

### Serviços de consultoria:

**Estudo de viabilidade de um corredor de veículos elétricos na região sul do país, ligando os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.**



**RELATÓRIO FINAL**

**Março de 2021**

## Estudo de viabilidade de um corredor de veículos elétricos na região sul do país, ligando os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul

# Relatório Final

31 de março de 2021

### **Autores**

Harold Del Castillo

Oriol Biosca

Andreu Ullied

Frederic Lloveras

Rafa Rodrigo

Eduardo Germani

Andrea Yamamoto

Tetuo Niizu

Vernon Kohl

Vinicius Albernaz

Jose Wanderley Marangon

Matias Esoin

Alberto Gómez

Judith Muntal

## ÍNDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. OBJETIVOS .....</b>  | <b>4</b>  |
| <b>2. CONTEXTO DO MERCADO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS .....</b>  | <b>5</b>  |
| 2.1. Contexto global de veículos .....   | 5         |
| 2.2. Benefícios ambientais.....  | 5         |
| 2.3. As metas “políticas” enquanto os veículos elétricos no mundo .....                                    | 7         |
| 2.4. Crescimento Global das Frotas.....  | 8         |
| <b>3. PREVISÃO DE DEMANDA ELÉTRICA VEICULAR NA REGIÃO SUL .....</b>  | <b>11</b> |
| 3.1. Metodologia .....   | 11        |
| 3.2. Crescimento da demanda de mobilidade: consumo de combustível veicular 2030 e 2040.....                | 13        |
| 3.3. Crescimento da frota de veículos elétricos 2030 e 2040 .....  | 15        |
| 3.4. Previsão de demanda elétrica veicular 2030 e 2040 .....   | 17        |
| 3.5. Demanda de mobilidade veicular total na região, especializada por microrregiões.....                  | 18        |
| 3.6. Distribuição do mercado potencial do veículo elétrico, espacializado por setores censitários .....    | 19        |
| 3.7. Distribuição espacial da previsão de consumo de eletricidade por VE.....                              | 20        |
| <b>4. NECESSIDADES DE INVESTIMENTO NA INFRAESTRUTURA ELÉTRICA .....</b>                                    | <b>22</b> |
| 4.1. Implicações do veículo elétrico no sistema elétrico.....  | 22        |
| 4.2. Curvas de carga do veículo elétricos .....  | 25        |
| 4.3. Contexto para avaliar as necessidades de reforço .....  | 30        |
| 4.4. Relação demanda e investimento em rede .....  | 33        |
| 4.5. Enquadramento dos veículos elétricos.....   | 42        |
| 4.6. Valoração das necessidades de investimento.....   | 45        |
| <b>5. MODELOS DE NEGÓCIO.....</b>  | <b>47</b> |
| 5.1. Modelos de negócio vinculados ao Carregamento Residencial .....                                       | 47        |
| 5.2. Modelos de negócio vinculados ao carregamento no local de trabalho .....                              | 49        |
| 5.3. Modelos de negócio vinculados ao carregamento em locais comerciais .....                              | 50        |
| 5.4. Modelos de negócio vinculados ao carregamento público. Formas de cobrança associadas .....            | 51        |
| 5.5. Discussão da rentabilidade do VE para um usuário particular no Brasil .....                           | 54        |
| 5.6. Discussão da rentabilidade de um eletroposto comercial no Brasil .....                                | 55        |
| 5.7. Discussão do interesse econômico teórico das distribuidoras .....                                     | 56        |
| 5.8. Sínteses de sistemas de cobrança existentes .....   | 57        |
| <b>6. ANÁLISE DO INTERESSE DOS DIFERENTES AGENTES PARA COM O DESENVOLVIMENTO DA ELETROMOBILIDADE .....</b> | <b>61</b> |
| <b>7. PROJETO DE ESTAÇÕES DE CARREGAMENTO PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS.....</b>                                 | <b>63</b> |

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| 7.1.       | Marcos regulatórios e normativos .....  | 63        |
| 7.2.       | Avaliação das tecnologias disponíveis do veículo elétrico .....                                 | 65        |
| 7.3.       | Avaliação das tecnologias disponíveis dos pontos de recarga .....                               | 66        |
| 7.4.       | Proposta de estação de carregamento. ....   | 72        |
| 7.5.       | Estimativa de Custos .....  | 75        |
| <b>8.</b>  | <b> PROPOSTA DE CORREDOR PARA MOBILIDADE ELÉTRICA NA REGIÃO SUL DO BRASIL E PAÍSES VIZINHOS</b> |           |
|            | <b>76</b>   |           |
| 8.1.       | Identificação da infraestrutura sendo desenvolvida na região.....                               | 76        |
| 8.2.       | Compatibilidade com a infraestrutura das regiões vizinhas .....                                 | 79        |
| 8.3.       | Definição do corredor para mobilidade elétrica.....   | 80        |
| 8.4.       | Pontos de abastecimento.....  | 81        |
| 8.5.       | Custos de implantação do corredor.....  | 84        |
| <b>9.</b>  | <b> CONCLUSÕES.....</b>   | <b>85</b> |
| 9.1.       | Sobre o desenvolvimento da eletromobilidade na região .....                                     | 85        |
| 9.2.       | Projeção de demanda.....  | 86        |
| 9.3.       | Necessidades de investimento em infraestrutura elétrica.....                                    | 86        |
| 9.4.       | Modelos de negócio e Sistemas de cobrança .....   | 87        |
| 9.5.       | Conclusões sobre os desenhos de eletropostos .....  | 88        |
| 9.6.       | Conclusões sobre o corredor elétrico.....   | 89        |
| <b>10.</b> | <b> BIBLIOGRAFIA .....</b>  | <b>91</b> |
| <b>11.</b> | <b> ÍNDICES REMESSIVOS .....</b>  | <b>95</b> |
| 11.1.      | Índice de Figuras .....   | 95        |
| 11.2.      | Índice de Tabelas.....  | 98        |

## 1. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é apoiar a implementação de soluções de mobilidade elétrica no contexto regional mediante a avaliação e o desenho estratégico de um corredor de veículos elétricos (VE) entre os três estados e com os países vizinhos.

O trabalho visa contribuir com o modelo de tomada de decisão para o desenvolvimento de corredores de VEs no Brasil, de forma coordenada entre os Estados da região Sul (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul) e os países vizinhos (Argentina, Paraguai e Uruguai).

Operacionalmente o estudo teve os seguintes objetivos:

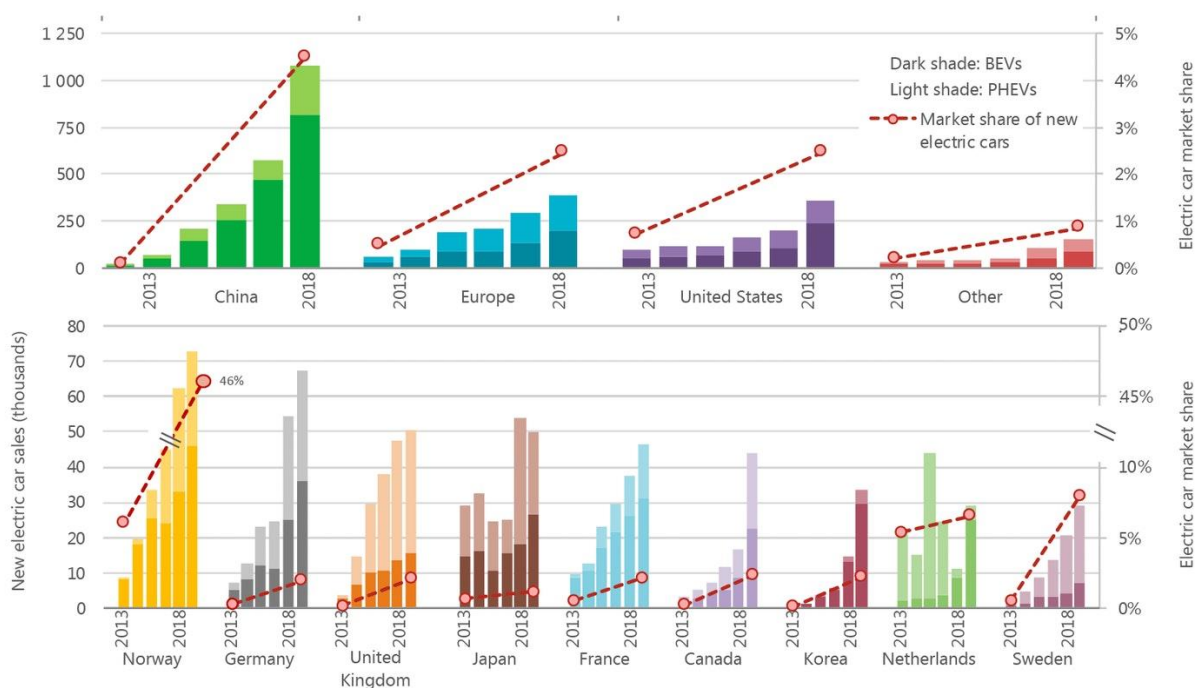
- Projetar a demanda de tráfego, veículos elétricos e seu consumo de energia nos três estados da Região Sul para o horizonte de 2030 e 2040 considerando diferentes cenários (BaU, intermediário, alta adoção).
- Identificar as necessidades de crescimento e reforço nos sistemas de geração e transporte de energia elétrica em função das demandas dos eletropostos definidos, com base nas projeções para os diferentes cenários.
  - Desenhar e dimensionar uma rede de eletropostos (corredor elétrico) para viagens de médio e longo percurso entre os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul e as regiões vizinhas em São Paulo, no Paraguai, no Uruguai e na Argentina.
  - Realizar um projeto preliminar das estações de recarga com base nos resultados anteriores, incluindo detalhamento da infraestrutura tecnológica necessária e uma estimativa de custo das instalações.
  - Criar uma base analítica incluindo uma visão geral dos modelos de negócios, pagamentos e cobranças pela infraestrutura de recarga nos três estados, bem como os avanços tecnológicos e as tendências mundiais mais recentes.

## 2. CONTEXTO DO MERCADO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

### 2.1. Contexto global de veículos

Atualmente, a confiança está crescendo no fato de que o veículo elétrico se desenvolverá fortemente nos próximos anos. Muitas regiões do mundo optaram por incentivar o veículo elétrico como medida de estímulo econômico durante a atual fase de crise sanitária global. Mesmo a sensibilidade social com as questões de saúde derivada da pandemia está colocando o veículo elétrico em uma situação de vantagem em comparação ao veículo convencional. Estamos observando crescimentos importantes das vendas em muitos países, além do contexto econômico global.

A expectativa de crescimento do transporte rodoviário privado eletrificado responde também a um crescente interesse social, conjunto com o aumento da cobertura jornalística, uma crescente variedade de modelos que estão sendo vendidos e ao endurecimento das regulamentações de emissões nas grandes áreas urbanas, incrementando a produção de modelos eletrificados, particularmente na Europa (IEA, 2019).



**Figura 1.** Crescimento das vendas por regiões e países. **Fonte:** Global EV Outlook 2019, IEA (2019).

### 2.2. Benefícios ambientais

A tecnologia de veículos híbridos e elétricos tem sido observada com potencial suficiente para tornar a mobilidade do futuro neutra em carbono e reduzir a dependência de combustíveis fósseis. O mercado dos biocombustíveis avançou rápido no Brasil entre 2003 e 2017. Neste período já foram produzidos no Brasil um total de 29 milhões de veículos com a tecnologia flex (veículos alimentados por gasolina, etanol ou a mistura dos dois) (DENATRAN, 2021). A tradição e cultura no uso do etanol como combustível, herança do programa Pró-álcool criado nos anos setenta, favoreceu a rápida aceitação dos veículos flex e seu sucesso

comercial no Brasil. Entretanto, no Brasil o uso de biocombustíveis tem passado por uma série de problemas. As oscilações de preço e de fornecimento do etanol, em especial, têm levado consumidores a utilizar gasolina como combustível nos carros dotados de motores a combustão flexível. Alguns estudos apontam a falta de investimentos na expansão da produção do etanol.

Assim, os VEs retornam com força como alternativa tecnológica, incrementando o número de iniciativas para comercialização de veículos elétricos e de equipamento de infraestrutura rodoviária para carga desses veículos em parcerias entre companhias elétricas e fabricantes de automóveis (pe. as recentes eletrificações em 2018 da eletrovia Paranaense (BR-270), a eletrovia Catarinense (BR-101/BR-116) e rodovia Presidente Dutra nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro (BR-116).

Em relação aos veículos propulsados por combustíveis fósseis, os veículos elétricos apresentam benefícios ambientais, tais como contaminantes redução da emissão de poluentes e GEE, pois não há emissão direta de Nox, nem de CO<sub>2</sub>, por não haver combustão, e reduz em 50% (ainda que o sistema de frenagem e o desgaste dos pneus sejam fontes de emissões de PM<sub>x</sub>).

Com relação às emissões indiretas criadas nos processos de geração de eletricidade, estas irão depender do mix elétrico. Em particular no Brasil, o mix elétrico tem um elevado peso das fontes renováveis para a geração de eletricidade, em torno de 80%, resultando em uma pegada de carbono baixa. De acordo com dados da EPE, a pegada de carbono do setor elétrico brasileiro encontra-se em torno de 0,09 tCO<sub>2</sub>/MWh (EPE, 2021), enquanto na Europa os valores são bem maiores (por exemplo, 0,18 tCO<sub>2</sub>/MWh na Espanha).

Os efeitos sobre a saúde relacionados com a exposição à poluição atmosférica têm sido foco de estudos epidemiológicos em todo o mundo e, de modo geral, os resultados indicam associação entre essa exposição e a mortalidade e morbidade por diferentes causas, com destaque para as doenças cardiovasculares e respiratórias. As emissões atmosféricas que contaminam o ar impactam diretamente na qualidade do ar local, regional e global, afetando a saúde pública. Em 2012, a Organização Mundial da Saúde (OMS) estimou em cerca de sete milhões de mortes no mundo decorrentes da poluição do ar, a partir de fontes urbanas e rurais (WHO, 2021). Uma das principais fontes de material particulado é o tráfego viário.

O controle da poluição por fontes móveis no Brasil iniciou-se com o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) em 1986. A partir de 1995, foi estabelecido o controle da emissão de gases poluentes pelo escapamento de veículos. A diminuição das emissões de material particulado é integrada nas políticas urbanas das principais cidades do mundo como uma linha de trabalho estratégica para a melhoria do ambiente urbano, com ações tais como a limitação das emissões geradas pelos veículos, por meio da renovação da frota de veículos (o que diminui a idade média da frota), favorecendo veículos menos contaminantes (benefícios fiscais para veículos elétricos e híbridos) ou pelo uso de equipamentos ou combustíveis menos poluentes ou estimulando o uso do transporte público coletivo ou construindo espaços para pedestres e ciclistas (no marco dos planos de mobilidade sustentável).

Henschel et al. (2012) analisaram 28 estudos que demonstravam que intervenções governamentais para a redução da poluição atmosférica possuem benefício direto na qualidade do ar e nos efeitos para a saúde, reduzindo a mortalidade e a morbidade cardiorrespiratória. Miraglia e Gouveia (2014) avaliaram para o Brasil o impacto econômico global de eventos de saúde associados com a poluição do ar nas principais regiões metropolitanas da Federação. Esses autores estimaram a mortalidade atribuível às concentrações de MP em 29 regiões Metropolitanas em 20.050 óbitos. Os custos associados a essa mortalidade foram calculados por meio da metodologia DALY (*Disability Adjusted Life Years*) onde se contabiliza o custo de oportunidade derivado de um óbito por quanto a pessoa que morreu não vai poder produzir riqueza para a sociedade através do seu trabalho, concretamente, durante os anos referentes ao intervalo entre o

momento da sua morte e a idade esperada para aposentar. O custo das mortes prematuras no Brasil resultou, de acordo com esse estudo, em US\$ 1,7 bilhões anualmente. A tradução de perdas em saúde pública para valores econômicos serviu para comparar com o orçamento de gastos do Ministério da Saúde e evidenciar as prioridades na tomada de decisão de políticas públicas.

### 2.3. As metas “políticas” enquanto os veículos elétricos no mundo

As metas do governo para a implantação da eletromobilidade são relativamente novas.

A Noruega lidera com uma meta para que todos os carros novos tenham zero emissões até 2025, e tem usado incentivos fiscais para promover as compras desde a década de 1990. Irlanda e Holanda estabeleceram uma meta de em 2030 proibir a venda de novos veículos movidos a combustão interna. As metas do governo britânico afirmam que todos os carros novos serão "efetivamente zero emissões" até 2035, embora um relatório do comitê seletor de Negócios, Energia e Estratégia Industrial (BEIS) tenha sugerido antecipar a proibição para 2032 – em linha com a meta da Escócia. Em 2011, a Comissão Europeia publicou um white paper, 'Roadmap to a Single European Transport Area' que forneceu 40 iniciativas para construir um sistema de transporte competitivo que aumentará a mobilidade, reduzirá drasticamente a dependência da Europa do petróleo importado e reduzirá as emissões de carbono no transporte em 60% até 2050 (EEA, 2011).

Antes da COP24, e apesar dos esforços internacionais, apenas 16 países haviam agido para eliminar gradualmente o transporte interno de combustão. No entanto, um bom progresso foi feito nas negociações na Polônia, com mais de 40 países assinando uma declaração chamada "Driving Change Together – Katowice Partnership for Electromobility" - uma das dimensões concretas da implementação do Acordo de Paris e do cumprimento dos objetivos da Ação Climática Global. Entre os signatários estão o Reino Unido, China, Japão, Indonésia, México, França e Alemanha, ao lado de treze organizações internacionais e não governamentais, incluindo o Banco Mundial e o Grupo Clima.

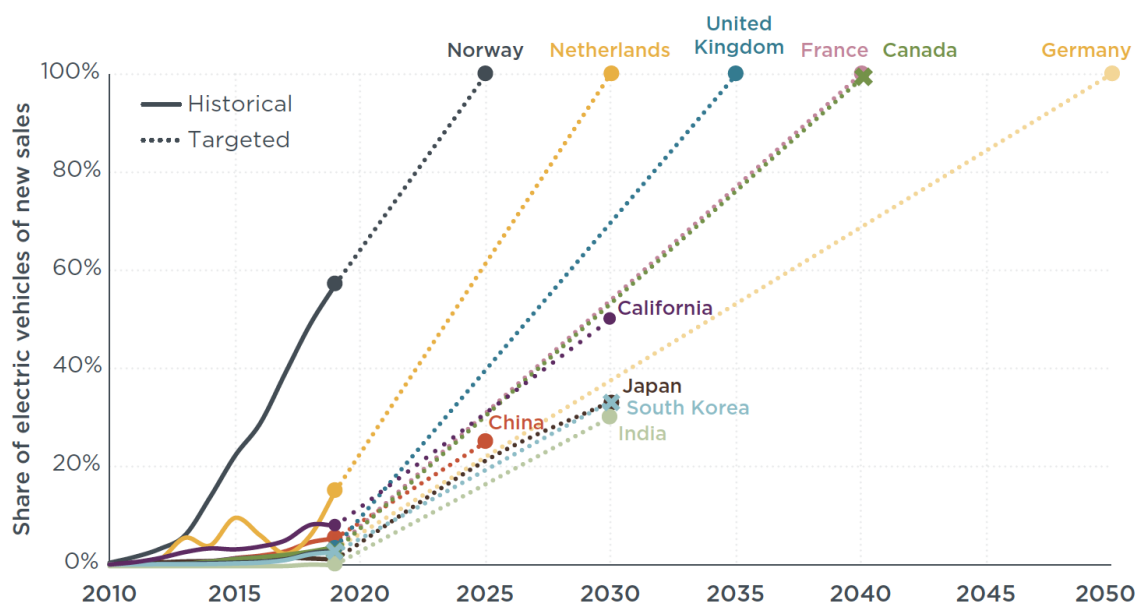


Figura 2. Metas políticas para transição para eletromobilidade em países do mundo. Fonte: ICCT (2020).

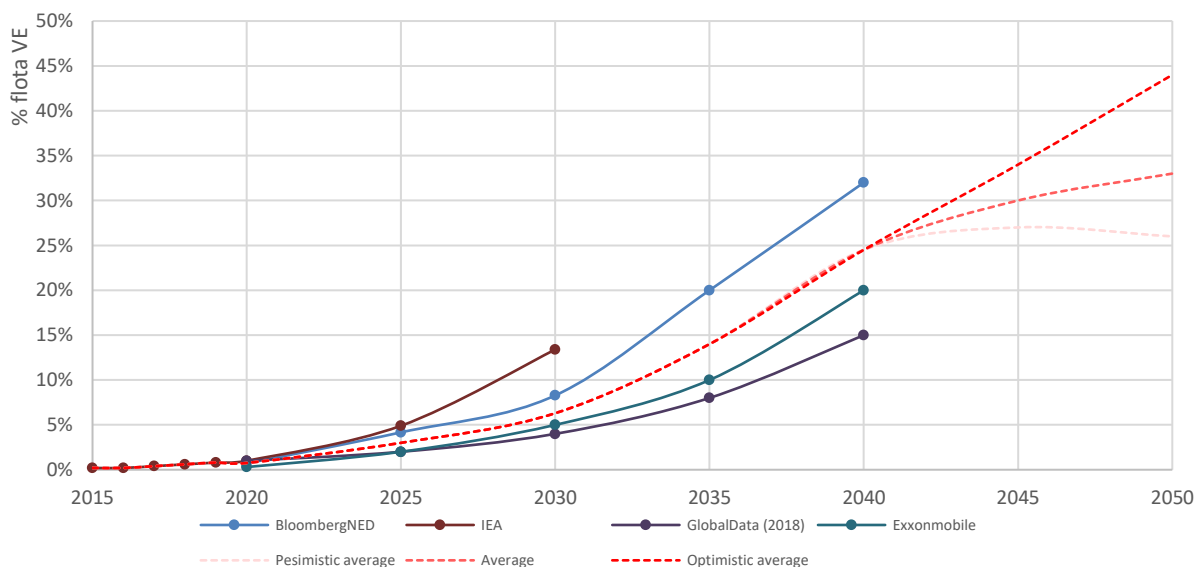


## 2.4. Crescimento Global das Frotas

Os fabricantes de automóveis estão acelerando seus planos de lançamento de veículos elétricos, em parte para cumprir regulamentos cada vez mais rigorosos na Europa e na China. O COVID-19 atrasará alguns deles, mas até 2022 haverá mais de 500 modelos diferentes de veículos elétricos disponíveis globalmente. A possibilidade de escolha dos consumidores e os preços mais competitivos serão essenciais para atrair novos compradores para o mercado, de acordo com o EV Outlook 2020 da BloombergNEF. Devido à situação atual, espera-se uma queda em 2020 apesar do crescimento registrado anteriormente à medida em que os preços das baterias caem, a densidade de energia melhora, mais infraestrutura de carregamento está sendo construída e as vendas se espalham para novos mercados. Em 2020, as vendas de veículos elétricos ficaram em torno de 1,7 milhão de VEs em todo o mundo, enquanto as expectativas de crescimento, que variam entre as diferentes fontes, são de entre 6,5 e 8,5 milhões em 2025, entre 10 e 26 milhões em 2030 e entre 30 e 55 milhões em 2040. (BNED, Exxonmobile, BP, Shell Global, Global Data)

Atualmente, existem cerca de 500 modelos diferentes de VEs disponíveis no mundo em 2020, segundo a Bloomberg-NEF. No entanto, é improvável que a produção comercial em larga escala de VEs pelas grandes fabricantes de automóveis seja significativa até 2025, de acordo com a GlobalData (2018). De acordo com a Exxonmobile, o crescimento do VE em 2040 será impulsionado pela redução dos custos da bateria e políticas para emissões de escape, eficiência e independência energética para os países importadores. Os veículos elétricos podem chegar entre os 300 e 550 milhões em 2040, entre o 15% e o 30% da frota mundial, e as vendas anuais de carros elétricos podem representar cerca de 30% do total de carros vendidos. (BNED, Exxonmobile, BP, Shell Global, Global Data).

