto maior sobre as baterias, pois estas foram consideradas sendo importadas por todo o horizonte de projeto, dado o seu papel estratégico para a indústria, assim como explanado no item 2.3 deste relatório.

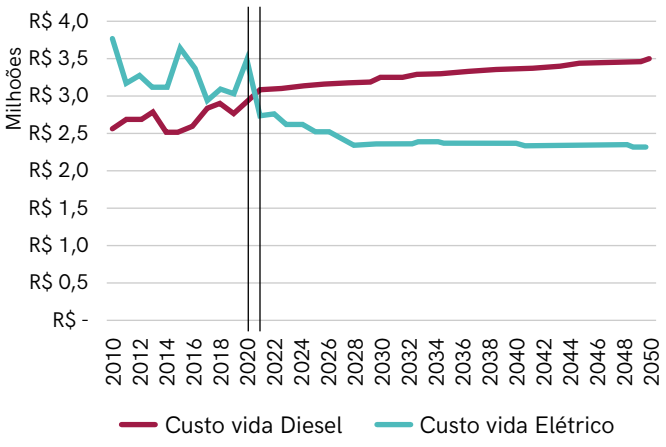
Tabela 7 | **Tributação do Ônibus Elétrico no Cenário Otimista**

Tributação Elétrico	I. Import	PIS/Cofins	ICMS	IPVA	IPI Bateria	Carga Tributária Resultante*
de 2021 a 2025	0,00%	0,00%	8,00%	2,00%	0,00%	8,00%
de 2026 a 2030	0,00%	0,00%	8,00%	2,00%	0,00%	8,00%
de 2031 a 2050	0,00%	0,00%	8,00%	2,00%	0,00%	8,00%

* Carga tributária média resultante para o período, incidente sobre os investimentos iniciais de ônibus elétricos, de acordo com as premissas de nacionalização e de tributação adotadas para o cenário

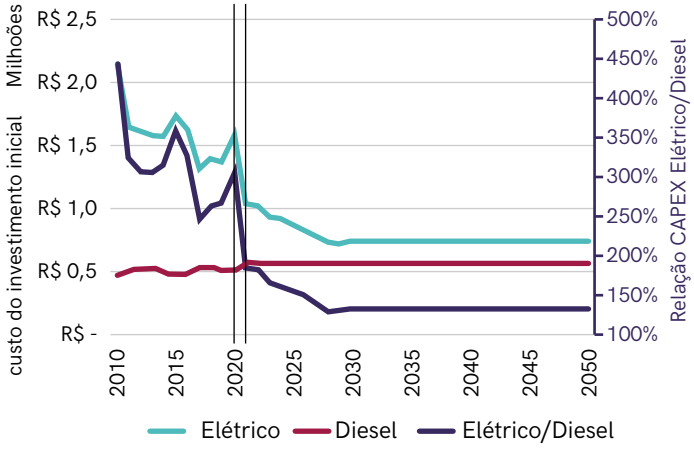
Elaboração: Addax

Gráfico 9 | **Custo do Ciclo de Vida do Ônibus Elétrico em Relação ao Ônibus a Diesel no Cenário Otimista**



Elaboração: Addax

Gráfico 10 | **Custo do Investimento Inicial do Ônibus Elétrico em Relação ao Ônibus a Diesel no Cenário Otimista**



Elaboração: Addax

Estima-se que em 2050, neste cenário, o valor presente do custo do ciclo de vida do ônibus elétrico seja 66% do custo do ciclo de vida do ônibus a diesel, com o investimento inicial somente 31% maior do que o similar a diesel, atingindo um excelente nível de competitividade.

Neste caso, os incentivos fiscais e mercadológicos vão muito além dos potenciais impactos causados pela premissa regulatória a nível municipal. Estima-se que a produção de ônibus elétrico represente 52% do total de ônibus urbanos produzidos no país até 2050, resultando em uma frota nacional de cerca de 96 mil ônibus urbanos elétricos, ou 64% da frota nacional. Vale ressaltar que a produção de ônibus elétrico garante uma porcentagem maior de ônibus elétricos na frota circulante devido à sua vida útil ser de 15 anos comparada à vida útil do ônibus a diesel, que é de 10 anos.