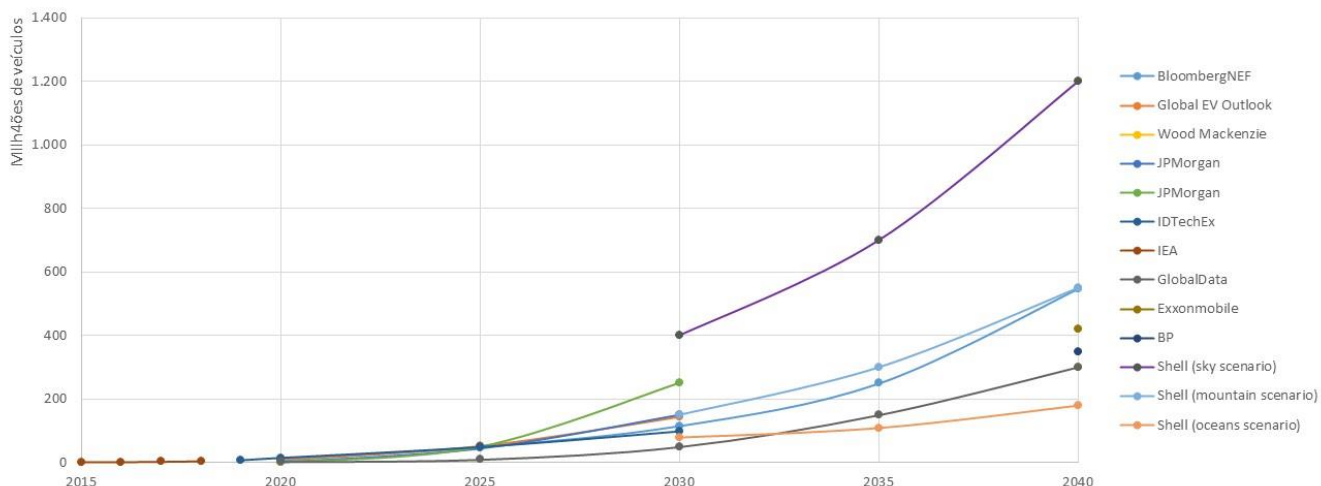
A figura a seguir mostra as previsões de crescimento do veículo elétrico (Milhões de veículos) de uma seleção de fontes consultadas.



**Figura 3.** Previsões de crescimento das frota de veículos elétricos no mundo. **Fonte:** Elaboração própria a partir de dados de previsão de BloombergNEF (2020), IEA (2019), GlobalData (2018) and Exxonmobile (2019).

No extremo, os cenários prospectivos da Shell Global para 2040 na sua edição de 2019 (Shell, 2019) mostram um aumento na demanda por veículos elétricos nas próximas décadas. Essa tendência é mais rápida no cenário Sky, cenário normativo (político) desenhado para avaliar as implicações dos Acordos de Paris sobre

o aquecimento global nas políticas públicas e nos investimentos necessários em energias de baixa pegada de carbono. Para atender os objetivos de Paris, o Cenário Sky da Shell Global observa que seria requerido que mais da metade das vendas mundiais de carros novos fossem elétricas até 2030; e até 2050, extinguir a compra de veículos de motor de combustão interna no mundo inteiro. No total, seriam em torno de 1200 milhões de veículos elétricos no mundo em 2040.



**Figura 4.** Previsões de crescimento em valores absolutos da frota de veículos elétricos no mundo. **Fonte:** Elaboração própria a partir de dados das diferentes fontes.

Mercados como China e partes da Europa alcançam penetrações mais altas do que outras regiões, mas uma adoção mais baixa em mercados emergentes reduz a média global. A China responde pela maior parcela das vendas globais de veículos elétricos, à medida que procura reduzir as importações de energia, melhorar a qualidade do ar urbano, construir sua indústria automobilística doméstica e atrair investimentos em manufatura (Bloomberg NEF).

Enquanto muitos países, incluindo Reino Unido, França e Suécia anunciaram políticas para proibir a venda de novos veículos combustíveis fósseis até 2040, o mais tardar, esse tipo de política foi predominantemente adotado pelas economias mais ricas. Isso reflete o fato de que a eletromobilidade provavelmente chegará primeiro aos países desenvolvidos, com o poder de combustão permanecendo a força dominante nos países em desenvolvimento no futuro próximo, de acordo com GlobalData (2018).

As previsões dos diferentes fornecedores ainda apontam um desenvolvimento mais rápido do VE em países da OECD mais do que em outras regiões, mesmo que até 2070 já os níveis de implantação poderiam ficar bem mais distribuídos nas diferentes regiões do mundo

Assim, o mercado de veículos elétricos é altamente segmentado. Os que adotam cedo tendem a ser proprietários ricos, e geralmente possuem um segundo (ou terceiro) carro. Depois que a demanda nessa demografia estiver saturada, não está claro o quão rápido ela descerá as escadas de renda. Para que os VEs se tornem mainstream, é necessária uma combinação de nova infraestrutura (carregadores), educação pública e economia de custos. Muitos deles estão apenas parcialmente no controle das montadoras. O cenário de pesadelo para os veículos elétricos é que o apelo não se espalhará rápido o suficiente para além de "técnicos e ecologistas" para sustentar o crescimento do mercado inicial, diz David Keith, engenheiro e professor do MIT Sloan School of Management (Quartz Magazine, 2019).

A eletrificação do tráfego comercial (caminhões, ônibus) desempenha um papel em determinadas aplicações (por exemplo, caminhões de curta distância e ônibus urbanos), mas a eletricidade no transporte comercial cresce lentamente devido a custos iniciais, limitações de alcance, requisitos de carga útil e ritmo de desenvolvimento da infraestrutura (Exxonmobile).

### 3. PREVISÃO DE DEMANDA ELÉTRICA VEICULAR NA REGIÃO SUL

#### 3.1. Metodologia

Para a estimativa e projeção da demanda por Veículos Elétricos (VE) dos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, para os anos-horizonte de 2030 e 2040, adotou-se uma metodologia que consiste em duas fases.

- Fase 1 – Se encarrega de projetar a mobilidade na região e determinar a capacidade do VE para capturar mercado. Esta avaliação permite estimar as necessidades de consumo de energia totais.
- Fase 2 – Nesta segunda fase, esse consumo é espacializado e distribuído em microrregiões de acordo com critérios de mobilidade e de renda.

A metodologia se organizou da seguinte forma:

Fase 1 – para a estimativa da frota total de veículos elétricos na Região Sul do país para os anos meta 2030 e 2040, foram desenvolvidas as seguintes atividades:

- 1) A partir das séries históricas do volume e preço médio de venda de gasolina, etanol e diesel no Brasil, do PIB Brasil e sua projeção, foram construídos modelos econométricos preditivos do volume de consumo de combustíveis para o Brasil inteiro. Na sequência foi construído outro modelo econométrico relacionando os volumes dos Estados da Região Sul como o do Brasil, para volume total de venda de etanol, de gasolina, e Diesel. Esses modelos forneceram uma estimativa do crescimento da demanda de consumo de combustíveis na Região Sul para os horizontes 2030 e 2040, uma aproximação ao crescimento da demanda total de mobilidade.
- 2) Em seguida, foram estimadas as vendas de veículos elétricos leves ano a ano até 2040 com um modelo tipo Logit que considera os custos relativos de amortização, exploração e manutenção para os diferentes tipos de veículos (gasolina, diesel, flex e elétricos), e as componentes técnicas e de percepção dos usuários para cada tecnologia. Assim, a partir dos preços estimados para cada ano e a evolução das características técnicas de cada tecnologia (autonomia, eficiência...), o modelo estima quais vendas serão previsíveis para cada tipo de tecnologia. No tempo, as vendas ano a ano permitem estimar a frota de veículos elétricos circulando, e estimar o consumo elétrico total da frota de VE leves no tempo e na região.
- 3) A través de uma análise comparativa de volumes de mobilidade (veículos-quilômetro) e de fatores de consumo e eficiência, foi acrescentada a demanda elétrica dos veículos elétricos leves para considerar também motocicletas, ônibus e veículos comerciais pesados. A demanda adicional destes setores foi estimada como sendo aproximadamente 20%.

Fase 2 – A espacialização em microrregiões do consumo de energia elétrica obtida na Fase 1 foi feita através de critérios de mobilidade e de poder aquisitivo (renda), pressupondo que o veículo elétrico tenderá a desenvolver-se antes em regiões com altas necessidades de mobilidade e onde a renda familiar for suficiente para arcar com os maiores custos de aquisição dos veículos elétricos. Para tanto foram desempenhadas as seguintes atividades:

- 4) Para o critério de intensidade da mobilidade utilizou-se o modelo de estimativa do crescimento da demanda de consumo de combustíveis na Região Sul apresentado anteriormente no item 1), que foi desagregado para as 94 microrregiões dentro da Região Sul.

- 5) Para o critério de poder aquisitivo, determinou-se a quantidade total de usuários que poderiam acessar um veículo elétrico, porque eles têm renda familiar suficiente para adquiri-lo e mantê-lo no tempo. Foram utilizadas para esse fim estatísticas de renda familiar por setor censitário, e a estatística do IBGE sobre de orçamentos familiares POF, que indica o porcentual da renda familiar dedicada para fins de mobilidade. Este trabalho fornece uma imagem do mercado potencial na região. Os dados permitiram uma estimativa espacializada por setores censitários, logo agregada por microrregiões para compatibilidade com as anteriores análises de mobilidade.
- 6) Os resultados totais agregados de demanda de energia veicular do carro elétrico (kWh) estimados na fase 1 foram desagregados e especializados em microrregiões utilizando-se uma ponderação entre critérios de quantidade da mobilidade esperável (determinada na primeira fase do estudo), e de critério de capacidade econômica familiar para adquirir um veículo elétrico (determinada na terceira fase do estudo). Adotou-se a mesma importância para os dois critérios, e isso permitiu identificar a demanda de energia elétrica veicular (kWh) especializada por microrregiões dentro da região.



**Figura 5.** Mapa conceitual do modelo de integração. **Fonte:** Elaboração própria.

- 7) Um modelo de simulação do tráfego rodoviário da Região Sul do país foi elaborado com dois objetivos: a) da segregação do consumo energético veicular entre urbano e rodoviário, e b) na determinação dos locais dos postos de recarga rodoviária. As matrizes sintéticas desse modelo (veículos/dia) foram desenvolvidas a partir de modelos que correlacionam as informações de atividade da mobilidade (veic\*km diário por microrregião) de origem e destino e do tempo e custo de viagem entre elas, com a seguinte fórmula:

$$M_{ij\text{ semente}} = \frac{(X_o * X_D)}{K * (M_{ij\text{ CG}})^\alpha}$$

Onde  $M_{ij\text{ semente}}$  = Número de viagens (veículos) por dia entre as zonas  $i$  e  $j$

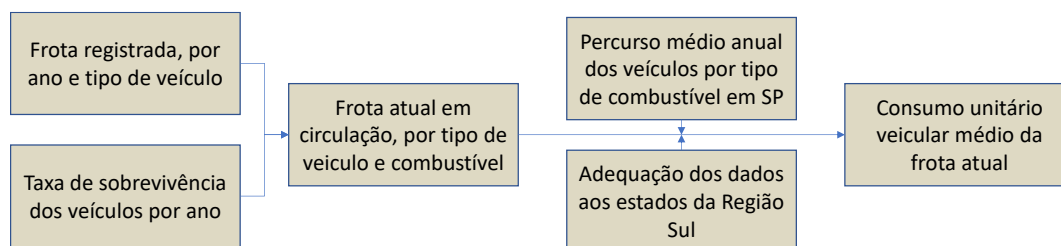
$X_o$  e  $X_D$  são os veic \* km das zonas de origem e destino, respectivamente

$M_{ij\text{ CG}}$  = Custo generalizado da viagem entre as zonas  $i$  e  $j$

$K$  e  $\alpha$  são constantes a ser calibradas

O processo de calibração comparou os volumes do modelo com dados de contagens veiculares classificadas nas rodovias, e os valores de  $K=4,0$  e  $\alpha=1,8$  mostraram o melhor ajuste. Note que nesse modelo de rede foi o único momento neste trabalho que precisou descer ao nível de desagregação do veículo, já que os demais modelos apresentados nos itens anteriores se basearam em informações agregadas de consumo. As informações de veic\*km das zonas provêm do modelo de projeção de

consumo de combustíveis apresentado anteriormente, e o consumo unitário veicular foi obtido com a aplicação da seguinte metodologia, baseada em (Cetesb, 2018).

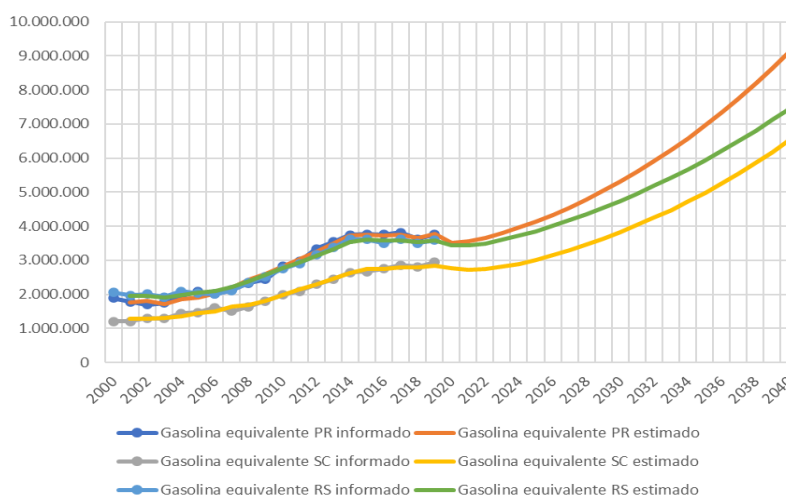


- 8) O cálculo de consumo unitário veicular médio foi realizado para cada microrregião, levando em consideração a frota por tipo de veículo e idade, ponderado pela intensidade de uso. Apenas para referência, o consumo unitário médio obtido para a região sul como um todo foi de 10,5 km/l para automóveis, 5,7 km/l para caminhões leves/ônibus e 3,5 km/l para caminhões pesados.
- 9) Os volumes totais de consumo energético por microrregião foram então segmentados nas 24 horas do dia, para obtenção das curvas de intensidade de consumo e, em decorrência, os períodos de pico de consumo. Houve a necessidade de segregar o uso urbano do veículo do uso rodoviário, considerando que apresentam comportamento de recarga distintos. Deste modelo obteve-se a parcela rodoviária do consumo, sendo o restante atribuído ao tráfego urbano. As curvas de distribuição horária do consumo rodoviário foram obtidas das contagens nas rodovias, e as de consumo urbano, obtidas de estudo presente na literatura.

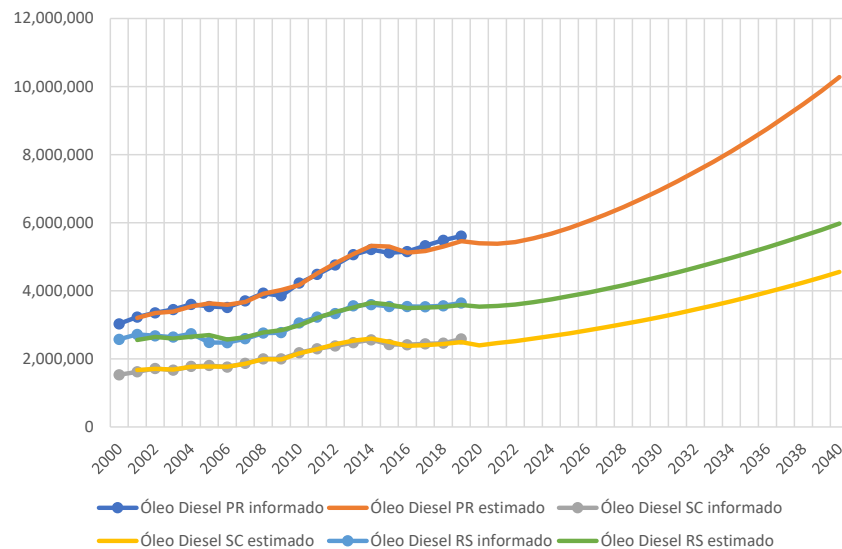
Na sequência são detalhados os resultados destes trabalhos. A metodologia detalhada e a descrição de todos os modelos utilizados pode ser consultadas no “Relatório 1. Projeção da demanda por veículos elétricos”.

### 3.2. Crescimento da demanda de mobilidade: consumo de combustível veicular 2030 e 2040

Para a previsão de crescimento da demanda de mobilidade, foi feita a projeção do volume de combustíveis para os Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul conforme apresentado a seguir.



**Figura 6.** Projeção das Vendas de Gasolina Equivalente nos Estados do Sul. **Fonte:** Elaboração própria.



**Figura 7.** Projeção das Vendas de Óleo Diesel nos Estados do Sul. **Fonte:** Elaboração própria.

A Tabela a seguir apresenta os volumes de consumo de combustíveis estimado para os três estados, no período entre os anos de 2019 e 2040.

| Ano  | Gasolina equivalente |           |           | Óleo Diesel |            |           |
|------|----------------------|-----------|-----------|-------------|------------|-----------|
|      | PR                   | SC        | RS        | PR          | SC         | RS        |
| 2019 | 3.758.473            | 2.942.407 | 3.590.606 | 43.654.386  | 5.608.000  | 2.586.769 |
| 2030 | 5.314.809            | 3.828.704 | 4.743.478 | 63.039.330  | 6.949.451  | 3.226.712 |
| 2040 | 9.124.295            | 6.525.327 | 7.452.654 | 111.220.500 | 10.276.350 | 4.552.091 |

**Tabela 1:** Projeção do Consumo de combustíveis PR, RS e SC, 2019 a 2040. **Fonte:** Elaboração própria.

Para a elaboração da projeção de venda de combustíveis no varejo foram utilizadas as seguintes informações:

- Volume de venda de gasolina, etanol e diesel no Brasil e nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul em m<sup>3</sup> por mês, de janeiro de 2000 a abril de 2020 – fonte: ANP
- Volume de venda de gasolina, etanol e diesel por município dos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul em m<sup>3</sup> por ano, de 2000 a 2018 – fonte: ANP
- Preço médio de venda no varejo de gasolina, etanol e diesel no Brasil por mês, de jul-2001 a mar-2020 – fonte: ANP - em valores correntes, convertidos para R\$ de dez-2019 pelo IPCA (IBGE)
- PIB do Brasil, total a preços de mercado, índice encadeado (dessazonalizado – média de 1995=100), trimestral de 1º trimestre de 1996 a 1º trimestre de 2020
- Previsão de variação real do PIB do Brasil, total trimestral (1º trimestre de 2020 a 3º trimestre de 2021) e anual (2020 a 2024) – fonte: Banco Central, Expectativas de Mercado

Considerando o consumo total de combustível veicular na região e a eficiência média dos veículos (consumo de carburante por km), é possível determinar os veículos-quilômetro totais percorridos dos veículos leves. Na seguinte tabela mostra os resultados de consumo de combustível e percurso totais da frota de veículos leves, sem considerar transferência para veículos elétricos.

|   | 2020    | 2030    | 2040    |
|---|---------|---------|---------|
| <b>Consumo de combustível (milhões de l)</b>  | 9.600   | 13.653  | 22.611  |
| <b>Distância percorrida (milhões veíc-km)</b> | 104.191 | 140.565 | 233.875 |

**Tabela 2:** Consumo e distância percorrida dos veículos leves (automóveis e comerciais leves). **Fonte:** Elaboração própria.

### 3.3. Crescimento da frota de veículos elétricos 2030 e 2040

Para a análise do crescimento da frota de veículos elétricos, foram considerados três cenários: um cenário de implantação rápida (Alta Adoção), um cenário de implantação lenta (Business as Usual) e um cenário intermediário.

Esses cenários são determinados por diferenças nos custos de aquisição dos veículos (p.e. pelo descenso dos custos de produção das baterias que irão resultar em menores preços de comercialização dos veículos, ou por subsídios públicos à compra no curto prazo) e na autonomia média dos veículos (por melhoria tecnológica). Os custos de operação (custo dos combustíveis) e os custos de manutenção dos veículos evoluem igual para todos os cenários.

Para a definição dos cenários foram consideradas as seguintes hipóteses gerais:

- Custo de operação dos VCI, aumentou 100% entre 2020 e 2040, por aumento do preço do combustível (preços correntes incluindo impostos, consideram o IPCA);
- Custo de manutenção dos VCI, diminuindo 30% entre 2020 e 2040, de acordo com a tendência real observada entre 2000 e 2020.
- Custo de aquisição dos VCI, estável entre 2020 e 2040
- Os custos de operação dos Veículos Elétricos (VE) aumentam 4,8% ao ano entre 2020 e 2030, e 2,4% ao ano entre 2030 e 2040.

Os custos de manutenção dos VE, decrescem 2% ao ano entre 2020 e 2030, e 1% ao ano entre 2030 e 2040. Em relação a 2020, os custos em 2030 são 20% menores e em 2040 um 30%.

As hipóteses específicas para os custos de veículos elétricos em cada cenário são apresentadas na tabela a seguir.



|                         | Cenário<br>Business as Usual  | Cenário<br>Intermediário  | Cenário<br>Alta Adoção  |
|-------------------------|---|---|---|
| Aquisição / Amortização | Diminui 0,5% ao ano entre 2020 e 2030, e 0,2% ao ano entre 2030 e 2040. Em relação a 2020, os custos são 10% menores em 2030 e são 15% menores em 2040 (hipótese pessimista). | Diminui 1,0% ao ano entre 2020 e 2030, e 0,3% ao ano entre 2030 e 2040. Em relação a 2020, os custos em 2030 são 15% menores e em 2040 são 20% menores. | Diminui 1,5% ao ano entre 2020 e 2030, e 0,5% ao ano entre 2030 e 2040. Em relação a 2020, os custos em 2030 são 20% menores e em 2040 são 25% menores. |
| Autonomia               | Aumenta um 3% anual entre 2020 e 2030, e um 1,5% anual entre 2030 e 2040. Respeito a 2020, os custos em 2030 são um 38% maiores e em 2040 são 60% maiores.                    | Aumenta 4% ao ano entre 2020 e 2030, e 2,0% ao ano entre 2030 e 2040. Em relação a 2020, os custos em 2030 são 55% maiores e em 2040 são 90% maiores.   | Aumenta 5% ao ano entre 2020 e 2030, e 2,5% ao ano entre 2030 e 2040. Em relação a 2020, os custos em 2030 são 70% maiores e em 2040 são 120% maiores.  |

Tabela 3: Hipóteses dos custos para veículos elétricos em cada cenário. Fonte: Elaboração própria.