Com base nestes resultados é possível concluir que a desoneração dos impostos, em especial os federais, inclusive no longo prazo, e a criação de estruturas específicas de financiamento e garantias podem mais que dobrar a participação de ônibus elétrico na frota urbana nacional, ao se comparar ao cenário Business as Usual, com uma frota estimada de quase 50 mil ônibus elétricos.

O impacto na arrecadação de impostos causado pelas políticas fiscais simuladas, assim como seus benefícios econômicos e financeiros, é discutido no Capítulo 4.

Tabela 8 | **Produção de ônibus elétricos para o cenário Otimista**

PRODUÇÃO ACUMULADA NO PERÍODO					
PERÍODO	TOTAL	DIESEL	Market (%)	ELÉTRICO	Market (%)
2001 a 2010	151.425	151.425	100%	0	0%
2011 a 2020	214.995	214.948	100%	47	0%
2021 a 2025	78.540	61.542	78,4%	16.998	21,6%
2026 a 2030	76.677	41.539	54,2%	35.138	45,8%
2031 a 2050	248.727	120.455	48,4%	128.272	51,6%

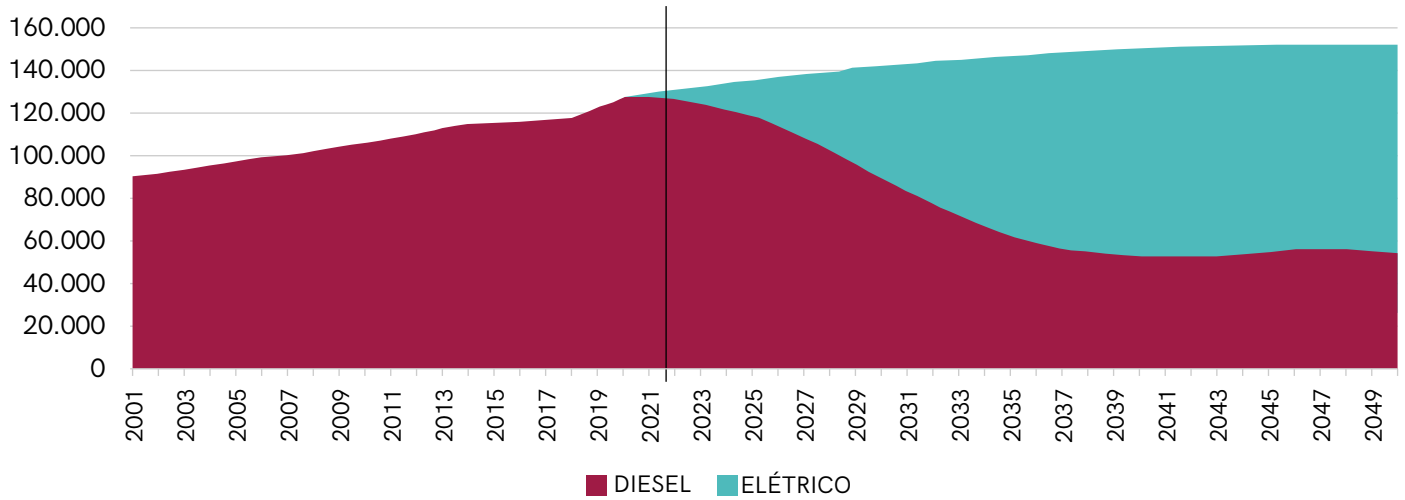
Elaboração: Addax

Tabela 9 | **Frota circulante de ônibus elétricos para o cenário Otimista**

FROTA CIRCULANTE					
PERÍODO	TOTAL	DIESEL	Frota (%)	ELÉTRICO	Frota (%)
2001 a 2010	106.077	106.077	100%	0	0%
2011 a 2020	127.317	127.270	100%	47	0%
2021 a 2025	135.152	118.107	87,4%	17.045	12,6%
2026 a 2030	141.590	89.407	63,1%	52.183	36,9%
2031 a 2050	151.037	54.706	36,2%	96.331	63,8%

Elaboração: Addax

Gráfico 11 | **Eletrificação da frota ao longo do tempo para o cenário Otimista**



Elaboração: Addax

3.4. CENÁRIO REGULATÓRIO NACIONAL

O cenário regulatório nacional é um cenário que parte de uma premissa de modelo regulatório federal impositivo rígido, no qual toda a frota nacional deverá ser eletrificada, o que faria com que a produção de ônibus a diesel fosse zerada em 2036 no país. Neste cenário, os municípios são obrigados a adotar o ônibus elétrico de forma a reduzir 100% dos poluentes. Esta adoção, porém, gera uma dinâmica tributária que foi dimensionada de forma a minimizar o impacto na arrecadação de impostos, mas ainda assim reduzir os preços, de forma a não onerar demasiadamente os municípios com menor poder de compra, como mostra a Tabela 10.