Para cada cenário foram estimadas a participação dos veículos elétricos na venda total de veículos novos e da frota circulante, para os anos de 2030 e 2040. Os resultados são apresentados na tabela e gráfico a seguir.

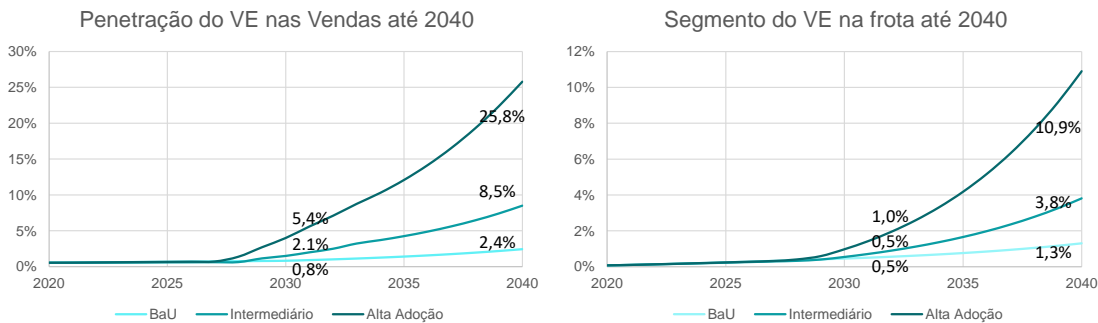


Figura 8. Evolução da participação da venda e da frota, por cenário nos Estados do Sul. Fonte: Elaboração própria.

| Cenário           | 2030     |        | 2040     |        |
|-------------------|----------|--------|----------|--------|
|                   | % Vendas | %Frota | % Vendas | %Frota |
| Business as Usual | 0,80%    | 0,46%  | 2,40%    | 1,30%  |
| Intermediário     | 2,10%    | 0,54%  | 8,50%    | 3,80%  |
| Alta adoção       | 5,40%    | 1,0%   | 25,80%   | 10,90% |

Tabela 4: Participação da venda e da frota, por cenário, para os anos de 2030 e 2040. Fonte: Elaboração própria.

É possível observar que no ano de 2030 a adoção do veículo elétrico é relativamente pouco significativa, até mesmo no cenário de Alta Adoção. Isso ocorre devido ao pico de venda de veículos no período 2007-2012 conjuntamente com a queda nas vendas no ano 2015, que causaram alterações na divisão da frota e necessita de um período de mudança de vendas de pelo menos 5-10 anos.

Porém, no ano 2040 se pode ver diferenças significativas na divisão da frota para os diferentes cenários. No cenário *Business as Usual* há 1,3% de VE, no cenário Intermediário esse valor sobe até 3,8 % e no cenário de Alta adoção apresenta um percentual de 10,9% de automóveis elétricos.

### 3.4. Previsão de demanda elétrica veicular 2030 e 2040

Aplicando a porcentagem já estimada da frota de automóveis elétricos para cada cenário, calculamos os veículos-quilômetro totais da frota de veículos leves que serão transferidos para a tecnologia elétrica. Aqui se adota a hipótese que as viagens não mudarão de padrão ao trocar um veículo convencional para um veículo elétrico (mesma quilometragem anual, mesmo percurso médio). A seguinte tabela mostra os resultados:

|                              | % da frota elétrica em 2030 | vkm percorridos por VE em 2030 (milhões) | % da frota elétrica em 2040 | vkm percorridos por VE em 2040 (milhões) |
|------------------------------|-----------------------------|--|-----------------------------|--|
| <b>Cenário BaU</b>           | 0,46%                       | 639                                      | 1,3%                        | 3.048                                    |
| <b>Cenário Intermediário</b> | 0,54%                       | 764                                      | 3,8%                        | 8.914                                    |
| <b>Cenário Alta Adoção</b>   | 1,0%                        | 1.366                                    | 10,9%                       | 25.495                                   |

**Tabela 5:** Distância percorrida dos veículos leves (automóveis e comerciais leves) transferidos para a tecnologia elétrica (em milhões veículos-quilômetro). **Fonte:** Elaboração própria.

Aplicando a eficiência de um veículo elétrico leve (16,3 km/kWh) sobre a distância percorrida dos veículos que passam para a tecnologia elétrica (Mvkm), obtemos o consumo total de energia elétrica veicular na Região Sul (GWh). A seguinte tabela mostra os resultados.

|                              | Consumo elétrico da frota em 2030 (GWh) | Consumo elétrico da frota em 2040 (GWh) |
|------------------------------|---|---|
| <b>Cenário BaU</b>           | 126                                     | 628                                     |
| <b>Cenário Intermediário</b> | 150                                     | 1.836                                   |
| <b>Cenário Alta Adoção</b>   | 269                                     | 5.250                                   |

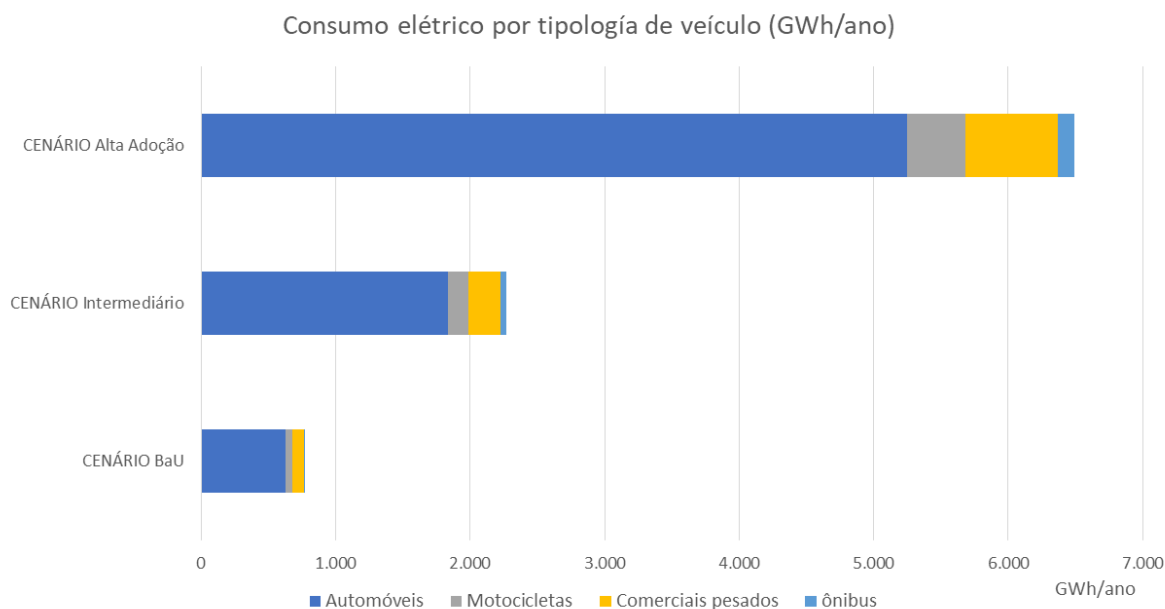
**Tabela 6:** Consumo de energia elétrica (em GWh/ano) veicular por cenário. **Fonte:** Elaboração própria.

Os valores obtidos para veículos leves foram acrescentados para considerar o impacto sobre outras tipologias de veículo como as motos, caminhões e ônibus. Alguns desses nichos são muito promissores, outros ainda possuem incertezas tecnológicas importantes.

Para incorporá-las na projeção de demanda elétrica foram considerados os consumos atuais de combustível de cada um destes nichos. Em geral, eles representam magnitudes substancialmente menores do que a mobilidade de veículos leves. Também foram considerados os fatores de consumo elétricos médios destes nichos de acordo com os dados existentes mais recentes. Para as tecnologias mais consolidadas (pe. Motos), foi comprovado que essa relação se encaixa bem com valores de consumo médio observados na realidade.

A capacidade de transferência da frota convencional para a frota elétrica de cada um destes nichos em 2040 foi uma hipótese exógena, baseada na revisão qualitativa da literatura e nos conhecimentos dos especialistas da equipe consultora. Foi considerado que o desenvolvimento da frota de motos seria 100% maior do que a frota de veículos leves, e que o desenvolvimento da frota de caminhões e ônibus, 20% da frota de veículos leves.

Para o ano 2040, em média, considera-se que estes nichos incorporam 19,1% de demanda elétrica adicional para cada um dos cenários, resultando nas magnitudes totais de consumo apresentadas na figura a seguir.



**Figura 9.** Consumo elétrico por tipologia de veículo. **Fonte:** Elaboração própria.

A tabela a seguir apresenta as necessidades de energia elétrica veicular da frota (motos, caminhões e ônibus, veículos leves incluídos como referência) da Região Sul (em GWh/ano)

|                       | Consumo elétrico da frota em 2030 (GWh) | Consumo elétrico da frota em 2040 (GWh) |
|-----------------------|---|---|
| Cenário BaU           | 137                                     | 776                                     |
| Cenário Intermediário | 163                                     | 2.269                                   |
| Cenário Alta Adoção   | 292                                     | 6.490                                   |

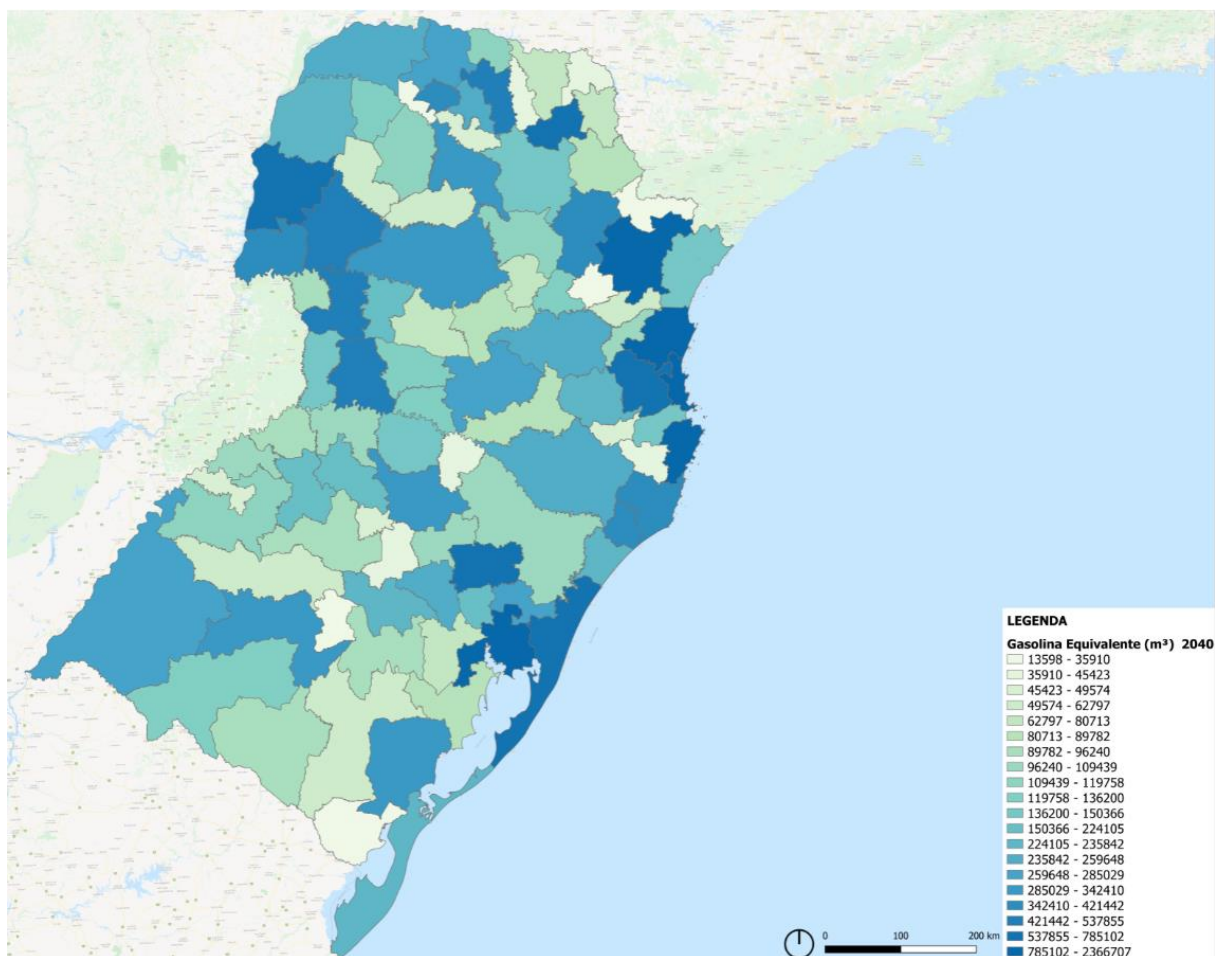
**Tabela 7:** Consumo de energia elétrica (em GWh/ano) veicular por cenário. **Fonte:** Elaboração própria.

### 3.5. Demanda de mobilidade veicular total na região, especializada por microrregiões

Para o cálculo de demanda de mobilidade veicular nos estados da Região Sul, foram elaborados modelos para as microrregiões dos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Para se chegar às projeções por microrregiões, primeiro se correlacionou através de modelos econométricos, as mesorregiões com seus respectivos estados, e finalmente, as microrregiões com suas respectivas mesorregiões.

Para as projeções futuras da espacialização da demanda de combustível, se assumiu que os padrões territoriais irão se manter estáveis, que os crescimentos dos diferentes territórios seguirão todos as mesmas proporções relativas.

Os dados de demanda de gasolina equivalente para as microrregiões do sul do país são apresentados por microrregião para o ano 2040 na figura a seguir.



**Figura 10.** Demanda de gasolina eq. por microrregião em 2040. **Fonte:** Elaboração própria.

### 3.6. Distribuição do mercado potencial do veículo elétrico, especializado por setores censitários

Partindo da hipótese que as pessoas possuem (antropologicamente) um orçamento fixo para gastar em mobilidade, foi analisado quantos domicílios no sul do Brasil têm uma renda familiar suficiente para adquirir e manter um veículo elétrico hoje.

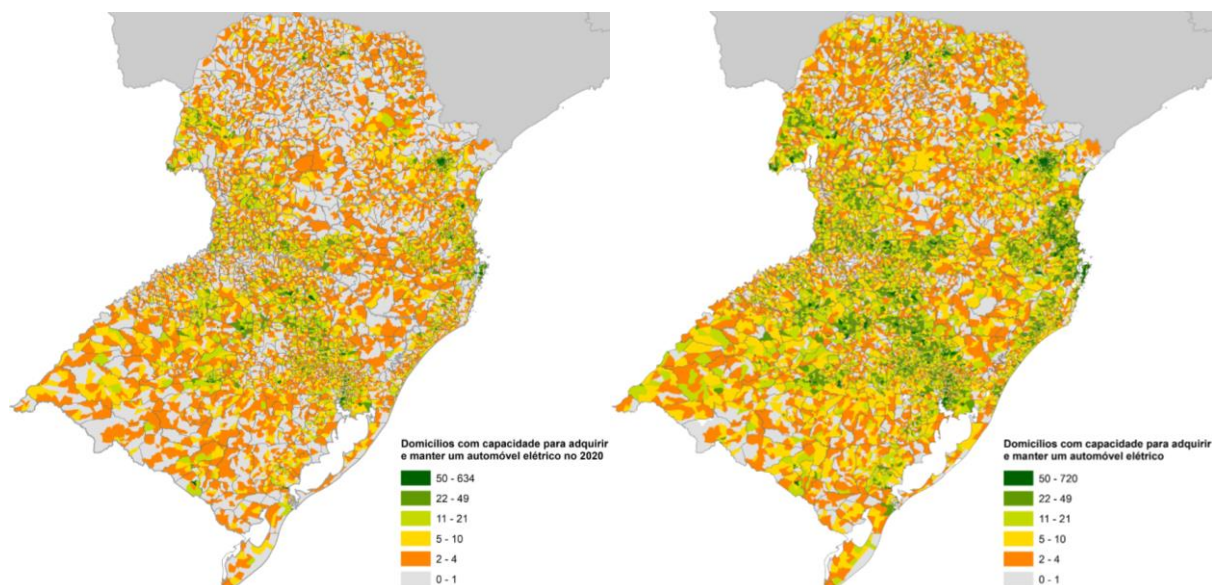
Foi considerado a partir dos dados estatísticos existentes que as famílias na região sul de média e alta renda (acima 6 salários mínimos) tem um orçamento máximo para fins de mobilidade de 20%, de acordo com a Pesquisa de Orçamentos Familiares 2017-2018.

Foi calculado o mercado potencial atual e futuro, sendo que para o mercado futuro foram avaliados os cenários BaU e Alta Adoção terá fim de obter um intervalo do mercado potencial futuro.

Para o cálculo do mercado potencial total agregado para a região sul foram realizados os seguintes passos:

1. Cálculo do salário familiar necessário para manter um automóvel elétrico, considerando o custo anual de manutenção de um automóvel elétrico e que as famílias dedicam em média um 20% da sua renda para fins de mobilidade na região sul (POF 2018).
2. Levantamento da distribuição dos domicílios segundo seu rendimento domiciliar para os estados da Região Sul (PNAD, 2015). Cruzando a renda familiar necessária para manter um VE com a distribuição de unidades familiares por renda para calcular o número de unidades familiares totais na região sul com uma renda suficiente para adquirir um automóvel elétrico.
3. Os valores foram projetados para 2030 e 2040 considerando custos decrescentes do veículo elétrico de acordo com os cenários apresentados anteriormente, e rendas familiares crescentes na região sul.

A figura a seguir mostra o número de domicílios com capacidade para adquirir e manter um automóvel elétrico em 2020 e no ano 2040. O resultado deste exercício é um número de potenciais vendas de veículos elétricos agregado para a região sul inteira, a partir do poder de compra dos cidadãos dos estados do sul. É um valor máximo potencial que não corresponde às vendas realizadas finalmente, que estão modeladas neste trabalho a través do modelo de transferência levando em conta outros elementos além do preço e da renda das pessoas, tais como a autonomia dos veículos e a percepção subjetiva da tecnologia.



**Figura 11.** Domicílios com capacidade para adquirir e manter um automóvel elétrico no 2020 (esquerda) e no 2040 no cenário Alta Adoção (direita). **Fonte:** Elaboração própria.

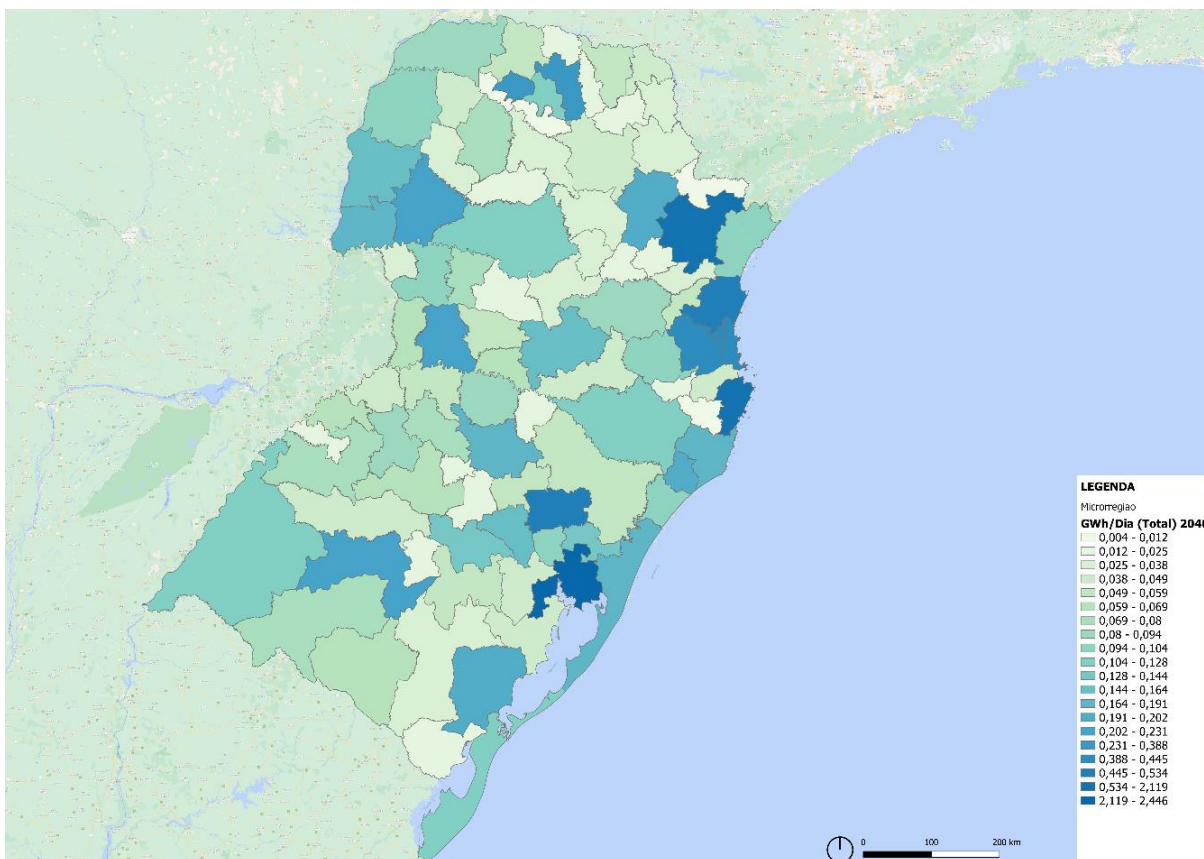
### 3.7. Distribuição espacial da previsão de consumo de eletricidade por VE

Os resultados agregados por estado da região sul já determinados são desagregados e espacializados em microrregiões utilizando-se uma ponderação entre critérios de intensidade da mobilidade, e de critério da renda destinada ao transporte. Adotou-se a mesma importância para os dois critérios. Assim, a demanda de energia elétrica total por cada Estado se divide proporcionalmente 50% para o critério de demanda de mobilidade das microrregiões e 50% para o critério da renda destinada ao transporte (modelo de mercado potencial). Existe uma dependência entre áreas com maior volume de tráfego e áreas com maior economia, ou seja, com mais usuários potenciais de veículos elétricos, por conta disso a espacialização do consumo de



energia elétrica veicular não varia excessivamente em relação aos mapas espacializados do volume de tráfego e do mercado potencial por separado. Após realizar o mesmo exercício com proporções diferentes (30%-70% e 40%-60%) foi confirmado que os mapas resultantes não variaram significativamente.

A espacialização resultante do consumo elétrico veicular para os diferentes cenários será a mesma, mas sua magnitude global em kWh será diferente. A espacialização resultante para 2040 se mostra abaixo, com os quantitativos do cenário “Alta Adoção”.

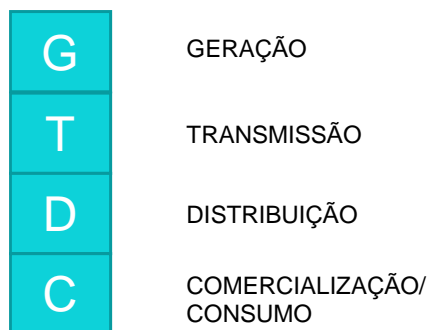


**Figura 12.** Espacialização do consumo elétrico veicular na Região Sul no ano 2040 por microrregiões para o cenário (Alta Adoção). **Fonte:** Elaboração própria.

## 4. NECESSIDADES DE INVESTIMENTO NA INFRAESTRUTURA ELÉTRICA

### 4.1. Implicações do veículo elétrico no sistema elétrico

A indústria de energia elétrica tem características próprias quando comparada com outras pois o produto “energia elétrica” é consumido ao mesmo tempo em que é produzido, ou seja, o armazenamento não é possível de forma econômica em grandes quantidades. Um dos grandes desafios tecnológicos atuais é conseguir armazenar esta energia de forma econômica, em volumes e pesos pequenos para que se possa fazer o seu transporte como a maioria dos bens econômicos se apresentam. A bateria de Ion-Lithium tem sido uma esperança neste sentido e tem proporcionado, por exemplo, o surgimento dos carros elétricos na escala que presenciamos hoje. No entanto, para grandes blocos de energia, esta tecnologia não está ainda disponível e o setor elétrico está estruturado de tal forma que a energia elétrica necessita ser transportada através de “fios”. Neste sentido, há a necessidade de se construir uma rede de transporte que é denominada de rede elétrica que se desenvolveu efetivamente a partir da década de cinquenta com as linhas de transmissão de alta tensão.



**Figura 13:** Segmentos do setor elétrico. **Fonte:** Elaboração própria.

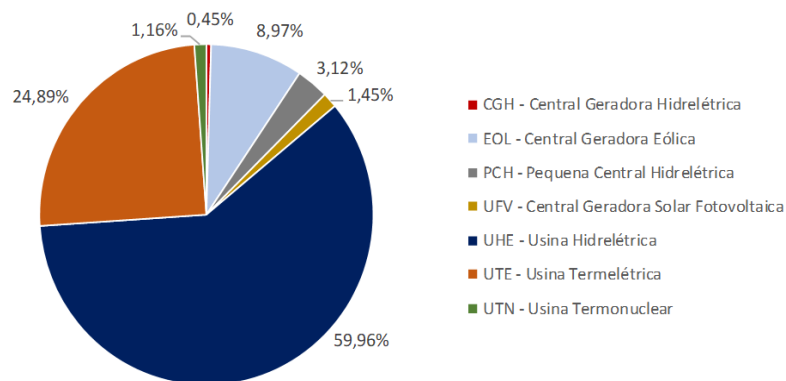
Podemos dividir a rede elétrica em quatro segmentos (Figura 13): geração, transmissão, distribuição e consumo. A geração é responsável pela produção da energia e é representada pelas usinas com diversas fontes de energia. A transmissão e distribuição representam a rede de fios ou circuitos que se caracterizam basicamente pelas linhas de transmissão, linhas de distribuição, alimentadores e transformadores. Esta rede chega até os medidores dos consumidores através dos ramais para consumidores de baixa tensão ou dos transformadores proprietários para os consumidores de alta tensão.

Outra característica importante do sistema elétrico é que a rede de transmissão e parte da rede de distribuição é malhada para ganhar confiabilidade e tem que ser operada em tempo real. Esta operação impõe a existência de um centro de controle para despachar as usinas e monitorar as condições do sistema.

No caso brasileiro, o Sistema Interligado Nacional (SIN) é composto por um sistema de geração fortemente embasado pela geração hidrotérmica de grande porte, sendo constituído por quatro submercados: Sudeste/Centro-Oeste, Sul, Nordeste e Norte (ONS, 2020). O sistema de transmissão interliga estas gerações e realiza a complementariedade da geração entre os submercados para o atendimento do mercado consumidor com segurança e economicidade.

A matriz energética brasileira atualmente apresenta cerca de 170 GW de potência instalada em 8905 usinas geradoras. Dentre essas fontes, a hidráulica é a principal responsável pela geração de energia no país, constituindo aproximadamente 64% de toda a matriz, seguida pelas térmicas e eólicas, com

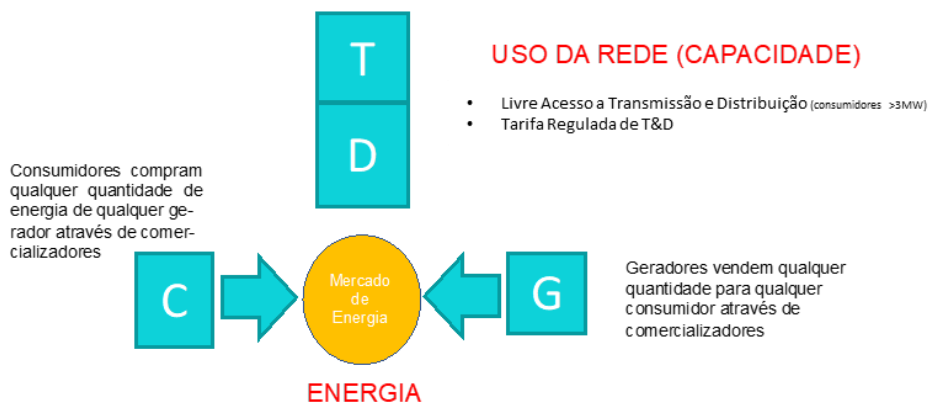
aproximadamente 26% e 9%, respectivamente (ANEEL, 2020). A Figura 14, mostra-se a participação dos tipos de centrais de geração presentes na capacidade instalada do país.



**Figura 14.** Participação percentual dos tipos de centrais na capacidade de geração de energia no Brasil – situação em Janeiro de 2020. **Fonte:** Adaptado de (ANEEL, 2020).

Dentro da análise da matriz energética brasileira, é possível destacar alguns aspectos peculiares sobre a predominância de fontes hidráulicas. No sistema, há um elevado número de aproveitamentos com acentuada sazonalidade e elevado grau de incerteza, além do forte acoplamento entre as usinas geradoras localizadas em sequência ao longo das dezesseis bacias hidrográficas (Zambelli, 2009). Além UHEs, há um grande destaque para as usinas termelétricas (UTES), que contribuem para a segurança de suprimento, e para a expansão da energia eólica especialmente nas regiões Nordeste e Sul do Brasil, cuja importância dessa geração para o atendimento do mercado tem crescido ao longo do tempo. Para que o uso dos recursos energéticos disponíveis seja otimizada, é necessária a constante interação entre os agentes de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, uma vez que as informações sobre as condições operativas das UHEs, o perfil de carga do centro consumidor, configuração da rede e o planejamento da operação afetam a tomada de decisão do despacho das centrais que irão compor o balanço energético.

A reestruturação do setor na década de noventa trouxe o mercado de energia elétrica onde os consumidores podem comprar de qualquer gerador de energia pagando uma tarifa de transporte para a rede de transmissão e de distribuição. Apesar desta liberdade estar implantada em vários países, no Brasil, apenas os consumidores com potência superior a 3 MW podem comercializar livremente. É facultativo também aos consumidores acima de 0,5 MW que comprem de energia renovável. A Figura a seguir apresenta a estruturação da maioria dos mercados de energia.



**Figura 15.** Estruturação do setor elétrico. **Fonte:** Elaboração própria.



A compra e venda de energia é realizada entre os agentes de consumo no mercado atacadista ou varejista. No caso brasileiro, só existe o mercado atacadista e o consumidor com potência menor de 3 MW denominado de consumidor regulado ainda é obrigado a comprar da distribuidora local. Existe a possibilidade de flexibilização da compra direta da energia pelo mercado varejista o que auxiliará na disseminação dos veículos elétricos no país. Existe uma tendência neste governo de liberar mais o mercado e é provável que no momento em que ocorrer a disseminação dos veículos elétricos, o mercado varejista já esteja em pleno vapor.

Formalmente, existem dois mercados para compra de energia: o mercado regulado (ACR) e o mercado livre (ACL). No mercado livre são negociados blocos de energia em montantes elevados e apenas consumidores com potência acima de 3 MW são elegíveis para comprar. Existe também a autorização para negociar no mercado livre, consumidores especiais que comprem energia renovável e a restrição é relaxada para 0,5 MW. Para consumidores livres que não atendem estes critérios, só existe a opção de comprar das distribuidoras locais. Estas, por sua vez, especificam a sua demanda com horizonte de 5 anos para o MME que inicia o processo de compra através de leilões do ACR conduzidos pela ANEEL e CCEE.

A recente Portaria nº 465/19 do Ministério de Minas e Energia ("MME"), teve o objetivo de reduzir os estes limites de carga para acesso ao mercado livre de energia elétrica por consumidores de energia. Vale dizer que o acesso ao mercado livre, que antes requeria do consumidor carga igual ou superior a 3.000 kW, já havia sido reduzido por meio da Portaria 514/2018, para carga igual ou superior a 2.500 kW a partir de 1º de julho de 2019, e para carga igual ou superior a 2.000 kW a partir de 1º de janeiro de 2020.

Nesse contexto de abertura do acesso ao mercado livre, a Portaria nº 465/2019 propõe novas reduções de carga para o consumidor que deseje migrar para tal mercado. A partir de 1º de janeiro de 2021: carga igual ou superior a 1.500 kW;

Com a abertura gradual do mercado livre e o desenvolvimento das tecnologias renováveis que tem tornado o preço da energia nesse mercado muito atrativos/competitivos, tem ocorrido um grande incentivo a migração e espera-se um crescimento relevante dessa classe em 2021

Entende-se que o VE é na realidade um novo demandador de energia elétrica para realizar o carregamento de sua bateria. Diferente das demais aplicações da energia elétrica, o VE tende a ser mais elástico quanto ao sinal de preço, ou seja, existe uma certa flexibilidade quanto ao momento e ao local em que deve ser carregada a bateria. Um outro ponto importante se refere ao montante médio de energia a ser consumida visto que um dos objetivos deste trabalho é identificar o impacto no sistema de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

Algumas questões são respondidas neste trabalho como o impacto da demanda veicular nos vários segmentos do setor elétrico. Em função do montante de energia necessário e da potência requerida para o carregamento dos VEs é possível identificar investimentos necessários no setor elétrico tanto na geração como na rede elétrica. Neste sentido, é importante identificar o montante de energia que será consumido no carregamento doméstico, nos estacionamentos do comércio e lugares de entretenimento e nos eletropostos. A previsão da energia a ser consumida é relativamente mais simples de obter quando se faz uma análise em paralelo com o consumo de combustível líquido utilizado nos veículos atuais. Esta energia poderá ser suprida por geração convencional em larga escala ou por geração distribuída principalmente fotovoltaica. Além da energia, uma outra preocupação se refere à capacidade da rede elétrica e do sistema de geração em prover potência aos pontos de carregamento.

A previsão da demanda de potência é mais difícil que a de energia visto que vai depender de uma série de fatores como o comportamento do consumidor e o sinal econômico que ele receber do sistema elétrico. A

rede elétrica para ser dimensionada necessita conhecer a demanda de potência ou o pico de consumo que deverá ser atendido. Uma análise do perfil de carga é necessária para verificar o momento deste consumo concentrado e que pode depender de vários fatores que vão além do simples consumo de energia. Este trabalho não esgota o assunto, mas traz formas e metodologias para avaliar estas demandas críticas que definirão a necessidade de reforços ou expansão na rede elétrica.

Por fim, a forma como será tratado o VE e a comercialização da energia e potência requerida dependerá basicamente da introdução do mercado de energia, da tarifa de uso da rede elétrica, ou seja, da regulação a ser implementada. Algumas considerações sobre este tópico são apresentadas neste trabalho que originam novos modelos de negócios nesta nova atividade econômica.

## 4.2. Curvas de carga do veículo elétricos

Para a identificação das necessidades de reforço nas redes elétricas de abastecimento de energia elétrica veicular, as estimativas de projeção da demanda total anual por microrregiões dos estados da Região Sul do país, apresentadas na seção anterior, foram distribuídas ao longo das 24 horas do dia. Isso é necessário para identificar os períodos de pico de consumo ao longo do dia, que servirão como referencial para dimensionamento do fornecimento de energia elétrica veicular para cada cenário de adoção e ano meta considerados nesse estudo.

Diferentemente do abastecimento de combustíveis, a propulsão elétrica possibilita uma descentralização dos locais de recarga, e permite que os veículos sejam abastecidos em casa, no trabalho, no shopping ou no estacionamento. Essa mudança de paradigma deve acarretar numa alteração substancial do comportamento de abastecimento no ambiente urbano, aproveitando os momentos onde o veículo não está sendo utilizado.

Entretanto, é de se esperar que esse efeito ocorra de forma diferente para o ambiente rodoviário, onde a recarga ocorre durante a viagem, em moldes similares ao abastecimento de combustíveis atuais. Dessa forma, optou-se por adotar curvas distintas de distribuição horária da demanda por energia elétrica para uso urbano e uso rodoviário. Ambas as distribuições são apresentadas nos itens a seguir.

### Distribuição horária da demanda urbana

Para a distribuição horária de demanda urbana, como deve diferir substancialmente do comportamento de abastecimento com combustíveis conforme discutido anteriormente, buscou-se revisar na bibliografia a descrição de casos reais onde a participação de veículos elétricos já está mais adiantada que no Brasil.

Nicholas, M., Hall, D., Lutsey, N (2019) apresentam levantamento similar da eletrificação em diversas áreas metropolitanas dos EUA, apresentando as curvas de distribuição por tipo de local de recarga, para o ano de 2017 e projeção para 2025. A Tabela 8, a seguir, apresenta os dados de 2017 e a projeção para 2025. Foram incorporadas a ela, para uso neste estudo, os anos de 2020, 2030, que são interpolações lineares dos anos de 2017 e 2025, com exceção do item estacionamento público, que é a diferença entre 100% e a somatória da participação dos três outros itens.

Segundo o estudo realizado nas 100 áreas metropolitanas mais populosas dos EUA, em 2017 a maior parte dos pontos de carga (77,3%) está concentrada nos domicílios, seguido pelo local de trabalho (9,5%), estacionamentos públicos (6,6%) e em pontos espalhados na rua (6,6%). Espera-se que haja aumento no número de carregadores em estacionamentos públicos, já que recargas no local de trabalho poderão ser realizadas por carregadores públicos. Isso vem a ser importante, pois garagens públicas são locais de estacionamento muito comuns na maioria das grandes cidades, mas podem servir a outros usos fora do

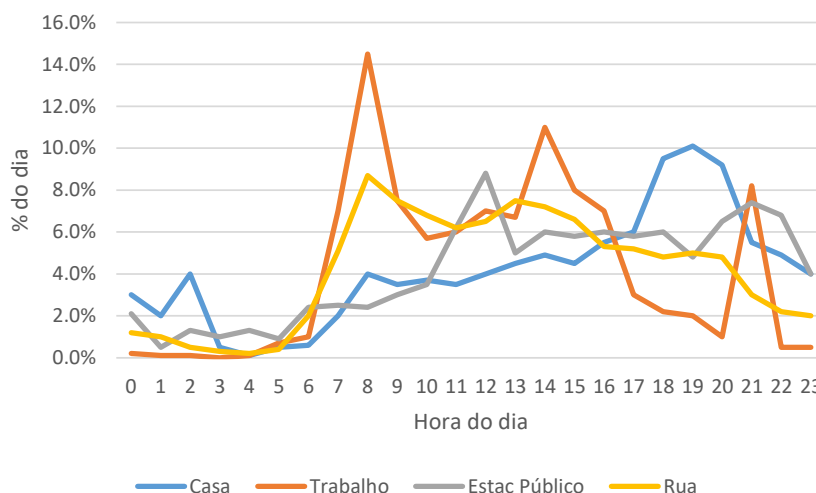
horário de trabalho tradicional. Este aumento em estacionamentos públicos ocasiona em redução, em 2025, na fatia de mercado dos demais locais considerados.

| Pontos de carga Urbana |       |          |               |      |
|------------------------|-------|----------|---------------|------|
| ANO                    | Casa  | Trabalho | Estac Público | Rua  |
| 2017                   | 77.3% | 9.5%     | 6.6%          | 6.6% |
| 2020                   | 74.8% | 8.9%     | 9.7%          | 6.5% |
| 2025                   | 70.8% | 8.1%     | 14.6%         | 6.4% |
| 2030                   | 67.0% | 7.3%     | 19.4%         | 6.3% |

**Tabela 8.** Fatia de mercado dos pontos de carga urbana. **Fonte:** Elaboração própria a partir de Nicholas,M., Hall,D., Lutsey,N (2019)

Nos cálculos foram consideradas para 2040 as mesmas fatias de mercado de 2030, assumindo-se um comportamento mais estável com o mercado mais maduro.

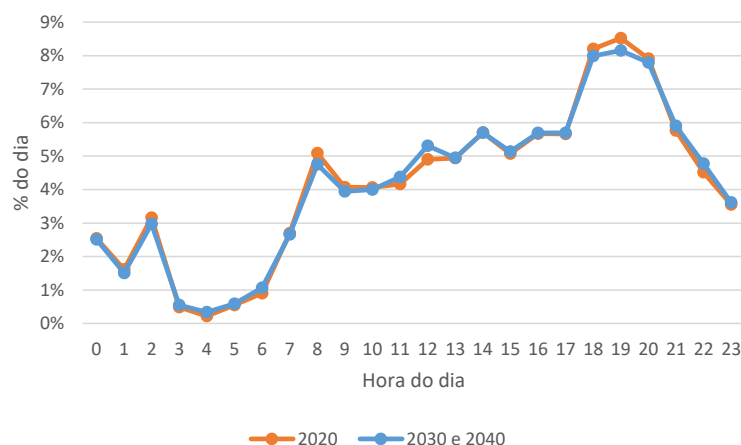
Ainda de Nicholas,M., Hall,D., Lutsey,N (2019), obteve-se a distribuição horária ao longo do dia por tipo de estabelecimento, cujas curvas são mostradas no gráfico a seguir.



**Figura 16.** Participação horária por estabelecimento - referência. **Fonte:** Elaboração própria a partir de Nicholas,M., Hall,D., Lutsey,N (2019)

Note que as curvas de participação horária por estabelecimento são baseadas em dados reais coletados em 2017 e não estão sob influência de políticas de preço da energia elétrica. É premissa das projeções desse estudo projetar o impacto do consumo elétrico veicular na infraestrutura elétrica na condição tendencial, sem influência de incentivos que o reconfigure, exatamente para que possam ser planejadas tais medidas de dispersão dos pontos de pico de consumo. Políticas de preço, alterações regulatórias, tecnologia dos carregadores são algumas medidas possíveis para distribuir melhor essas curvas de carga e consequentemente reduzir custos adicionais de energia.

Desta forma, unindo-se as projeções de fatia de mercado do consumo por tipo de estabelecimento com as distribuições horárias, temos as projeções horárias por tipo de estabelecimento para os anos de 2020 e 2030, apresentadas a seguir. Para 2040 foram usadas as mesmas projeções de 2030, conforme descrito anteriormente.



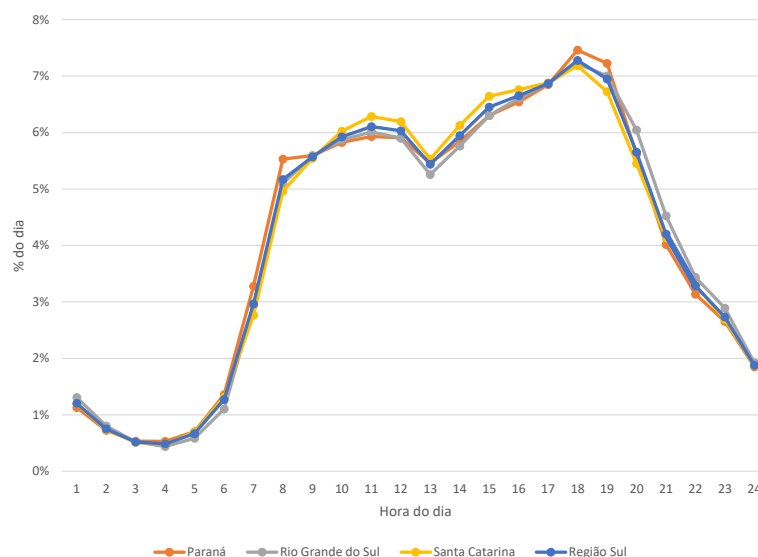
**Figura 17.** Projeções da participação horária por estabelecimento. **Fonte:** Elaboração própria

### Distribuição horária da demanda rodoviária

No ambiente rodoviário, foram considerados dois grupos de usuários: i) aqueles que realizam viagens menores que a autonomia veicular, e, portanto, não têm a necessidade de realizar recarga do veículo na rodovia, e ii) os que realizam viagens maiores que a autonomia veicular, e que necessitam recarregar o veículo ao longo da viagem.

O primeiro grupo considerou-se que seu comportamento se encaixa como uma demanda urbana. Para o segundo grupo, a demanda se dá durante o uso do veículo, e, portanto, é diretamente proporcional ao volume veicular nas rodovias.

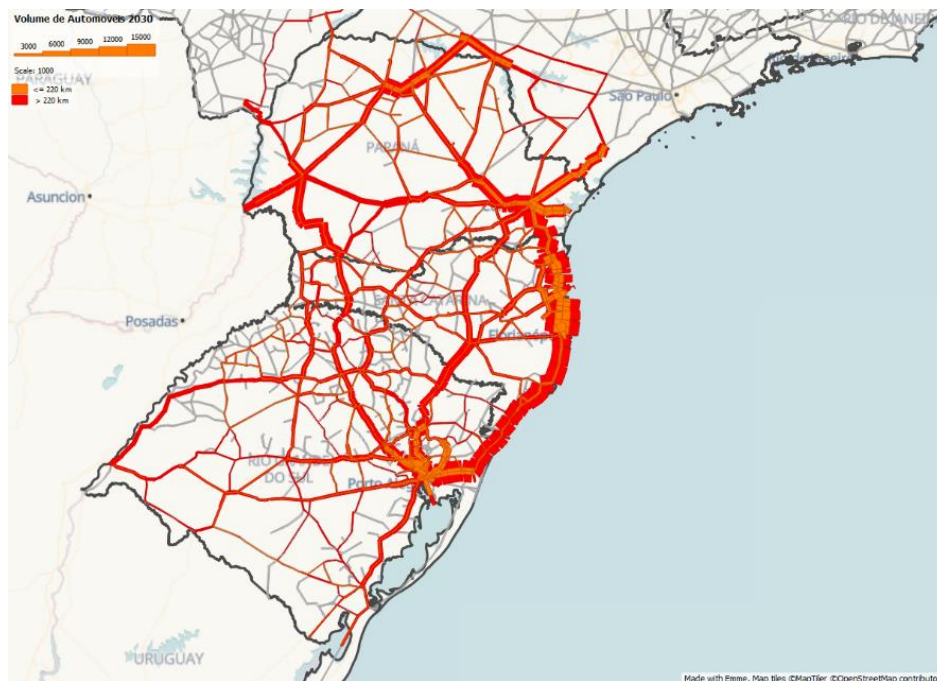
Das contagens de tráfego obtidas de diversos pontos nas rodovias dos três estados da região sul do país, especialmente as do PNCT – Plano Nacional de Contagem de Tráfego, que possui volumes horários, obteve-se a seguinte distribuição percentual do volume de automóveis ao longo do dia para os três estados. Como se pode observar no gráfico a seguir, o comportamento dessa distribuição é muito similar entre os três estudos. Dessa forma, optou-se por utilizar nos cálculos uma curva única para a Região Sul, identificada em azul no gráfico.