Assim como no cenário otimista, foi adotada a premissa de estruturas de financiamentos e de garantias, de forma a reduzir os ricos de crédito e facilitar o acesso de mais municípios à compra de frota elétrica, reduzindo para 5,37% a.a. para a aquisição de ônibus elétricos. As taxas de financiamento para aquisição de ônibus a diesel são mantidas em 7,49% a.a..

Diferentemente dos outros cenários, considerou-se que a compra de energia elétrica para o abastecimento da frota se daria via mercado livre, sem geração de energia para revenda, reduzindo assim os custos com abastecimento em relação ao abastecimento via energia industrial que compôs os outros cenários, conforme antecipado no item 2.5. Este modelo seria viável, por exemplo, em um contexto em que os ativos estivessem segregados da operação e parte dos recebíveis fosse securitizado para garantir o pagamento dos compromissos assumidos junto às instituições financiadoras.

Desta forma as curvas comparativas entre os custos do ciclo de vida e dos investimentos iniciais do ônibus elétrico em relação ao ônibus a diesel são apresentadas abaixo.

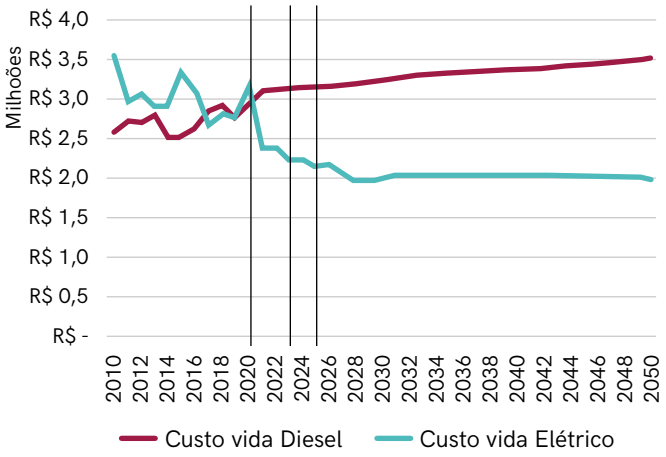
Tabela 10 | **Tributação do Ônibus Elétrico no Cenário Regulatório Nacional**

Tributação Elétrico	I. Import	PIS/Cofins	ICMS	IPVA	IPI Bateria	Carga Tributária Resultante*
de 2021 a 2025	0,00%	0,00%	8,50%	2,00%	0,00%	8,50%
de 2026 a 2030	10,00%	0,00%	8,50%	2,00%	0,00%	9,80%
de 2031 a 2050	20,00%	0,00%	8,50%	2,00%	15,00%	14,30%

* Carga tributária média resultante para o período, incidente sobre os investimentos iniciais de ônibus elétricos, de acordo com as premissas de nacionalização e de tributação adotadas para o cenário

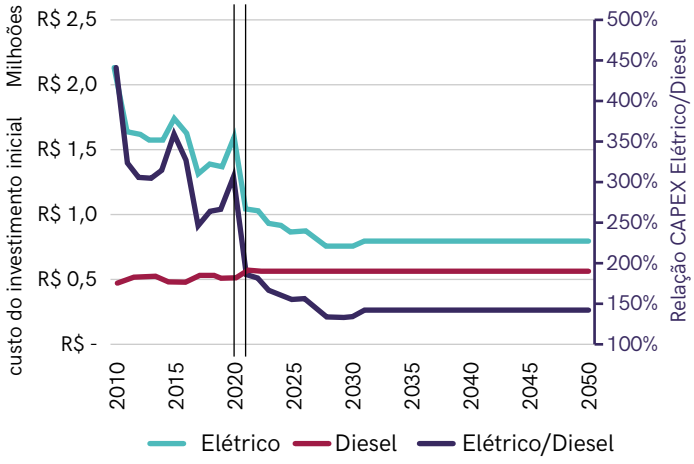
Elaboração: Addax

Gráfico 12 | **Custo do Ciclo de Vida do Ônibus Elétrico em Relação ao Ônibus a Diesel no Cenário Regulatório Nacional**