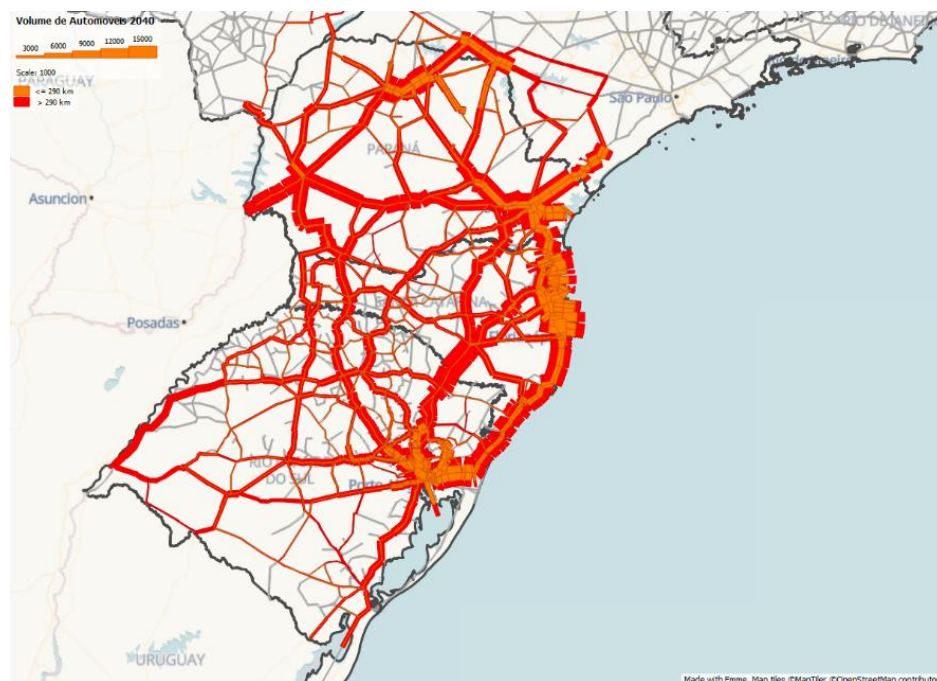
**Figura 18.** Distribuição horária do volume de automóveis nas rodovias da Região Sul. **Fonte:** Elaboração própria

### Proporção entre demanda urbana e demanda rodoviária

Conforme descrito anteriormente, foram consideradas demandas rodoviárias aquelas que utilizam as rodovias para viagens maiores que a autonomia veicular. As autonomias médias para automóveis elétricos consideradas foram de 220 km em 2030 e de 290 km em 2040. A Figura 19 e Figura 20, a seguir, apresentam o volume veicular nas principais rodovias da região sul para os anos de 2030 e 2040, identificado por cor quanto a sua extensão: laranja quando a viagem é menor que a autonomia, e vermelho quando são maiores.

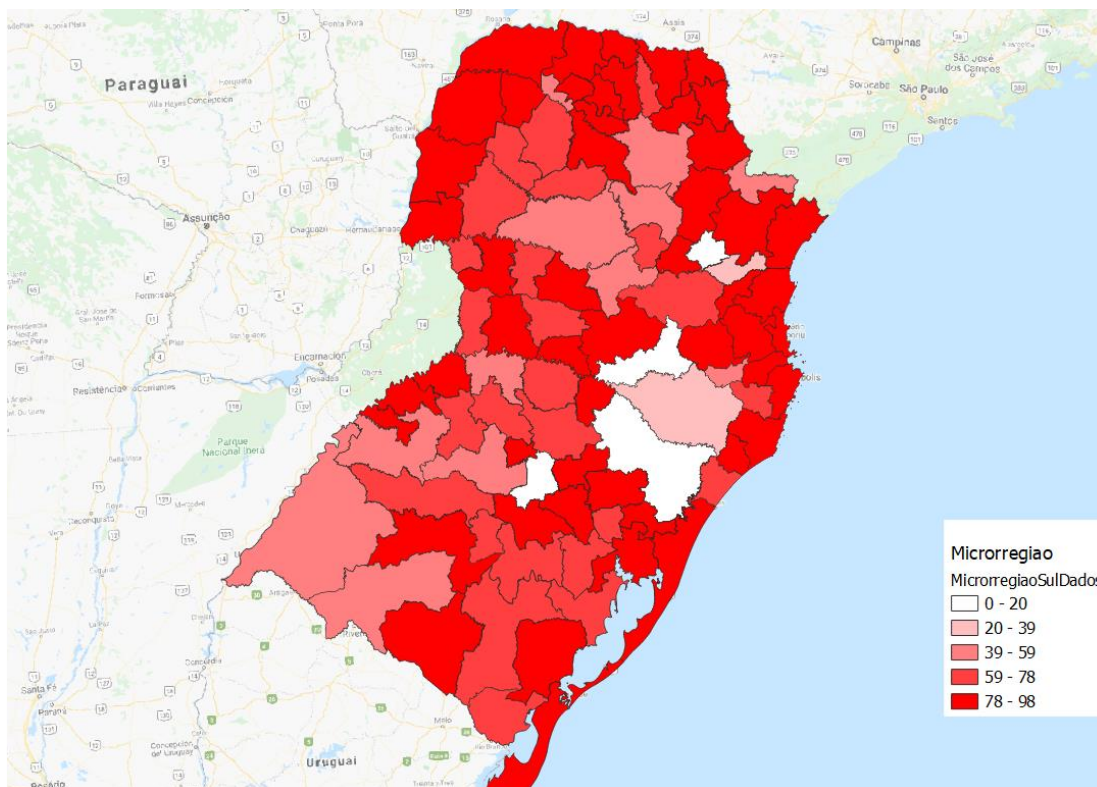


**Figura 19.** Volume simulado de viagens de automóveis nas rodovias – ano 2030. **Fonte:** Elaboração própria.



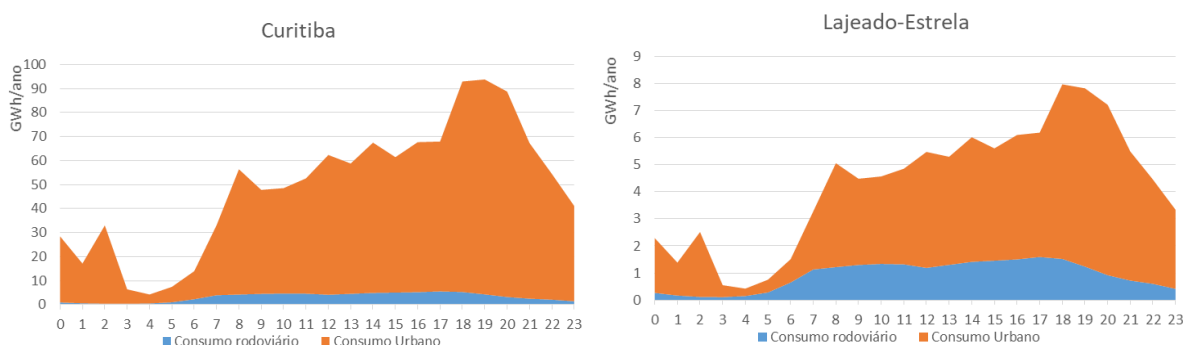
**Figura 20.** Volume simulado de viagens de automóveis nas rodovias – ano 2040. **Fonte:** Elaboração própria.

Com essa informação, calculou-se o consumo veicular das viagens consideradas rodoviárias dentro de cada microrregião, e, confrontando-o com o consumo total da microrregião, obteve-se a proporção de consumo rodoviário e urbano (1-rodoviário) de cada zona. A Figura 21 apresenta graficamente a faixa de proporção da demanda urbana em cada microrregião da região sul.



**Figura 21.** Participação percentual do consumo urbano de energia elétrica veicular. **Fonte:** Elaboração própria.

Das participações apresentadas nos itens anteriores, aplicadas às projeções de consumo de eletricidade veicular para os anos de 2030 e 2040 foram obtidas as tabelas de distribuição horária do consumo elétrico veicular por microrregião dos estados de PR, SC e RS. Nas seguintes figuras podemos observar exemplos de distribuição horária de consumo elétrico de microrregiões com diferentes padrões de mobilidade. Um exemplo com uma mobilidade principalmente urbana como Curitiba, e um exemplo Lajeado-Estrela que corresponde ao interior da região, com menor porte urbano, resultando em uma mobilidade interurbana significativamente mais forte.



**Figura 22.** Distribuição horária de consumo elétrico (em GWh). **Fonte:** Elaboração própria.



### 4.3. Contexto para avaliar as necessidades de reforço

Num primeiro levantamento feito para horizontes de até 2040, estima-se uma demanda de energia elétrica específica para os VEs conforme apresentado na Tabela 9. Nessa Tabela foram consideradas inicialmente as previsões de demanda de energia e potência previstas no PDE2050 (coluna sem VE) para a região Sul considerando um cenário de crescimento econômico baixo e um cenário de crescimento econômico alto. A demanda prevista para os VEs foi estimada para três cenários de adoção da tecnologia, ou seja, BaU – business as usual, intermediário e alta adoção. Como entende-se que a adoção dos VEs pelos consumidores guarda relação com o crescimento da economia que está correlacionado com o aumento de carga elétrica, optou-se por correlacionar o cenário BaU como o cenário de baixa demanda de energia e o de alta adoção como o cenário de alta demanda de energia elétrica. Com a demanda de energia elétrica prevista para o carregamento, utilizou-se um fator de carga aproximado de 0,51 determinado conforme “Item C – Demanda elétrica veicular futura”.

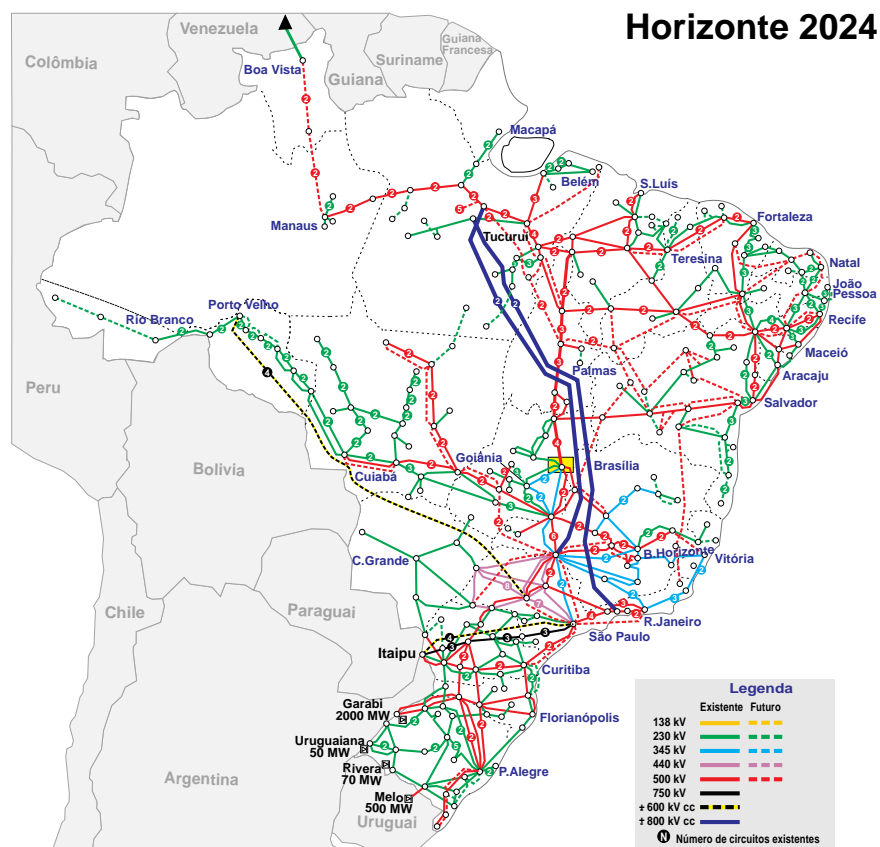
Conforme pode ser observado na Tabela 9 a demanda de energia (MWmed) devido ao VE não é significativa quando comparada com a carga total prevista para o ano de 2040, chegando ao máximo de 5,10% em termos de energia consumida. Este acréscimo pode ser acomodado pelo sistema de geração através de inclusão nos leilões de compra da distribuidora que ocorrem no Ambiente de Contratação Regulada (ACR) ou na compra direta no mercado livre no Ambiente de Contratação Livre (ACL). Em função do montante, é possível também utilizar geração distribuída do tipo fotovoltaica onde o carregamento pode se dar diretamente quando da incidência da luz solar ou através de sistemas de armazenamento apropriados conforme já foi mencionado nos modelos de negócio do Item E.

|                              | Unidades | Sem VE | Carga VE | Parcela do VE |
|------------------------------|----------|--------|----------|---------------|
| <b>Atual (2020)</b>          | MWmed    | 13.000 | –        | –             |
|                              | MW       | 20.889 | –        | –             |
| <b>Previsão Baixa (2040)</b> | MWmed    | 17.857 | 122      | 0,68%         |
|                              | MW       | 28.087 | 240      | 0,85%         |
| <b>Previsão Alta (2040)</b>  | MWmed    | 20.889 | 1066     | 5,10%         |
|                              | MW       | 32.856 | 2086     | 6,34%         |

**Tabela 9:** Influência da carga de VE no sistema elétrico. **Fonte:** Elaboração própria.

No ACL, com o fechamento do contrato de compra e venda entre o consumidor e o gerador de energia, há a necessidade de pagamento do transporte, ou a Tarifa de Uso da Rede de Transmissão (TUST) ou a Tarifa de Uso da Rede de Distribuição (TUSD) em função da rede elétrica que ambos estão conectados. É necessário que exista capacidade suficiente para atender ao fluxo resultante desta transação. Um dos pontos a ser levantado com a entrada dos VEs é se a capacidade da rede é suficiente para acomodar o carregamento destes veículos.

No caso brasileiro, o SIN possui linhas de transmissão e transformadores com tensões de 230 kV e acima. A rede atual está representada na Figura 23.



**Figura 23.** Sistema Interligado Nacional. **Fonte:** ONS (2018)

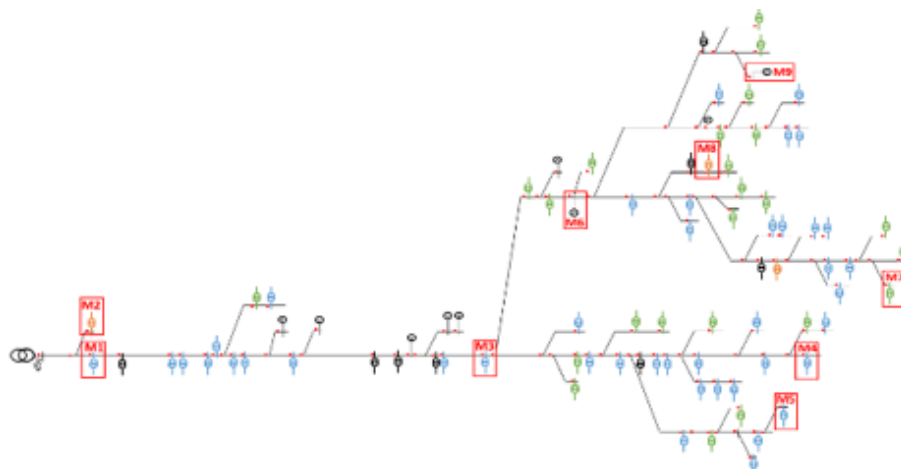
A partir da necessidade de energia e capacidade para carregamento do carro elétrico, é possível avaliar se o sistema de transmissão é suficiente, ou quanto de investimento é necessário para acomodar a inclusão dos carros. Na Tabela 9 foi levantado o acréscimo de capacidade necessária para atender o carregamento dos VEs. Em termos absolutos chegamos a cerca de 2000 MW no cenário de maior penetração da mobilidade elétrica. Este valor estaria disperso em toda a região Sul do Brasil, ou seja, representaria cerca de 6,3 % do total do pico de demanda. Em termos de transmissão de energia, este valor corresponde a menos que a capacidade de duas linhas de transmissão em 500 kV. Em geral o SIL (Surge Impedance Load) de uma linha de 500 kV é de 1000 MW<sup>1</sup>. Desta forma, pode-se concluir que o maior impacto não vai estar nem na geração e nem na transmissão de energia elétrica.

O impacto maior será na rede de distribuição pois ela é mais sensível a estas variações de potência. Além disto o carregamento na residência se dá utilizando a rede de baixa tensão (BT) que pode não estar adequada a esta demanda. No caso de carregamento em eletropostos ou em garagens de edifícios ou pontos comerciais, o consumo será aplicado nas redes de média tensão (MT) que também deverão ser adaptadas para este fim. A Figura 24 mostra um exemplo de uma rede de média tensão com os

<sup>1</sup> O SIL da linha é o valor ideal de capacidade onde a potência capacitiva se iguala à potência reativa natural, ou seja, é o ponto ideal de operação. Caso queira trabalhar com capacidade maior é necessário dispor de compensação reativa.

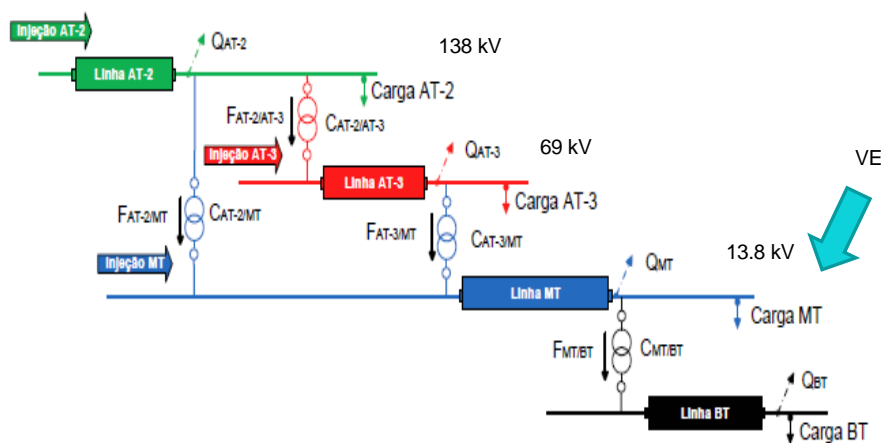


transformadores abaixadores<sup>2</sup> para a rede de baixa tensão, também conhecidos como transformadores de distribuição. Em geral, as redes de MT no Brasil trabalham com tensões em torno de 13,8 kV e tem característica radial diferente do sistema de transmissão que é malhado (vide Figura 23). A partir da subestação principal onde encontra-se o transformador de força (normalmente de 138 kV / 13,8 kV ou 69 kV/13,8 kV) parte a rede trifásica (também conhecida como alimentador) que alimenta as cargas comerciais e residenciais.



**Figura 24.** Alimentador típico na rede MT. **Fonte:** Elaboração própria.

Uma visualização simplificada da rede de distribuição é utilizada para fins de definição de investimentos nas diferentes redes classificadas por nível de tensão. A Figura 25 apresenta os fluxos de potência entre as redes que são conectadas através de transformadores abaixadores. A conexão da transmissão com a rede de distribuição se dá através da rede de alta tensão (AT) que compreende tensões entre 138 kV a 69 kV. Esta rede pode ser malhada ou radial e serve para levar energia das grandes subestações AT/MT para os alimentadores.



**Figura 25.** Diagrama unifilar simplificado da rede de distribuição. **Fonte:** Elaboração própria.

<sup>2</sup> Um transformador tem como papel modificar tensão elétrica, elevar ou até abaixar essa tensão. Ele altera essa tensão elétrica através do campo magnético variável, surgindo uma indução na bobina secundária.

As redes AT-2 (138 kV ou 88 kV) e AT-3 (69 kV) são alimentadas pelas subestações da rede de transmissão ou Rede Básica (RB), ou seja, fazem o suprimento de toda a distribuidora. Nestas subestações de fronteira encontram-se grandes transformadores com potências de 150 a 500 MVA. Voltando à máxima potência prevista para o carregamento elétrico total da região Sul de 2000 MW (Tabela 9) nota-se que com apenas 4 subestações de fronteira seria possível suprir toda a demanda adicional de VEs no cenário mais otimista para 2040. Além disso, vão existir injeções de potência devido à pequena geração (geração distribuída – GD) conectada nas redes AT e MT que vão aliviar estas transformações. Apesar da GD ser intermitente, espera-se também que com o aprimoramento das baterias químicas será possível armazenar energia e com isto mudar o perfil de carga otimizando o uso destas redes.

Como o maior impacto encontra-se nas redes das distribuidoras sendo principalmente nas redes MT e BT, seria interessante avaliar o impacto em termos de investimento nestas redes. Uma metodologia bastante difundida e utilizada pelas empresas de distribuição e órgão regulador, é o modelo agregado de investimentos que é descrito a seguir.

#### 4.4. Relação demanda e investimento em rede

Como as redes de transmissão e distribuição têm características de monopólio natural, o órgão regulador é quem monitora a expansão destas redes e define as tarifas de uso. No Brasil, a ANEEL estabelece as tarifas de uso do sistema de transmissão (TUST) e as tarifas de uso do sistema de distribuição (TUSD). Para a transmissão, o planejamento da rede é feito pela EPE anualmente e o resultado é apresentado nos Planos Decenais de Expansão (PDE) que servem de base para fazer os leilões de transmissão. Os ganhadores destes leilões recebem uma receita anual para disponibilizar o ativo para a operação do ONS. Com os custos dos ativos e do ONS é estabelecida a Receita Anual Permitida (RAP) da transmissão que é utilizada como base para estabelecimento da TUST. Conforme já mencionado, a transmissão não vai sofrer grandes mudanças e não é um segmento de preocupação com a entrada dos VEs. O mesmo não acontece com a rede de distribuição que será objeto de maior análise neste trabalho.

A Distribuidora é responsável pelo planejamento da sua rede e é obrigada a informar ao regulador a sua base de ativos assim como os investimentos em expansão. Isto é importante pois a remuneração destes ativos é definida a cada revisão tarifária visto que é o usuário final da rede que irá remunerar tanto o CAPEX como o OPEX através da tarifa TUSD. Com a receita total definida para atender estes custos, o regulador utiliza uma metodologia de rateio da receita requerida para cobrar de cada usuário. O principal direcionador deste rateio é o custo marginal de capacidade (CMC)<sup>3</sup> que representa quanto é necessário em termos de investimento em rede para acomodar 1 kW de potência adicional.

O critério utilizado para a definição das componentes da TUSD com rateio pelo custo marginal baseia-se na estrutura de custos marginais de capacidade, definida a partir da responsabilidade de cada consumidor nos custos de expansão do sistema. Os dados necessários para a construção da estrutura dos CMCs são:

- Custo Incremental Médio de Longo Prazo (CIMLP), por faixa de tensão [R\$/kW];
- Comportamento da carga, obtida pelas tipologias de curvas de carga de consumidores e redes ajustadas ao mercado (MWh) da concessionária;

---

<sup>3</sup> O CMC é também conhecido de forma mais ampla como Custo Marginal de Expansão.

- Topologia do sistema de distribuição, obtida pelo diagrama unifilar simplificado de fluxo de carga (MW) da concessionária na condição de carga máxima.

Segundo a legislação vigente, a campanha de medição e as curvas de carga resultantes para as unidades consumidoras e instalações de transformação de tensão da empresa, bem como o diagrama unifilar simplificado, devem ser disponibilizados para a ANEEL pelas distribuidoras até três meses antes do mês previsto para a revisão tarifária.

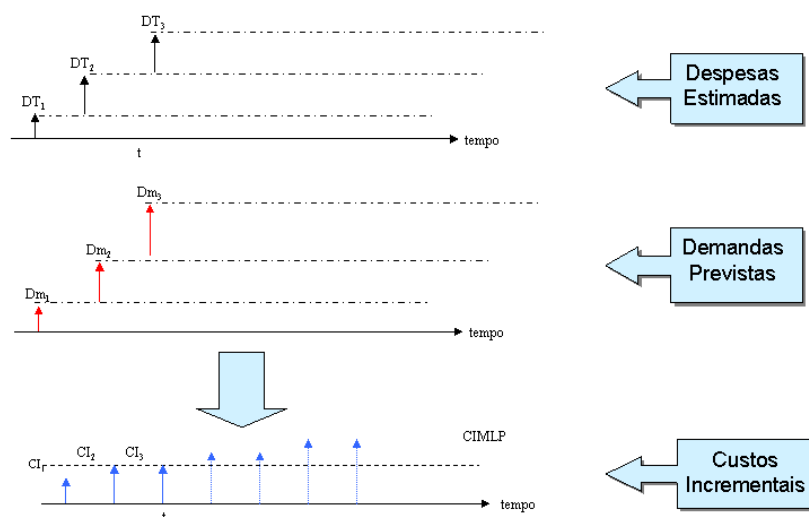
Os custos marginais de expansão podem ser obtidos utilizando-se:

- O Custo Incremental Médio de Longo Prazo (CIMLP), obtido a partir de um estudo de planejamento de expansão;
- A Lei de Quantidade de Obras (LQO), elaborada a partir de dados históricos de agregados de obras e consumo.
- Custo Médio de Longo Prazo (CMELP) que representa o custo praticado pela empresa incorporando o custo de remuneração dos ativos e o custo operacional

O primeiro utiliza informações do futuro e necessita de um planejamento com horizontes de 5 a 10 anos. O segundo utiliza informações do passado para definir a relação entre investimentos e demanda. A regulação brasileira utilizava no passado a LQO antes da reestruturação do setor elétrico e a partir do final da década de noventa passou-se a utilizar o CIMLP. Devido à dificuldade em padronização dos planejamentos das distribuidoras, onde havia diferenças significativas entre elas quando comparava os custos para cada nível de tensão, a ANEEL, a partir do terceiro ciclo de revisões adotou o CMELP.

### Custo Incremental Médio de Longo Prazo

Uma vez selecionado um plano de investimentos em um horizonte de planejamento, são estimados os valores anuais de despesas relacionadas com estes investimentos. Esta estimativa é obtida determinando o valor anual do investimento previsto cada ano, durante a vida útil do equipamento, a uma taxa de remuneração que contemple além das despesas de financiamento, as taxas de depreciação dos ativos e uma taxa anual de despesas operacionais. Dessa forma, tem-se uma aproximação das despesas totais anuais (DTt) a partir dos investimentos propostos.



**Figura 26.** Cálculo dos custos incrementais médios. **Fonte:** Elaboração própria.

De posse das despesas totais anuais e da evolução do crescimento de carga, relacionam-se essas despesas ao incremento de demanda máxima de energia elétrica (Dmt). O custo incremental é obtido ano a ano, através da relação das despesas sobre o incremento de demanda conforme mostrado na Figura 26. Como o custo incremental pode variar significativamente de um ano para outro em virtude da indivisibilidade dos investimentos, é mais prudente, sob o ponto de vista tarifário, que se busque uma média dentro do horizonte de planejamento.

Este custo médio passa a ser denominado de custo incremental médio de longo prazo (CIMLP) e pode ser obtido através da seguinte expressão:

$$CIMLP = \frac{\sum_t \frac{DT_t}{(1+TMA)^t}}{\sum_t \frac{Dm_t}{(1+TMA)^t}}$$

Onde TMA é a taxa mínima de atratividade de cada empresa. A ANEEL estabelece uma taxa de retorno regulatória (TRR) que é calculada a cada quatro ou cinco <sup>4</sup>anos coincidindo com os ciclos de revisão tarifária das distribuidoras.

Dado que a estrutura tarifária vigente é estratificada por nível de tensão, o cálculo dos custos marginais de capacidade a partir dos CIMLP's está sujeito, em alguns casos, a resultados indesejáveis. Nos casos em que o CIMLP de um determinado nível de tensão é zero ou negativo, os custos marginais de capacidade resultantes neste nível serão baixos. Ao transportar este efeito para as tarifas, haverá um estímulo por parte dos consumidores em migrar suas instalações para este nível de tensão.

Na realidade, a razão pela qual este custo é zero ou negativo deve-se ao fato de a empresa não estar mais investindo neste nível de tensão. Por exemplo, uma empresa prefere descontinuar a expansão do 34,5 kV, ocasionando um CIMLP para o 34,5 kV de valor nulo. Ocorrendo estas situações, tratamentos estatísticos devem ser utilizados visando dar mais coerência aos sinais econômicos obtidos. Ao utilizar o CIMLP deve-se observar que o valor total do investimento previsto deve ser alocado no ano de entrada de operação da obra.

### Lei de Quantidade de Obras

As LQO's são funções que correlacionam valores históricos de agregados de obras com a potência instalada (MVA) ou energia elétrica consumida (MWh). As variáveis explicativas podem ser tanto a potência instalada quanto o consumo de energia faturado ao longo dos anos, enquanto as variáveis explicadas, ou seja, os agregados de obras podem ser:

- km de rede;
- transformadores;
- “bays” de linha;
- “bays” de transformação.

---

<sup>44</sup> A EDP Espírito Santo tem revisão a cada 3 anos.

Uma vez determinada a LQO para cada agregado de obra, calcula-se o custo médio de desenvolvimento anual, também denominado de custo marginal de expansão. Este custo resulta do produto da derivada da LQO pelo custo unitário anualizado do referido agregado.

Um exemplo de cálculo do LQO é apresentado na Figura 27.

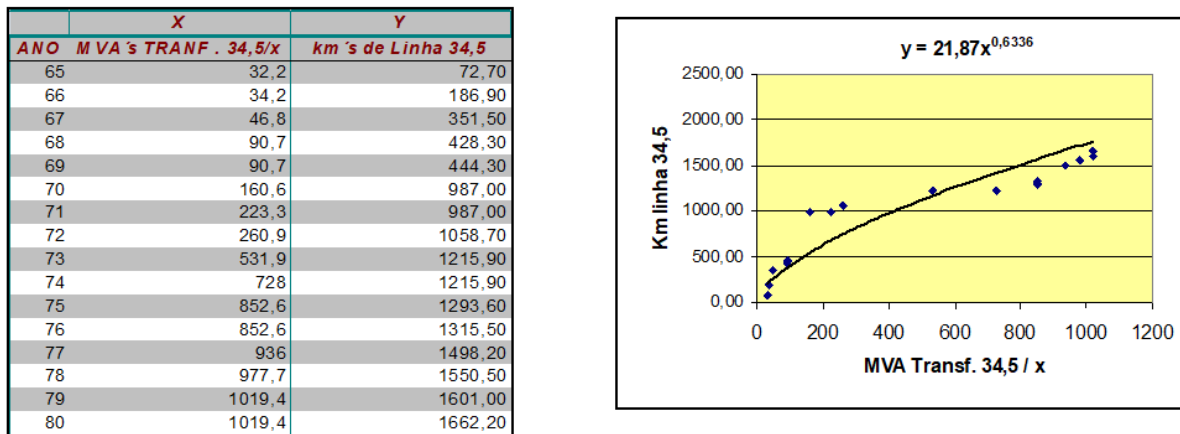


Figura 27. Método LQO. Fonte: Elaboração própria.

Dada uma função que define uma LQO:

$$\left\{ \begin{array}{l} O_{br}(t) = K * [P(t)]^{\alpha} \end{array} \right.$$

Onde  $P(t)$  é a potência requerida no ano  $t$ ,  $K$  e  $\alpha$  são os parâmetros de ajuste e  $O_{br}$  é a quantidade de obras.

A partir da expressão acima é possível obter a relação entre o acréscimo de obra e o acréscimo de potência buscando através de um histórico de realizações obter o custo marginal que representa a derivada desta função. Esta metodologia avalia a relação dos investimentos com a demanda através do passado e como as tecnologias atuais e os custos têm variado significativamente esta acabou sendo desativada.

### Procedimento da ANEEL

Nos itens anteriores foram apresentadas duas técnicas de cálculo dos custos marginais de expansão. Considerando que os valores obtidos a partir destas técnicas trazem inúmeros aspectos circunstanciais e especificidades das empresas, conforme já explicado anteriormente, a ANEEL adotou custos incrementais médios observando os dados de todas as empresas, ou seja, adotou um custo incremental regulatório para todas as empresas (Tabela 10).

| Nível de Tensão (kV) | CIMLP (R\$/kW) |
|----------------------|----------------|
| 138                  | 29,13          |
| 69                   | 35,56          |
| 34,5                 | 36,63          |
| 13,8                 | 41,15          |
| Menor 2,3            | 57,10          |

**Tabela 10.** Custos incrementais médios de longo prazo (valores calculados em 2014). **Fonte:** ANEEL, 2014.

Uma vez que no cálculo da Tarifa de Referência é realizado um ajuste para a recuperação da receita definida para a distribuidora, o importante é a relatividade entre os custos e não os seus valores absolutos.

Recentemente, a ANEEL, em função da dispersão observada em cada nível de tensão, adotou o CMeLP que segundo a teoria econômica, quando o sistema está no seu ponto ótimo, o custo médio se iguala ao custo marginal. Como o custo médio é obtido diretamente da base de remuneração e dos custos operacionais das distribuidoras no presente sem utilizar dados históricos e nem dados do planejamento, fica mais simples a sua aplicação. Além disto, a ANEEL estabelece um valor médio regulatório utilizando uma metodologia de comparação que busca uma eficiência relativa entre as distribuidoras.

A Tabela 9 apresenta os custos médios para a COPEL na revisão tarifária de 2016.

| Nível de Tensão (kV) | Custo Médio (R\$/kW) |
|----------------------|----------------------|
| 138                  | R\$ 104,32           |
| 69                   | R\$ 96,63            |
| 34,5                 | R\$ -                |
| 13,8                 | R\$ 326,98           |
| Menor 2,3            | R\$ 320,32           |

**Tabela 9.** Custos médios (valores calculados em 2016). **Fonte:** Nota Técnica ANEEL 219/16.

### Responsabilidade do Consumidor

Para medir o impacto que cada consumidor causa em termos de custos para a rede elétrica seria necessário fazer uma análise individual que para grandes consumidores é factível e geralmente conduzida. No entanto, para pequenos consumidores como os carregamentos de VEs não é viável e aí parte-se para uma análise agregada e simplificada. O primeiro passo é medir o que cada conjunto de carga em um determinado nível de tensão causa no próprio nível como em níveis a montante (níveis de tensão acima). Nota-se que neste caso considera-se o sistema de distribuição como um conjunto de redes classificadas por nível de tensão e conectadas por transformadores conforme visualizado na Figura 21. Um fluxo de potência básico é estabelecido para determinar a contribuição entre níveis e depois são feitos agrupamentos de cargas para avaliar o impacto destes grupos na rede.

### Proporção de Fluxo

A proporção de fluxo é calculada com base no diagrama unifilar simplificado do fluxo de potência do sistema elétrico da distribuidora, no momento de carga máxima do sistema conforme apresentado na Figura 21. Esta proporção é importante para identificar quanto cada nível utiliza do nível a montante, isto é, quanto de carga de um nível é transferida para o nível superior.

### Tipologias de carga

As tipologias associadas às curvas de carga são obtidas por meio da realização de campanhas de medição que utilizam técnicas de amostragem probabilística na definição de uma amostra representativa do universo de consumidores e das instalações de transformação de tensão.

A partir da caracterização da carga é possível obter a responsabilidade de cada consumidor típico na expansão da rede de distribuição. Essa responsabilidade é traduzida pelo custo marginal de capacidade.

### Caracterização da carga

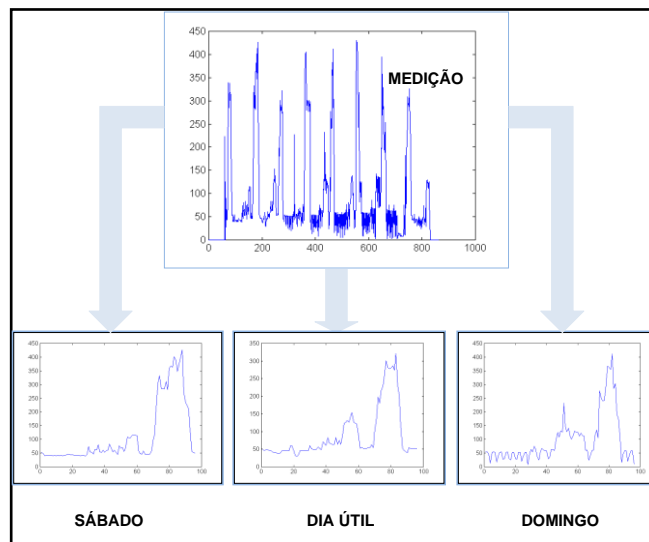
A inviabilidade prática da construção de tarifas a partir da análise do comportamento individual da curva de carga dos consumidores e das instalações de transformação de tensão torna necessária a definição de um número conveniente de curvas de carga típicas. Um conjunto de curvas de carga deve representar a totalidade dos consumidores e das instalações de transformação de tensão da concessionária.

As medições das curvas de carga dos consumidores e de instalações de transformação de tensão, consideradas no estudo tarifário, passam por um tratamento estatístico para formar curvas típicas, relevantes para o estabelecimento da responsabilidade dos consumidores nos custos ao longo da rede de distribuição de energia. Esta etapa é dividida em três fases:

- Identificação de curvas características;
- Agregação de curvas de carga;
- Ajustes das tipologias ao mercado.

### Identificação das Curvas Características

Para a identificação de curvas de carga características, convencionou-se tratar os três dias mais representativos, ou seja, um dia útil, um sábado e um domingo. Inicialmente são identificadas as curvas de carga para os dias escolhidos, representando o comportamento típico. Este procedimento está ilustrado na Figura 24 e é realizado para cada consumidor e unidade de transformação pertencente à amostra. Ao final, cada consumidor e transformação estão associados a três curvas características associadas aos três dias representativos mencionados.

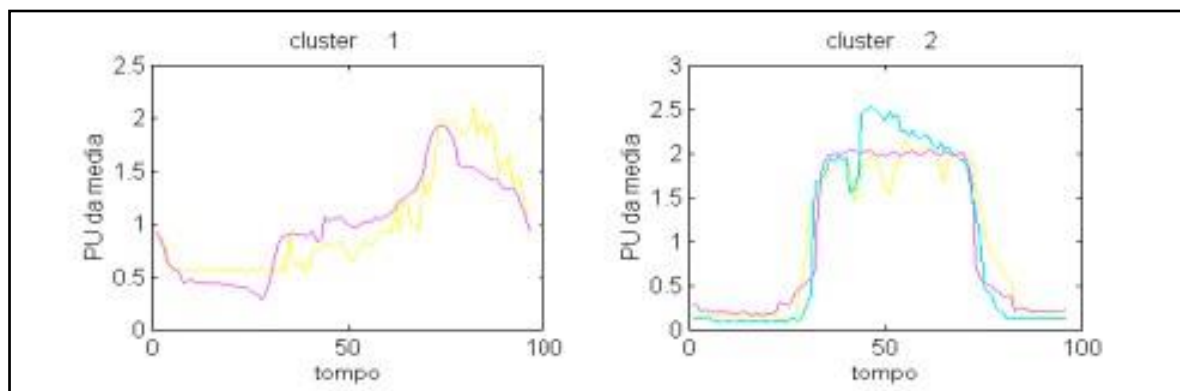


**Figura 28.** Identificação das Curvas Características. **Fonte:** Elaboração própria.

### Identificação das Curvas Características

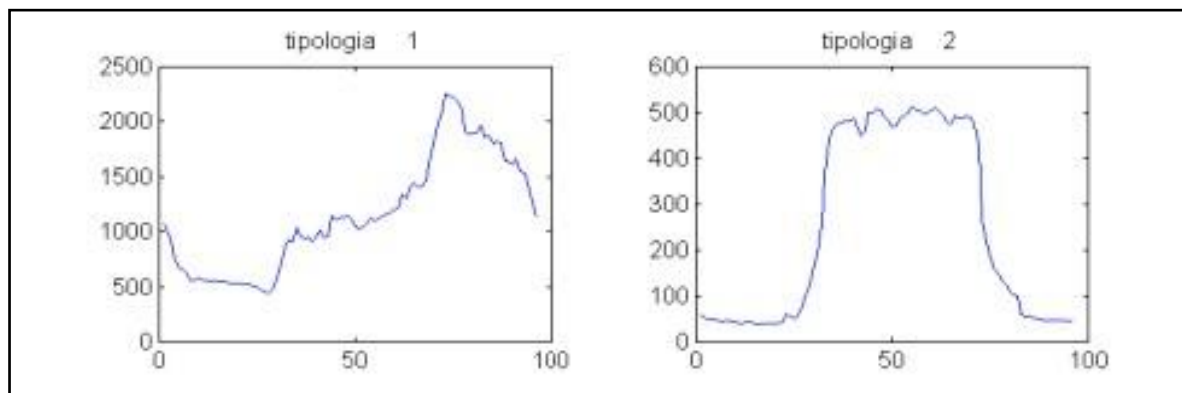
As curvas características dos consumidores representam o universo de consumidores de um nível de tensão, subgrupo tarifário, classe ou faixa de consumo. Por sua vez, as curvas características das transformações do sistema representam o universo das transformações entre dois níveis de tensão ou subgrupos tarifários.

Na agregação das curvas características que irão identificar os clientes tipo e redes tipo são empregadas técnicas de agrupamento estatístico como a de “cluster analysis”. De forma geral, dado um conjunto de curvas características, a técnica de cluster *analysis* segrega este conjunto em subconjuntos ou clusters, de tal forma que as curvas de um mesmo subconjunto apresentem uma grande semelhança entre si, mas as curvas de subconjuntos diferentes apresentem uma baixa similaridade. No final, cada subconjunto será representado por uma curva típica, ou melhor, por uma tipologia. Como exemplo, a Figura 29 mostra as curvas características, em p.u. da média, que compõem cada cluster e a Figura 30 mostra as tipologias que representam cada cluster.



**Figura 29.** Curvas Características que compõem os clusters. **Fonte:** Elaboração própria.



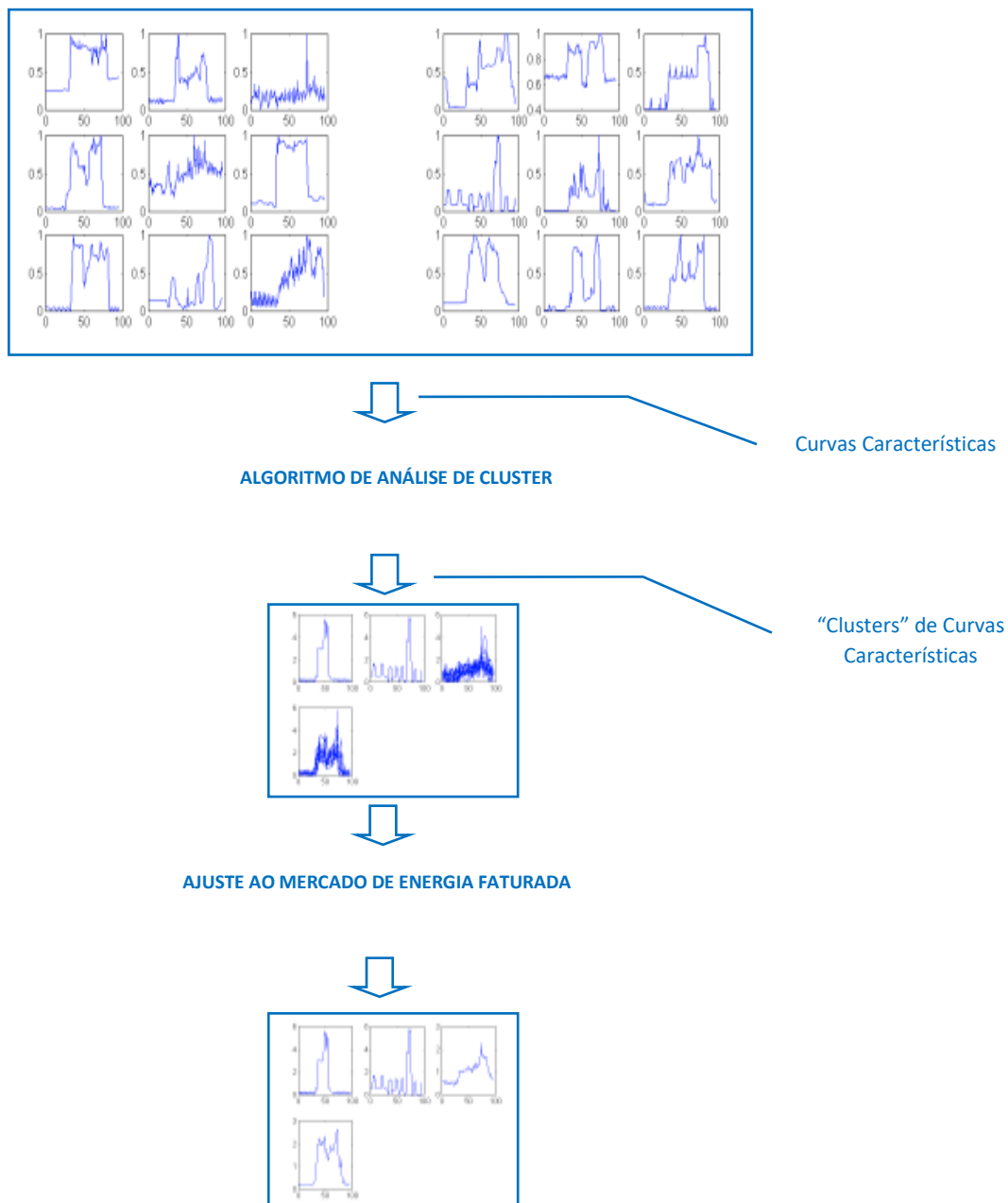


**Figura 30.** Tipologias representando os clusters. **Fonte:** Elaboração própria.

#### Ajuste das Tipologias ao Mercado

Nesta fase, as tipologias dos clientes-tipo são ajustadas ao mercado anual do subgrupo tarifário, classe ou faixa de consumo que eles representam. Da mesma forma, as tipologias das redes-tipo são ajustadas ao consumo anual das instalações de transformação que elas representam.