Elaboração: Addax

Gráfico 13 | **Custo do Investimento Inicial do Ônibus Elétrico em Relação ao Ônibus a Diesel no Cenário Regulatório Nacional**



Elaboração: Addax

O ciclo de vida se mantém sempre em um patamar vantajoso no caso da adoção da tecnologia elétrica. O investimento inicial, porém, parte de um valor 86% maior do que o dos ônibus a diesel no primeiro ano, dadas as isenções de impostos propostas. Em 2036, primeiro ano no qual a produção se tornaria 100% elétrica, o ônibus elétrico teria o valor presente do seu custo do ciclo de vida 39% mais baixo do que a alternativa a diesel. Grande parte deste custo são os investimentos iniciais, que ainda seriam 41% superiores aos investimentos necessários para o ônibus a diesel, o que reforça a importância da adoção de estruturas financeiras e de garantias, principalmente visando a redução das taxas de financiamento, de forma a ser possível minimizar o seu ônus aos municípios, barateando os financiamentos neste cenário.

O cenário Regulatório Nacional atinge uma frota urbana nacional 100% elétrica em 2043, com cerca de 151 mil ônibus urbanos elétricos, mantendo seu ciclo de renovação após esta data. Ressalta-se que foi decidido não onerar o sistema de ônibus com trocas antecipadas, desta forma a eletrificação ocorrendo juntamente ao processo de renovação da frota determinado de forma a manter a idade máxima de 10 anos para o ônibus a diesel e 15 anos para o ônibus elétrico com uma troca intermediária de baterias no oitavo ano.

Tabela 11 | **Produção de ônibus elétricos para o cenário Regulatório Nacional**

PRODUÇÃO ACUMULADA NO PERÍODO					
PERÍODO	TOTAL	DIESEL	Market (%)	ELÉTRICO	Market (%)
2001 a 2010	151.425	151.425	100%	0	0%
2011 a 2020	214.995	214.948	100%	47	0%
2021 a 2025	78.540	60.005	76,4%	18.535	23,6%
2026 a 2030	76.449	40.390	52,8%	36.059	47,2%
2031 a 2050	212.904	14.134	6,6%	198.770	93,4%