A Figura 31 exemplifica a sequência de construção da tipologia. Inicialmente é feita a análise de cluster para formar os agregados de curvas de carga e, em seguida, é feito o ajuste dos agregados ao mercado do universo que representam.



**Figura 31.** Construção da Tipologia. **Fonte:** Elaboração própria.

As tipologias ajustadas aos mercados de energias faturadas são utilizadas para o cálculo dos custos marginais de capacidade e devem refletir a condição de operação do sistema. As demandas máximas identificadas nestas tipologias irão definir as demandas teóricas responsáveis pelas ampliações e custos dos sistemas de distribuição. De acordo com a teoria econômica, os custos marginais constituem um sinal adequado para orientar o consumo no sentido de uma alocação eficiente dos recursos no sistema. A utilização destes custos proporciona uma estrutura tarifária racional onde cada consumidor é responsabilizado pelo custo imputado à distribuidora para o seu atendimento.

Considerando que o sistema de distribuição é expandido em função das demandas máximas e essas demandas são resultantes da composição das tipologias dos diversos clientes conectados à rede, define-se

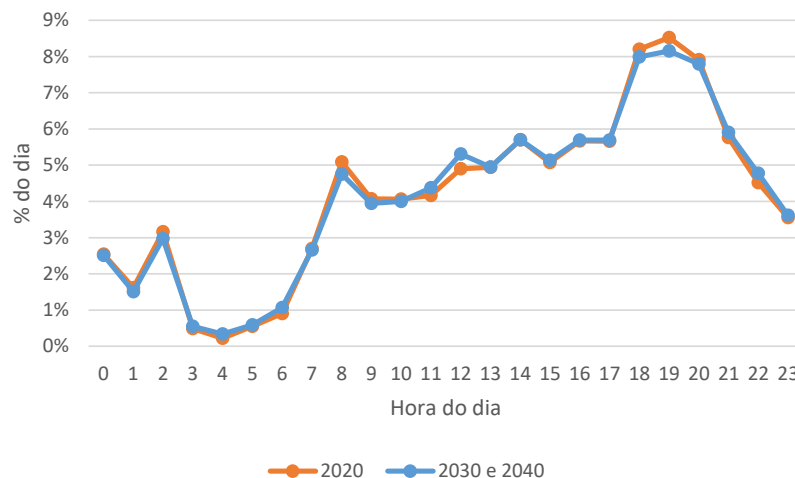
custo marginal de capacidade como sendo as responsabilidades dos clientes-tipo nos custos de expansão desse sistema. Salienta-se que estes custos dependem da coincidência das demandas máxima dos clientes com as demandas máximas das redes-tipo nos diversos segmentos do sistema de distribuição.

Em resumo, o custo marginal de capacidade (CMC) reflete a contribuição do cliente-tipo na formação da demanda máxima da rede-tipo. Estes custos são calculados para os postos tarifários definidos em cada concessionária.

Existem atualmente dois postos tarifários principais estabelecidos para as empresas de distribuição de energia: posto ponta, estabelecido para o período definido pela concessionária e composto por 3 (três) horas diárias consecutivas, exceção feita aos sábados, domingos e feriados nacionais, considerando as características do seu sistema elétrico; e, posto tarifário fora de ponta: estabelecido para o período composto pelo conjunto de horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas para o posto tarifário ponta. Recentemente, foi criada a tarifa branca que estabeleceu um novo posto tarifário denominado de Intermediário.

#### 4.5. Enquadramento dos veículos elétricos

Os VEs são na realidade uma nova classe de consumidores de energia e que deverão ser tratados da mesma forma que os demais. A curva típica de carga determinada anteriormente para os anos de 2030 e 2040 sem considerar qualquer sinal econômico emitido pela tarifa para carregamento urbano do VE apresenta comportamento similar ao apresentado na Figura 32.



**Figura 32.** Curva típica de carregamento urbano. **Fonte:** Elaboração própria.

É importante observar que esta curva tem característica similar ao de um alimentador com alta percentagem de carga residencial. Como exemplo, o alimentador da região de Suzano no Vale do Paraíba de característica residencial apresenta uma curva de carga similar ao do carregamento dos VEs para um dia útil. Nota-se que neste caso, a ponta do carregamento do VE quase que se iguala à ponta do alimentador. Isto quer dizer que a responsabilidade de potência desta nova carga é praticamente unitária, implicando na necessidade de aumento de infraestrutura e em cobrança pelo acréscimo de investimentos em transformação MT/BT, cabos e postes.



Figura 33. Alimentador característico residencial. Fonte: Elaboração própria.

Pode-se considerar que neste caso o carregamento máximo irá ocorrer na ponta de carga para as redes MT e BT. Se de forma conservativa, a ponta da rede MT coincide com a ponta das redes AT, o custo pode ser calculado de forma simplificada e agregada através da soma dos custos incrementais de capacidade de cada nível de tensão mostrados na Tabela 10. Supondo que a SE deste alimentador esteja conectado à rede de 138 kV, o custo marginal de expansão é de 133,81 R\$/kW. Como um carregador típico de residência tem capacidade de 7,5 kW, podemos inferir um custo de capacidade de R\$ 1003,57 por ano sem impostos. Isto não inclui o custo de energia consumida e nem as instalações de responsabilidade do consumidor. É importante observar que se o nível de penetração de VEs for elevado, para evitar a necessidade de grandes investimentos na rede MT e nos abaixamentos para o BT poder-se-ia mudar a estrutura tarifária como a mudança da tarifa monômnia para a tarifa binômnia ou mesmo a tarifa multi-posto como a tarifa branca já disponível. Isto faria com que o consumidor evitasse de carregar o VE na hora da ponta deslocando o carregamento para os horários a partir das 23h00 por exemplo.

Diferente da carga urbana, os eletropostos em rodovias apresentam um outro perfil de carga além de ter a necessidade de dispor de carregamento rápido. A potência pode chegar de 50 kW a 300 kW e normalmente deverão estar conectados diretamente na rede MT. A Figura 34 apresenta um perfil típico de um eletroposto numa rodovia, já apresentado. Conforme comentado anteriormente, a localização do estado em que o eletroposto está não altera significativamente o perfil de carga.

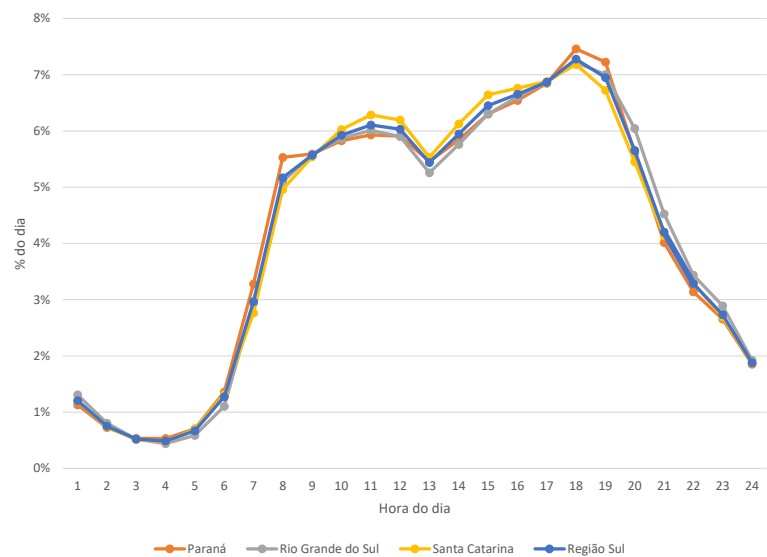


Figura 34. Curva típica de carregamento rodoviário. Fonte: Elaboração própria

Supondo que o eletroposto estará conectado a um alimentador com características comerciais conforme curva de carga mostrada na Figura 34 também da região de Suzano, podemos observar que há uma certa coincidência nos picos de consumo.

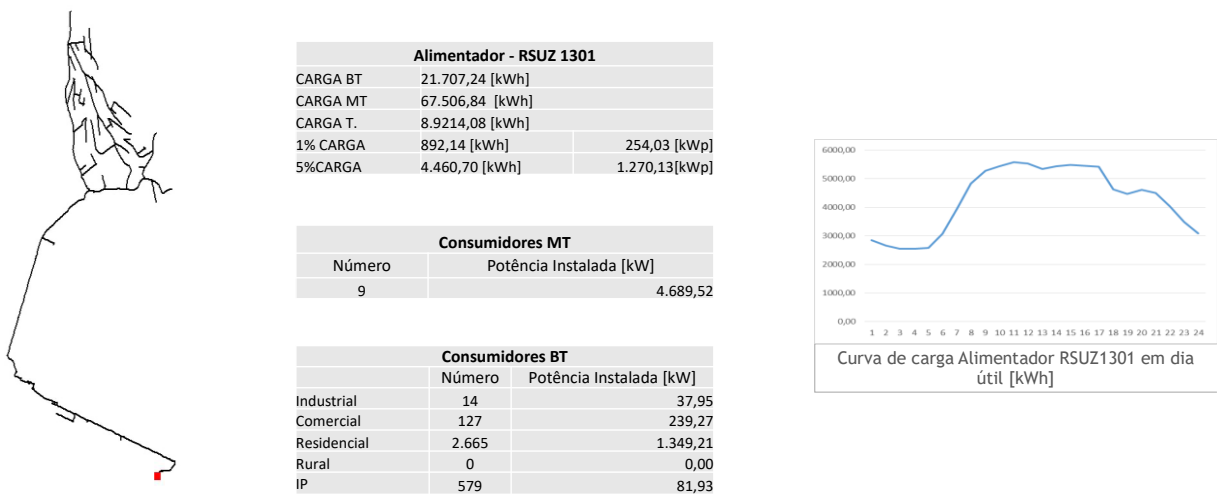


Figura 35. Curva típica de alimentador com concentração de carga comercial. Fonte: Elaboração própria.

Neste caso, não há uma responsabilidade plena do eletroposto em relação à ponta do sistema, mas no horário das 11 horas por exemplo já existe a possibilidade de haver um comprometimento no horário de ponta da rede. Isto dependerá do nível de penetração dos eletropostos. Caso houvesse um comprometimento total da ponta, o custo anual de investimento para acomodar um eletroposto de 300 kW seria de R\$ 21.084,00 anual. Este valor é obtido multiplicando a potência pela soma dos custos marginais da rede de 13,8 kV e de 138 kV. Note que a carga de ponta deste eletroposto significaria para este alimentador um acréscimo de 5,4%. É importante mencionar que estes cálculos são conservativos pois não foi considerado nenhum efeito da tarifa binômia aplicada ao nível A4 (MT) que tenta minimizar a ponta do sistema.

#### 4.6. Valoração das necessidades de investimento

Conforme pode ser observado, a entrada dos postos de carregamento de carros elétricos não muda a característica da rede pois estas novas cargas são relativamente pequenas e não demandam investimentos específicos quando olhadas individualmente. O problema está no grau de penetração dos postos de carregamento que podem afetar o montante de demanda previsto. No entanto, conforme apresentado na Tabela 9, o crescimento global previsto em termos de potência para 2040 está dentro de uma normalidade que pode ser acomodado pelo setor elétrico.

Fazendo uma extrapolação dos casos individuais para um modelo agregado utilizando as mesmas considerações de responsabilidade da ponta do carregamento dos VE's e utilizando os dados típicos da Tabela 9, chegamos aos custos dos acréscimos em rede elétrica Tabela 10 de acordo com os cenários construídos tanto de implementação dos VEs como de crescimento da carga elétrica do sistema. Como a Tabela 9 apresenta os custos médios anuais, estes valores são anuais aos preços de 2016 conforme NT ANEEL 219/16.

| Empresa           | Cenário           | Custo da Rede<br>(R\$ milhões) |
|-------------------|-------------------|--------------------------------|
| PARANÁ            | Business as Usual | 51,0                           |
|                   | Intermediário     | 149,1                          |
|                   | Alta Penetração   | 426,7                          |
| SANTA CATARINA    | Business as Usual | 35,7                           |
|                   | Intermediário     | 104,5                          |
|                   | Alta Penetração   | 298,8                          |
| RIO GRANDE DO SUL | Business as Usual | 50,4                           |
|                   | Intermediário     | 147,5                          |
|                   | Alta Penetração   | 421,8                          |

**Tabela 10.** Custos de expansão da rede para acomodar VEs. **Fonte:** Elaboração própria.

É importante listar as premissas adotadas para o cálculo dos valores acima:

- 1) Foram utilizados os custos médios por nível de tensão da COPEL estabelecidos na última revisão tarifária de 2016. É possível atualizar estes valores para cada área de concessão a partir de tabela de custos médios similar a da Tabela 9.
- 2) Tanto para o carregamento urbano como para o rodoviário foi definido que a ponta do carregamento ocorre de forma coincidente com a ponta de utilização da rede de distribuição tornando o resultado conservativo. Para cada distribuidora existem características diferentes quanto às curvas de cargas

típicas que deverão ser utilizadas para definir a responsabilidade consumidor-tipo (no caso carregamento de VE) com rede-tipo.

- 3) Não foi considerada nenhuma ação do usuário do carro elétrico no momento de carregamento buscando otimizar o seu custo, ou seja, não foi utilizado nenhum sinal econômico para deslocamento do momento de carregamento. Isto pode ser feito através de tarifa diferenciada por posto tarifário como a tarifa branca ou tarifa binômia.
- 4) Para o carregamento urbano, foi considerado que ele ocorre no nível BT em sua totalidade apesar de alguns artigos mencionarem que o carregamento residencial ocorreria em 70% das vezes. Para o carregamento urbano, foi considerado que ele ocorre apenas utilizando o nível MT. Em ambos os casos, foi agregado os custos dos níveis de tensão a montante até a Rede Básica.

## 5. MODELOS DE NEGÓCIO

A penetração bem-sucedida no mercado de veículos elétricos pode não depender apenas das características da tecnologia, mas também dos modelos de negócios disponíveis no mercado. Neste apartado avaliaremos as preferências dos consumidores com modelos de negócios no contexto da adoção de Veículos Elétricos (VE). Este capítulo baseia-se na revisão de literatura, todas as referências indicadas na bibliografia.

Usualmente as diferentes infraestruturas de carregamento de VE são categorizadas em:

- Carregamento residencial,
- Carregamento no local de trabalho,
- Carregamento nos locais comerciais (shopping centers, restaurantes...)
- Carregamento público (estacionamentos, na via pública...)

No entanto, os modelos de negócios para cada uma podem ser bastante diferentes. Um modelo de negócios de sucesso tem que satisfazer as necessidades econômicas dos participantes, ao mesmo tempo em que promove a adoção do VE.

### 5.1. Modelos de negócio vinculados ao Carregamento Residencial

#### Cobrança por consumo

De acordo com Bostford, o carregamento residencial e o carregamento no local de trabalho aparecem como os modelos de negócios com maiores probabilidades de serem bem-sucedidas. O carregamento em áreas públicas e comerciais talvez apresentem maiores desafios e tendem a justificar-se por outras motivações (Bostford, 2018). Isto decorre do tempo de abastecimento e da concentração de veículos em um mesmo período.

O motorista de VE normalmente possui e opera o carregador na sua casa. A tarifa de eletricidade residencial tende a ser a tarifa mais baixa disponível para o motorista (em comparação aos carregamentos no posto de trabalho, em estacionamentos públicos ou outros estabelecimentos comerciais). Assim, ele irá utilizar o máximo possível os carregadores em sua residência. Atualmente isto não é verdade para o caso brasileiro em função da tarifa monômnia que é a mais cara em R\$/kWh. No entanto, algumas mudanças recentes na estrutura tarifária da baixa tensão (BT) que incorporam o aumento no número de postos tarifários (tarifa branca) estão disponíveis. Esta estrutura multi-posto não emplacou devido à própria diferença entre postos, a divulgação junto ao consumidor e a necessidade de instalação de medidores eletrônicos.

De acordo com a maioria dos especialistas, 90% da recarga ocorre em casa. As habitações com várias unidades (apartamentos, condomínios) apresentam um caso especial de recarga residencial, assim como certos tipos de recarga de frota.

As tarifas deste modo de recarrega vem definido pelas tarifas de consumo (kWh) e potência máxima (kW) contratada pelos usuários particulares com as distribuidoras. O investimento mínimo que um usuário deve fazer é a compra de uma mangueira de carga compatível com o veículo adquirido, sendo que normalmente a mangueira vem incluída na compra do veículo. A mangueira pode conectar-se nas tomadas domésticas convencionais, mas as baixas intensidades (menos de 10 A) apenas permitem recarregas lentas de 2,3 kW. Geralmente, os usuários de veículos elétricos instalam um ponto de recarga especializado que permite aumentar a intensidade da corrente aumentando as velocidades de recarrega até 7,4 ou 22kW.





**Figura 36.** Carregadores domésticos. **Fonte:** Mobielectric, 2019.

### **Taxa fixa mensal**

Na Espanha, a distribuidora elétrica Endesa criou uma tarifa fixa para a instalação e uso de carregadores domésticos. O cliente paga uma quota fixa mensal que inclui a instalação inicial do equipamento de recarga domiciliar (instalação elétrica, carregador) e o cliente pode recarregar a custo “0” durante as horas de menor demanda elétrica na rede (1:00-7:00 da manhã), até um máximo de 125kWh/mês, o que permite uns 9.000-10.000 km anuais a custo incluído na tarifa fixa. O consumo acima de 125 kWh/mês será cobrado com o valor de referência da tarifa elétrica do usuário.

### **Pacote integrado de veículo e painéis solares no domicílio**

Algumas empresas de automóveis elétricos como Tesla, em EEUU, ademais do veículo elétrico também oferecem pacotes de sistemas de painéis solares domésticos. O serviço inclui todo o processo, desde os trâmites de licenciamento da instalação elétrica, até sua implementação (Tesla, 2020). Isso permite ao usuário reduzir o consumo de eletricidade da rede, e aumentar sua autossuficiência.

Considerando que um painel PV de 1m<sup>2</sup> pode produzir em uma área climática favorável em torno de 1,5 kWh / dia, em média, cada m<sup>2</sup> de instalação permite uma autonomia do automóvel de aproximadamente 10km. No caso das motos elétricas, um painel de 1m<sup>2</sup> pode ser suficiente para satisfazer a necessidade de mobilidade diária de um motociclista urbano.



**Figura 37.** Domicílio com sistema integrado de painéis solares, baterias e veículo elétrico Tesla. **Fonte:** Tesla (2020).

Atualmente, Tesla está considerando se tornar um “fornecedor de energia” na Europa, e de acordo com o estudo de mercado que está realizando, poderia estar estudando a comercialização de um pacote de energia solar (tarifa elétrica), Powerwall (bateria inteligente) e seu carregador de VE juntos para algum tipo de pacote de energia doméstica tudo em um. Conforme já apontado no item anterior, a geração distribuída “behind the meter” deve se popularizar junto com o carro elétrico que pode em alguns momentos servir de suporte à rede elétrica ganhando bônus de energia. As tecnologias de armazenamento como o do tipo Powerwall proporcionarão mais flexibilidade ao modelo de negócio associado a um EMS (“Energy Management System”)

### **Smart Grid e Energia Verde**

Por outro lado, em 2018 a Volkswagen criou Elli Group GmbH, para oferecer soluções de carregamento de veículos elétricos (VE) e opções de fornecimento de energia verde. A oferta de energia verde terá como alvo residências privadas com e sem VE.

Elli planeja oferecer serviços de carregamento bidirecional e a conexão a um sistema de gerenciamento de energia (EMS) para que as baterias dos automóveis possam armazenar energia de painéis solares de telhados. Graças ao carregamento bidirecional e à conectividade com os EMS, a estação de carregamento pode permitir que veículos elétricos se tornem parte de sistemas de armazenamento de energia e futuras redes inteligentes. Seria possível armazenar a eletricidade gerada pelo sistema fotovoltaico de um cliente em um carro e usá-la em uma futura casa ou fornecê-la à rede para obter renda.

## **5.2. Modelos de negócio vinculados ao carregamento no local de trabalho**

A recarga no local de trabalho poder ser um substituto para a recarga residencial. A tarifa de eletricidade pode ser tão baixa quanto as tarifas residenciais. O empregador normalmente possui e opera os carregadores e, normalmente, subsidia os custos (Botsford C., 2018). Dependendo do local de trabalho para viabilizar a geração fotovoltaica, o carregamento de VEs se torna atrativo pois a geração estará sincronizada com o carregamento do veículo diminuindo a necessidade de energia armazenável nas baterias locais.

### **E-frotas para empresas (ENSTO, 2019)**

Em grandes corporações, a adoção da frota elétrica está aumentando. A necessidade de cumprir as metas de sustentabilidade e a demanda dos empregados significa que os gestores de frotas estão se voltando para os veículos elétricos. No entanto, o maior motivador da adoção de VE de frota é o caso de economias atraentes para as empresas.

Os custos de reabastecimento mais baixos e preços de combustível elétrico mais previsíveis em relação ao petróleo ajudam os resultados financeiros das empresas. Os créditos fiscais também são populares entre os empregados. Atender frotas para empregados oferece oportunidades adicionais de geração de ingressos. Na Europa, os incentivos governamentais para frotas de VE estão disponíveis em todos os países. Existem isenções fiscais e pagamentos de bônus em alguns mercados.

As frotas elétricas também são atraentes devido aos baixos custos de manutenção. Novas tecnologias nos carros e pontos de carregamento também fornecem dados em tempo real muito mais acessíveis aos gerentes de frota. Maior conhecimento dos padrões de acionamento e custos de manutenção previsíveis dão suporte a operações e planejamento mais eficientes.

Particularmente no Reino Unido as frotas elétricas são uma opção atraente porque os VEs são isentos da taxa de zona de congestionamento de Londres e o governo do Reino Unido se comprometeu a destinar pelo

menos 200 milhões de libras esterlinas de 2015-2020 para cobrir o custo dos veículos de baixa emissão. Os VEs oferecem uma redução da poluição sonora que também é um fator chave para algumas frotas.