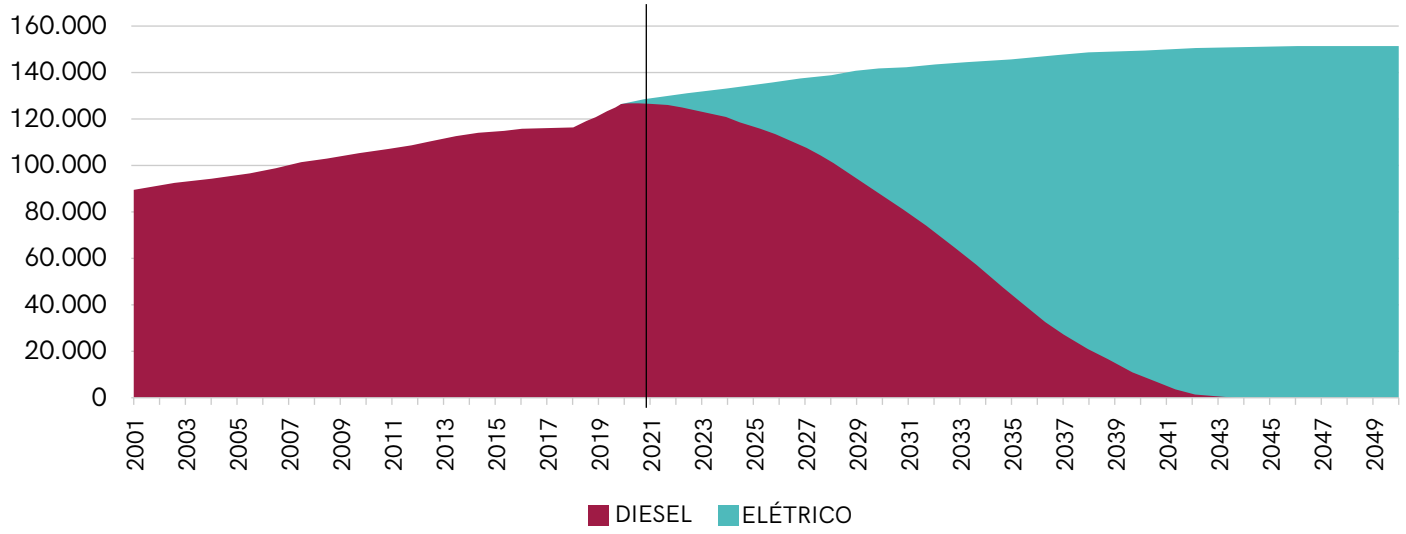
Elaboração: Addax

Tabela 12 | **Frota circulante de ônibus elétricos para o cenário Regulatório Nacional**

FROTA CIRCULANTE					
PERÍODO	TOTAL	DIESEL	Frota (%)	ELÉTRICO	Frota (%)
2001 a 2010	106.077	106.077	100%	0	0%
2011 a 2020	127.317	127.270	100%	47	0%
2021 a 2025	135.152	116.570	86,3%	18.582	13,7%
2026 a 2030	141.590	86.949	61,4%	54.641	38,6%
2031 a 2050	151.037	0	0%	151.037	100%

Elaboração: Addax

Gráfico 14 | **Eletrificação da frota ao longo do tempo para o cenário Regulatório Nacional**



Elaboração: Addax

4. PROJEÇÃO DO IMPACTO ECONÔMICO-FINANCEIRO

Como definido na metodologia, ao se implementar um projeto de mobilidade urbana é possível avaliar o impacto econômico-financeiro que este projeto irá gerar, de forma a estimar o benefício/custo gerado por este projeto, avaliando pelo Valor Presente Líquido (VPL) os benefícios gerados, frente aos custos de implementação deste projeto.

Por se tratar de um projeto de migração de tecnologia de abastecimento de frota os benefícios gerados se restringem a:

- Benefícios financeiros, caracterizados pela redução dos custos operacionais, que incluem a redução em consumo de combustíveis, redução dos custos de manutenção e a redução de consumíveis;
- Benefícios econômicos, também entendidos como custo social, restringindo-se a redução na emissão de poluentes e redução na emissão de ruídos.

Esta análise é feita para cada um dos cenários de migração de frota para motorização elétrica ao se comparar à hipótese de não migração de frota, analisando-se o Valor Presente Líquido destes benefícios a custos econômicos, a uma taxa de desconto de 3,45% a.a..

Como é possível observar a partir da Tabela 13, o impacto total dos benefícios [A] aumenta de acordo com o aumento do market-share do ônibus elétrico, devido a seu menor custo operacional e a não emissão de gases poluentes e ruído. Já os investimentos incrementais [B] também aumentam de acordo ao tamanho da frota elétrica, uma vez que seus investimentos são maiores, mesmo com os incentivos fiscais. O impacto na arrecadação de impostos, por sua vez, tem seu comportamento determinado pela dinâmica entre a política de tributação adotada para cada cenário e do investimento inicial realizado, desta forma podendo-se gerar uma maior arrecadação devido ao aumento dos investimentos, ou diminuindo de acordo com a magnitude das isenções tributárias, como explicado no Capítulo 3 para cada um dos cenários.

Tabela 13 | **Resultados Econômico-Financeiros de cada um dos cenários de migração**

Resultados de 2021 até 2050 em valor presente em R$ (MM) de 2020	BAU	Moderado	Otimista	Regulatório Nacional
Redução do Custo operacional	R$ 57.794	R$ 85.224	R$ 138.732	R$ 271.660
Redução da Emissão de Gases Poluentes	R$ 2.813	R$ 4.144	R$ 6.416	R$ 8.834
Redução da Emissão de Ruído	R$ 2.998	R$ 4.416	R$ 6.838	R$ 9.415
Impacto Total [A]	**R$ 63.606**	**R$ 93.784**	**R$ 151.985**	**R$ 289.909**
Investimento Incremental [B]	**R$ 16.585**	**R$ 27.986**	**R$ 43.491**	**R$ 55.632**
Impacto Arrecadação de Impostos [C]	**R$ 18.808**	**R$ 7.840**	**- R$ 9.407**	**R$ 910**
Benefício/Custo (A/B)	**3,84**	**3,35**	**3,49**	**5,21**
TIRE*	**13,8%**	**14,5%**	**16,7%**	**23,2%**
Value for Money [A-B+C]	**R$ 65.829**	**R$ 73.637**	**R$ 99.087**	**R$ 235.187**
Redução do Custo Operacional (%)**	**9,6%**	**14,1%**	**22,9%**	**44,9%**
Volume a ser financiado (valor nominal)	**R$ 325.025**	**R$ 322.589**	**R$ 315.198**	**R$ 349.646**
2021 a 2025	R$ 51.649	R$ 54.812	R$ 56.470	R$ 57.326
2026 a 2030	R$ 53.429	R$ 53.877	R$ 55.760	R$ 57.054
2031 a 2050	R$ 219.947	R$ 213.900	R$ 202.967	R$ 235.267

* Taxa Interna de Retorno Econômico

** Desconsiderando os custos com mão de obra e administrativos

Elaboração: Addax

No caso do cenário Business as Usual, no qual a frota elétrica nacional atingiria um patamar de aproximadamente 31% da frota urbana, o impacto dos benefícios gerados [A] chegariam a de R$ 63,6 bilhões ao longo do horizonte de avaliação, devido, principalmente, à redução de cerca de 9,6% nos custos operacionais. Em contrapartida, os investimentos iniciais [B] para a aquisição de frota teriam um incremento de R$ 16,6 bilhões, atingindo dessa forma uma relação benefício/custo ([A]/[B]) de 3,84 e uma TIRE (Taxa Interna de Retorno Econômica) de 13,8% a.a., resultado atrativo do ponto de vista social. Por sua vez, sob a ótica financeira do poder público, neste cenário seriam arrecadados R$ 18,8 bilhões a mais de impostos [C], frente a um cenário de rota 100% diesel[6], decorrentes do aumento dos investimentos em aquisição de frota e maior carga tributária, resultando em um Value for Money ([A]-[B]+[C]) de R$ 65,8 bilhões em valor presente.

Por sua vez, no cenário Moderado, que atinge uma frota de 42% de ônibus elétricos em 2050, os benefícios gerados alcançariam um patamar de R$ 93,8 bilhões em valor presente, devido a uma redução de 14,1% nos custos operacionais, representando R$ 85,2 bilhões, e de R$ 4,1 bilhões em redução na emissão de poluentes, e de outros R$ 4,4 bilhões graças à redução da emissão de ruídos. Neste cenário os investimentos em compra de frota representam um incremento de R$ 28 bilhões, também em valor presente, resultando em um benefício/custo de 3,35 e uma TIRE de 14,5% a.a.. A arrecadação de impostos teria um aumento de R$ 7,8 bilhões em valor presente, resultado mais contido em comparação ao cenário Business as Usual, mas ainda assim positivo. A partir destes indicadores, pode-se calcular que o Value for Money atinge um valor de R$ 73,6 bilhões em valor presente.

Enquanto isso, no cenário Otimista, os ônibus elétricos chegam a representar 64% da frota nacional de ônibus urbano, resultando em um investimento incremental em aquisição de frota de R$ 43,5 bilhões em valor presente. A arrecadação de impostos, todavia, é impactada devido à isenção de impostos, o que representaria uma redução de cerca de R$ 9,4 bilhões de arrecadação em valor presente. Por outro lado, os benefícios gerados atingiriam R$ 151,9 bilhões, também em valor presente, patamar bastante expressivo, reflexo de uma redução de 22,9% dos custos operacionais dos sistemas de ônibus municipais. Neste cenário a relação benefício/custo é de 3,49, e a TIRE de 16,7% a.a., valores muito atrativos, além do Value for Money ser de R$ 99,1 bilhões.

Finalmente, a partir da imposição legal da migração da frota para a tecnologia elétrica, e da redução temporária e parcial da carga tributária, que compõem o cenário Regulatório Nacional, calcula-se que o poder público poderia ter um impacto neutro na arrecadação de impostos, resultando a hipótese proposta de tributação em um leve aumento de R$ 900 milhões em valor presente na arrecadação de impostos. Neste cenário, a redução com custos operacionais dos sistemas de ônibus urbanos atingiria um patamar de R$ 271,6 bilhões em valor presente, redução de 44,9% em relação à operação com frota inteiramente a diesel, além de gerar R$ 8,8 bilhões de benefícios em redução de gases poluentes e R$ 9,4 bilhões em redução de ruídos, resultando em R$ 289,9 bilhões em valor presente de geração de benefícios econômico-financeiros. O investimento incremental para este cenário, por sua vez, seria de R$ 55,6 bilhões em valor presente, representando uma relação benefício/custo de 5,21 e uma TIRE de 23,2% a.a., também elevando o Value for Money para um patamar de R$ 235,2 bilhões em valor presente. Vale ressaltar que para este cenário, assim como para o Otimista, foi adotada a premissa de criação de estruturas financeiras e de garantias, assim como descrito anteriormente, fator que se demonstra muito importante, juntamente com a aquisição de energia no mercado livre, como forma de minimizar os ônus da transição e maximizar os seus benefícios aos municípios, devido à obrigatoriedade de migração.

6. Comparação feita em relação a um cenário com a frota atual 100% a diesel, de forma a melhorar a compreensão do impacto da redução dos custos operacionais em relação à operação atual

5. CONCLUSÃO

A partir das avaliações realizadas no âmbito deste estudo, pode-se concluir que em um Cenário Regulatório Nacional de eletrificação de 100% da frota nacional de ônibus urbano até 2045, ocorreria um benefício social da ordem de R$ 290 bilhões em valor presente[7]. A maior parte deste benefício estaria concentrada na redução dos custos de operação e manutenção dos sistemas de ônibus municipais, que, no agregado nacional, reduziriam 45% em relação aos custos de operação da frota a diesel, representando uma economia de R$ 272 bilhões em valor presente até 2050. Tal fato pode refletir em melhores serviços aos usuários, tarifas públicas mais baixas e atrativas e/ou menores subsídios públicos ao transporte público coletivo.

Ainda neste cenário de eletrificação promovida em âmbito nacional, a compra de energia elétrica seria feita no mercado livre, o que permitiria expressiva redução de 35% dos custos, uma vez que o consumo de energia é o maior componente de gastos operacionais, desconsiderando mão de obra operacional e administrativa. Também, o custo do financiamento pode ser reduzido, em uma hipótese, por meio da centralização da compra dos ativos e segregação da operação, com securitização de recebíveis e outras garantias, o que contribui para a redução dos custos financeiros da eletrificação da frota, assim como premissa do modelo para este cenário.

Para que todo este benefício ocorra, todavia, faz-se necessário um volume de investimentos da ordem de R$ 350 bilhões em termos nominais até 2050, cerca de R$ 55,6 bilhões a mais do que seriam gastos no caso de a frota ser integralmente a diesel, já considerando as reposições de frota e baterias. Este montante justificaria um programa de investimentos coordenado no âmbito federal, tendo em vista o expressivo benefício local e difuso que eles gerariam. Neste cenário, a relação benefício/custo ficaria em 5,21 e a TIRE (Taxa Interna de Retorno Econômica) em 23,3%a.a., indicadores sociais em patamares atrativos para bancos de fomento internacionais.

Na outra ponta, pelo cenário Business As Usual (BAU) simulado, onde não ocorre qualquer tipo de incentivo especial direcionado à frota de ônibus limpa, a frota elétrica até 2030 ficaria em 13% da frota urbana total e, até o final de 2050, não chegará a representar mais de 32% da frota. Isso significa que, em termos de representatividade de frota, a migração estaria limitada aos 10 municípios com maiores frotas do país, que somam 34% da frota nacional, sendo que já sinalizaram interesse em eletrificar suas frotas: São Paulo, Rio de Janeiro, Curitiba, Salvador, Campinas e São José dos Campos, que juntos representam cerca de 25% da frota nacional.

Este cenário já representa um benefício social, no entanto, bem mais limitado. O valor presente dos benefícios ficariam em R$ 63,6 bilhões, refletindo uma relação benefício/custo de 3,84 e uma TIRE 13,8% a.a.. Neste caso, a carga tributária encarece os investimentos que, tanto aumentam o "custo" na relação "benefício/custo", quanto diminuem os benefícios de redução dos custos operacionais.

Já no caso de um programa de incentivos de curto e médio prazo, com o objetivo de desonerar os investimentos necessários para esta transição, em especial nos próximos cinco anos, de forma a auferir maior competividade aos veículos elétricos, a eletrificação ganha participação, aumenta seu market-share para 24% até 2030 e 42% até 2050, um incremento de 10 p.p.. Neste caso, ilustrado pelo Cenário Moderado, a carga tributária é reduzida no curto prazo de forma mais intensa: de 22,55% para 8% no caso dos componentes nacionais, e; de 57,55% para 8% no caso dos componentes importados. Com os processos de ganho de eficiência das baterias e nacionalização dos componentes, a carga tributária retorna gradativa e parcialmente para 21,25% e 32,25%, respectivamente, permitindo que a abrangência da eletrificação aumentasse para um percentual equivalente ao das 30 maiores frotas municipais. Em termos de produção, são 14 mil veículos elétricos produzidos até 2025, pouco menos de 19 mil entre 2026 e 2030, e cerca de 83 mil veículos elétricos entre 2031 e 2050. No caso do BAU, as produções para os mesmos períodos ficam em 4 mil, 14 mil e 63 mil veículos elétricos.

7. Considerando o fluxo de benefícios acumulados até 2050.

Para que a eletrificação possa cobrir um número maior de municípios e ter penetração inclusive entre municípios com menor capacidade financeira, e fora das regiões metropolitanas, o programa de incentivos deve ser mais abrangente e duradouro, desonerando os investimentos em frota elétrica mesmo após o momento em que esta atinja seu ponto de maior eficiência produtiva (2028). Para o Cenário Otimista, considerou-se que a redução da carga tributária para 8% seria mantida por todo o período. Nesta hipótese, a participação da frota elétrica atinge 37% da frota até 2030 e 64% até 2050. Em termos de produção, são quase 17 mil veículos elétricos produzidos até 2025, 35 mil entre 2026 e 2030, e pouco mais de 128 mil veículos elétricos entre 2031 e 2050.

No que tange aos benefícios econômico-financeiros dos cenários formulados, logicamente, estes aumentam em valor presente na medida em que os incentivos são incrementados e elevem o market-share da frota elétrica. Ao mesmo tempo, a TIRE e o VfM crescentes indicam que, tanto do ponto de vista social, quando do ponto de vista financeiro sob a ótica do Estado, a eletrificação da frota é desejável, sendo melhores os indicadores quando maior for a sua abrangência e mais rápido ocorrer este processo de transição, respeitada a vida útil dos veículos.

Tabela 14 | **Síntese dos resultados de eletrificação e impactos econômico-financeiros**

Cenário	**BAU**		**Moderado**		**Otimista**		**Regulatório Nacional**	
Periodo	%na Frota	Produção no Período	%na Frota	Produção no Período	%na Frota	Produção no Período	%na Frota	Produção no Período
2021 a 2025	3%	4.189	10%	13.631	13%	16.998	14%	18.535
2026 a 2030	13%	13.932	24%	19.687	37%	35.138	39%	36.059
2031 a 2050	31%	63.121	42%	83.126	64%	128.272	100%	198.770
VPL do Impacto Total (R$ MM) [A]	**R$ 63.606**		**R$ 93.784**		**R$ 151.985**		**R$289.909**	
Investimento Incremental (R$ MM) [B]	**R$ 16.585**		**R$ 27.986**		**R$ 43.491**		**R$ 55.632**	
Benefício/Custo (A/B)	**3,84**		**3,35**		**3,49**		**5,21**	
TIRE*	**13,80%**		**14,50%**		**16,70%**		**23,20%**	
Value for Money [A-B+C]	**R$ 65.829**		**R$ 73.637**		**R$ 99.087**		**R$ 235.187**	
Redução do Custo Operacional (%)**	**9,60%**		**14,10%**		**22,90%**		**44,90%**	

* Taxa Interna de Retorno Econômico
** Desconsiderando os custos com mão de obra e administrativos

Elaboração: Addax

PNME

Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica

Por meio de:

iCS instituto CLIMA e SOCIEDADE

Apoio:

C40 CITIES

LABMOB Laboratório de Mobilidade Sustentável

FUNDEP Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa

AEA Associação Brasileira de Engenharia Automotiva