#### **Postos de carregamento nos estacionamentos de empresas: modelo de recuperação de custos (POD, 2019)**

Este modelo corresponde à implantação de carregadores elétricos nos estacionamentos para empregados em uma empresa. O empregador pode recuperar diferentes níveis do investimento, da energia subministrada ou da manutenção dos eletropostos.

Um modelo de negócio para a recuperação dos custos associados a recarga e a instalação é a aplicação de uma taxa cobrada aos empregados da empresa para uso dos pontos de recarga. Em geral, quanto mais competitivo o preço cobrado, mais empregados poderão ser motivados a usar as estações de carregamento. Este modelo tende a ser mais eficiente em áreas urbanas grandes, já que quando os deslocamentos dos empregados são pequenos, eles estarão menos dispostos a pagar para recarregar já sendo que não haverá medo de ficar sem energia na volta para seus domicílios. Aqueles empregados que percorrem maior quilometragem diária terão maior disposição para utilizar a infraestrutura.

A forma de cobrança para este tipo de serviço tem sido discutida e pode ser desde um mecanismo de cobrança direta por uso e no momento, uma subtração dos valores da recarga diretamente do salário mensal do empregado, ou através de outros mecanismos que podem ter benefícios fiscais, tais como os cupons de recarga. Porém, este modelo é ainda muito teórico, discutido na literatura, mas com poucos exemplos reais.

### **5.3. Modelos de negócio vinculados ao carregamento em locais comerciais**

#### **Parcerias com locais comerciais**

A evolução da tecnologia dos últimos anos possibilitou que os recursos de carregamento de VE estivessem agora ao alcance de pequenas empresas e locais individuais, com menores riscos e investimento associados. A recarga de veículos elétricos comerciais também pode ser um movimento mais estratégico de uma rede maior, como um grupo de hotéis ou cadeias de comida rápida.

Revendedores e operadores de rede de pontos de recarga geralmente oferecem um sistema de gerenciamento de ponto de recarga que lida com a autorização do usuário e o faturamento. O sucesso do sistema depende de um hardware com conectividade avançada e confiável. Para diferentes tipos de negócios, os benefícios incluem: trazer novos clientes de maior valor; aumentar o tempo na loja; vendas de referência; atingir metas de sustentabilidade; e melhorar a satisfação do cliente. Existe também o potencial de vantagem competitiva em se posicionar como uma empresa verde.

A recarga não precisa ser apenas para clientes. Cobrar por veículos particulares de empregados e outros veículos privados (não clientes), bem como pela própria frota da empresa, oferece potencial para aumentar ingressos e diminuir custos. Logo, ações assertivas e eficazes são necessárias para o alcance destes objetivos. Como 80% dos custos relacionados à recarga do VE são gerados pelo uso diário de seus carregadores. O hardware de menor custo normalmente leva a altos custos de serviço e manutenção, bem como o tempo de inatividade indesejável. Os melhores provedores eliminam esse risco com hardware de alta qualidade e planos de serviço vitalícios.



**Figura 38.** Vaga para VE instalada em 2019 no Shopping Estação (Curitiba). **Fonte:** BEM Paraná (2020)

### **Estações de recarga em shopping operados por terceiros (Botsford C., 2018)**

Em algumas circunstâncias, provedores de infraestrutura de recarga podem oferecer e instalar pontos de recarga gratuitamente para uma empresa em troca de poder operar o ponto

Embora os benefícios de um modelo de capitalização total sejam claros, é importante entender as restrições. Evitar o risco de despesas de capital de curto prazo pode incorrer em riscos de longo prazo. O provedor pode definir preços caros que afetam negativamente a percepção do cliente sobre a empresa. Os pontos de recarga oferecido pela distribuidora tem que ser adequados para a empresa. Por exemplo, a instalação de um único carregador rápido em um hotel consumiria muito da capacidade elétrica disponível, que pode ser melhor usada para alimentar vários carregadores de 7kW de custo mais baixo, permitindo que mais hóspedes carreguem simultaneamente durante a noite.

### **Modelo de líder de perda (Botsford C., 2018)**

Com este modelo, a recarga de VE é fornecida gratuitamente para aumentar a participação no mercado, atraindo e retendo clientes, com os custos compensados pelo aumento da receita obtida por meio de atividades comerciais existentes.

Para muitas empresas que dependem de clientes que chegam de carro, a receita obtida com os clientes que conduzem veículos elétricos usando seus negócios supera os custos de eletricidade. Portanto, pode ser sensato absorver esses custos em vez de cobrar uma taxa que pode impedir os motoristas de visitar o local

## **5.4. Modelos de negócio vinculados ao carregamento público. Formas de cobrança associadas**

### **Redes de eletropostos desenvolvidas pelas montadoras**

Na Europa, está em andamento o projeto IONITY, o projeto tem como objetivo a implantação de uma rede de estações de carregamento de alta potência (até 350 kWh) para veículos elétricos para facilitar viagens de longa distância em toda a Europa. É uma *joint venture* fundada pelo BMW Group, Daimler AG, Ford Motor

*Company* e Volkswagen Group, mas outros fabricantes automotivos são convidados a ajudar a expandir a rede. Está financiada pelo setor privado, mas recebeu financiamento de fundos públicos da EU, uns 40 milhões de euros (20% do custo de construção da rede). O plano tem planejado instalar 400 eletropostos dos quais 316 estão atualmente em serviço. As estações de carregamento oferecem sistemas de cobrança rápidos via celular inteligente. Basta digitalizar o código QR da estação, inserir seus dados e autorizar o pagamento. Os usuários podem acessar como convidados ou criar um usuário na *app* onde todos os dados de pagamento já estão incluídos.

A montadora de veículos elétricos Tesla construiu sua própria rede de supercarregadores, a rede está formada por estações de carregamento ultrarrápido de corrente contínua (DC) construído para facilitar viagens mais longas para e unicamente os modelos da montadora Tesla. Os primeiros eletropostos da rede foram implantados no ano 2012, agora existem mais de 2.000 com mais de 20.000 supercarregadores, com potências de entre 150kW e 250 kW, distribuídos entre América do Norte, Europa e Ásia. No início, os usuários da Tesla tinham um serviço de carregamentos ilimitados e gratuitos, mas posteriormente a quantidade de kWh por ano que eram gratuitos foi limitado. A partir do ano 2018, os usuários que adquirem um Tesla têm só um ano de serviço gratuito. Para as cobranças, Tesla apresenta um sistema completamente integrado dos eletropostos com o próprio veículo e smartphone do usuário. A partir do aplicativo, o usuário pode reservar e pagar pelo uso do eletroposto.

Atualmente, a rede de Tesla só pode ser usada por proprietários de um veículo da marca, mas o carregador dos modelos europeus da Tesla são tipo 2 e poderiam ser utilizadas por qualquer veículo elétrico com o mesmo tipo de carregador ou usando adaptadores.

#### **Alianças entre montadoras e distribuidoras**

A concessionária brasileira Engie Brazil Energia SA e a Audi firmaram uma parceria para instalar 200 estações de carregamento de veículos elétricos em todo o Brasil até 2022. Os carregadores terão 22kW de potência e serão à prova de intempéries, fogo e choque. O interesse da Audi em ampliar a infraestrutura pública para carregamento dos veículos elétricos é motivado pelo crescimento da oferta de veículos elétricos de Audi. No ano 2020 a montadora começou a comercializar novos modelos 100% elétricos (e-tron) e tem previsto aumentar os modelos para 2021.

A Volvo Car Brazil também está implementando 500 pontos de carregamento em todo o país, para complementar os pontos de carregamento públicos disponíveis no Brasil. A Volvo se uniu à maior cadeia de compras e supermercado do país, Iguatemi e Pão de Açúcar, para incluir pelo menos uma estação de carregamento de Volvo incorporada em sua estrutura de estacionamento até o final de 2020. Até agora, foram implementados 250 pontos de carregamento.

A primeira rota de veículos elétricos do Brasil que conecta os estados de São Paulo e Rio de Janeiro foi desenvolvida conjuntamente por EDP e BMW no ano 2018.. Espalhados por 430 km, existem 6 estações de carregamento rápida (25-30 min para carregar a 80% uma bateria de 22kWh) situadas a uma distância máxima entre as estações de 122 km.

#### **Redes regionais de carregamento rápido mediante parcerias com redes de varejo, hotelaria e cadeias comerciais (ENSTO, 2019)**

Para grandes empresas privadas e públicas, como redes de varejo, grupos de hotéis e serviços públicos, existem oportunidades de negócios em torno de lacunas de infraestrutura inter-regionais e intermunicipais. Normalmente, é necessário um trabalho considerável de parceria de longo prazo e recursos internos.

As empresas focadas no cliente com instalações existentes ou planejadas podem obter vantagem competitiva de oportunidades de marketing ao disponibilizar o carregamento de VE como parte da experiência do cliente. Os motoristas de VE são clientes atraentes, caracterizados por rendas mais altas que a média. Esse modelo é atraente para empresas que buscam aumentar os benefícios por cliente.

As redes de carregamento rápido DC de vários locais podem dar uma vida nova a instalações em decadência e fornecer um impulso de lançamento para novos negócios. Na Europa, de país para país e ao nível da UE, existem várias iniciativas de política pública, incentivos e oportunidades de financiamento de subvenções para apoiar o investimento. As regiões turísticas e zonas de desenvolvimento regional são locais particularmente atraentes.

### **Municípios e e-mobilidade sustentável (ENSTO, 2019)**

Na Europa, as administrações e outros órgãos locais estão sob pressão para demonstrar seu compromisso com a mobilidade elétrica e encorajar a transição para veículos elétricos para residentes e empresas. A demanda pública por carregamento de VE está aumentando. Programas governamentais de veículos com baixas emissões também estão levando à mudança para VEs. As administrações normalmente têm o compromisso reduzir a poluição e melhorar a qualidade do ar, além de haver vários incentivos locais e da UE para frotas públicas.

Muitas administrações locais têm seus próprios pools de veículos ou fornecem instalações para frotas terceirizadas e para táxis, locadoras privadas e mensageria. Os clubes de automóveis, em parceria com as autoridades locais, são uma solução comum para os conselhos apoiarem a adoção de VE, ao mesmo tempo que compartilham o risco e terceirizam a experiência de negócios do dia-a-dia. O turismo e os benefícios das comunicações do compromisso ambiental também são fatores importantes para alguns. No geral, mudar para veículos elétricos e fornecer carregamento de VE tem o potencial de cortar custos e ser uma fonte valiosa de receita.

### **Iniciativas locais em parcerias com atores públicos locais (ENSTO, 2019)**

Os destinos turísticos normalmente competem em acomodação, serviços, atividades e acessibilidade. Para vilas, cidades e atrações que dependem de acesso rodoviário para visitantes, a infraestrutura de veículos elétricos está se tornando vital e é uma oportunidade de negócio. Nos próximos anos, os destinos turísticos com a melhor infraestrutura de carregamento de VE serão os mais acessíveis para a nova geração de motoristas de VE.

Para criar infraestrutura local, a coordenação geralmente é necessária entre pequenos grupos de negócios, como câmaras de comércio locais ou organizações semelhantes. Também existe potencial para parcerias com órgãos locais de turismo, cultura, esportes e meio ambiente. Uma complicação potencial é que o projeto dos pontos de carregamento de VE pode ter que atender aos regulamentos de patrimônio local e aos estatutos de planejamento.

Esse modelo é muito importante para empresas e organizações que precisam maximizar a receita do pico de tráfego sazonal. Esta é uma excelente opção para cidades de médio porte que são destinos turísticos populares ou cidades de subúrbio. Locais com grande movimentação também podem se beneficiar de soluções de estação de carregamento de valor agregado com, por exemplo, telas de publicidade embutidas que trazem fontes adicionais de ingressos.

## 5.5. Discussão da rentabilidade do VE para um usuário particular no Brasil

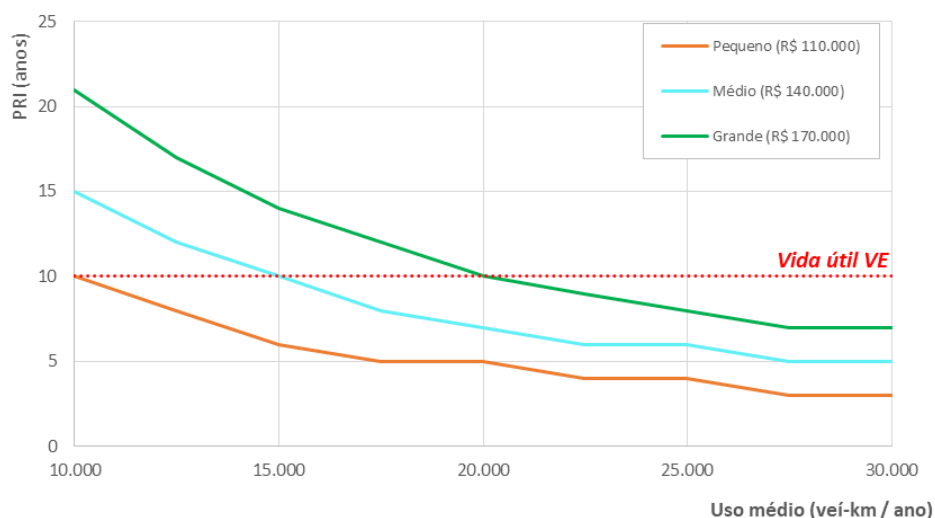
Para analisar a rentabilidade de adquirir e carregar o carro elétrico em um domicílio de um usuário particular, é necessário calcular quantos anos são necessários para recuperar o investimento para adquirir e operar um veículo elétrico (aquisição carro, instalação ponto de recarga domiciliar...), a partir do Período de Retorno do Investimento (PRI). Para veículos pequenos parece rentável o VE a partir de 10.000 km anuais, para veículos médios a partir de 15.000 km anuais e para veículos grandes a partir de 20.000 veí-km anuais. Os subsídios facilitam em grande parte a aquisição diminuindo o período de retorno do investimento.

Para o exercício consideramos as seguintes características:

- O usuário instala um dispositivo de recarga domiciliar convencional (entre 3,7kW – 7,2 kW)
- O período de amortização do dispositivo é de 10 anos
- Diferentes intensidades de uso do veículo, entre 10.000 e 30.000 km / ano (diferentes hipóteses)
- Diferentes tipos de veículo leve (pequeno, médio e grande)

Consideramos os seguintes custos de implantação e operação:

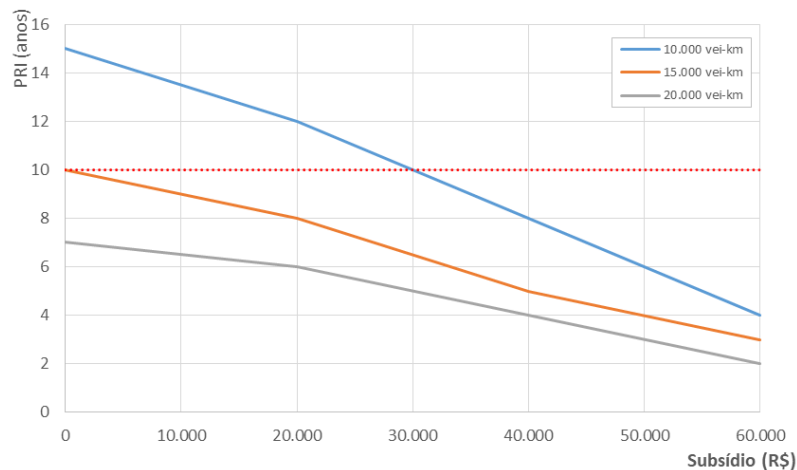
- Dispositivo domiciliar de recarga: R\$ 2.500
- Custo médio de aquisição: entre R\$ 110.000 e R\$ 170.000 dependendo do veículo
- Custo O&M: R\$ 3.600 / ano



**Figura 39.** Período de Retorno do Investimento (PRI) para diferentes tipos de veículos e diferentes intensidades de uso.  
**Fonte:** Elaboração própria.

Foi realizada uma análise de sensibilidade considerando reduções sobre o custo de aquisição do veículo elétrico de gama média (R\$ 140.000) de até R\$ 60.000, estas reduções representam possíveis subsídios para a compra de carros elétricos, que corresponde a uma redução de 40% do custo de aquisição.





**Figura 40.** Análise de sensibilidade sobre o custo de aquisição do veículo elétrico. **Fonte:** Elaboração própria.

Observou-se que os subsídios diminuem consideravelmente os anos para recuperar o investimento, acelerando o desenvolvimento da tecnologia (pe. na Noruega). Um veículo médio com um uso baixo de 10.000km/ano pode dar rentabilidade para o usuário a partir de um subsídio de R\$ 30.000. Por outro lado, os subsídios podem aplicar-se também sobre os custos da recarga, seja por meio de preços mais baixos do kWh, seja por meio de formulações de taxa fixa anual para todos os usuários.

## 5.6. Discussão da rentabilidade de um eletroposto comercial no Brasil

Analisamos a rentabilidade de um eletroposto comercial com um modelo de negócio de “cobrança por consumo”, a partir do cálculo da demanda necessária mínima para ter rentabilidade, em vários cenários de acordo a intensidade de uso e ao preço de venda da energia elétrica.

Consideramos também um cenário de curto prazo, com carregadores de 50kW, e um cenário de médio prazo (provavelmente a partir de 2025) com carregadores de 100kW, que teria um custo de investimento semelhante aos carregadores de 50kW a dia de hoje.

A avaliação é feita para um carregador público em eletrolinera rodoviária. Por isso, consideramos só um tempo de recarga média de 30 minutos. A quantidade total de energia fornecida pelo carregador resultará em este tempo de 30 minutos dependerá então da hipóteses de potência considerada (50kW e 25kWh por recarga na situação de partida atual, e 100kW e 50kWh por recarga a médio prazo).

Para a análise consideramos os seguintes parâmetros:

- Avaliação de um dispositivo de carga rápida para um veículo (atualmente 50kW, e 100kW a médio prazo)
- O eletroposto tem uma vida útil de 10 anos
- A carga média de cada usuário em um período de recarga de 30min, 25kWh /carga atualmente, 50kWh / carga a médio prazo.
- O preço de venda da energia foi considerado em diferentes cenários, entre R\$ 1,0 /kWh e R\$ 1,4 /kWh

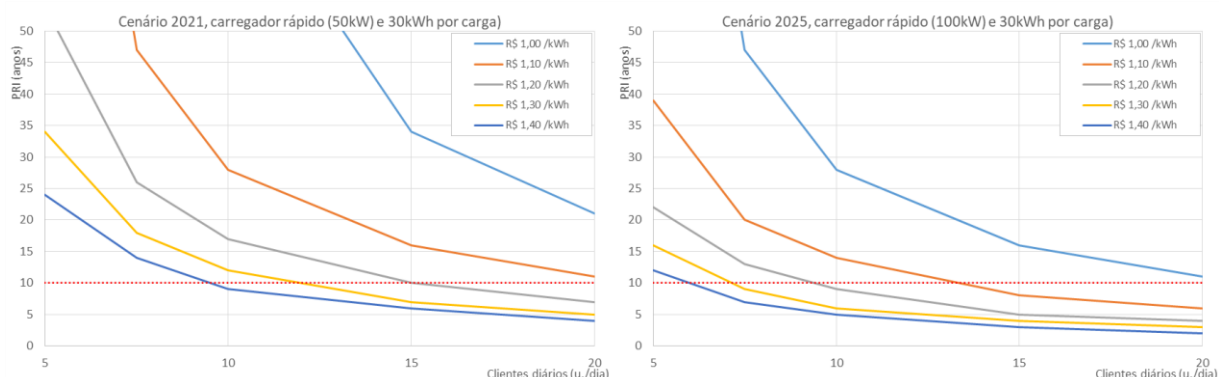


Consideramos os seguintes custos de implantação e operação:

- Ponto de carga rápida: R\$ 500.000 (para uma tomada de recarga. A implantação de número maior de tomadas induz economias de escala)
- Custo de Manutenção: R\$ 10.000 / ano
- Custo da energia fornecida (sem lucro): 0,85 R\$ / kWh

Para o cenário atual observa-se que o eletroposto apresenta valores de rentabilidade complexos. A rentabilidade obtêm-se só em cenários muito otimistas, com preços elevados da energia (R\$ 1,4 /kWh) e/ou com intensidades de uso muito elevadas (difícilmente alcançáveis) com mais de 15 ou 20 recargas diárias por tomada, o que equivale a um tempo de uso de 11 a 15 horas por dia considerado períodos de uso consecutivos de 30 min de recarga, e 15 min de gestões associadas (estacionamento, ligação, pagamento). Considerando um tempo de 15 min em vazio entre duas recargas consecutivas, estaríamos considerando uma utilização completa das instalações.

Para o cenário a médio prazo, considerando eletropostos de maior potência instaláveis a um custo de implantação e manutenção semelhante, o número de usuários requeridos para começar a ser rentáveis é mais reduzido, para os cenários com um preço de venda de energia razoável (R\$ 1,1 /kWh - R\$ 1,2 /kWh) precisa-se de intensidades de uso de entre 9 e 14 usuários por dia, dando um uso do carregador de entre 7 e 11 horas. Considerando um tempo de 15 min em vazio entre duas recargas consecutivas, estaríamos considerando de utilização de entre o 60% e 90% da franja horária 6h00 a 21h00.



**Figura 41.** Período de Retorno do Investimento (PRI) para diferentes demandas de clientes e preços de venda da energia, para o cenário atual (esquerda) e um cenário futuro (direita). **Fonte:** Elaboração própria.

## 5.7. Discussão do interesse econômico teórico das distribuidoras

Como referência para avaliar ordens de magnitude dos investimentos necessários, analisamos a rentabilidade teórica do incremento do consumo elétrico veicular por parte das distribuidoras se elas foram as principais provedoras deste incremento de energia e as responsáveis dos investimentos no reforço da rede, em infraestrutura de recarga e manutenção da infraestrutura.

Para a análise foram considerados os seguintes custos e benefícios, a partir dos modelos teóricos já apresentados:

- Custo de R\$ 1.150 milhões até 2040 em reforço da rede, de acordo às estimações do apartado “4. Necessidades de investimento na infraestrutura elétrica”
- Custo de R\$ 52,9 milhões até 2040, foi considerado uma necessidade de 30 eletropostos até 2040 de acordo ao apartado “8. Proposta de corredor para mobilidade elétrica”
- Custos unitário de 100.000 R\$/ano-eletroposto em manutenção.
- Incremento de consumo elétrico veicular de 6.500 GkWh no 2040 de acordo com o cenário de Alta Adoção, de acordo às estimações do apartado “3. Previsão de demanda elétrica veicular na Região Sul”.
- Hipóteses, preço da energia R\$ 1 /kWh (sem impostos) no 2040.
- Hipóteses, lucro do 15% dos sobre o valor do kWh.

Considerando, os custos apresentados e as hipóteses de incremento de receita, é possível intuir que os investimentos necessários para desenvolver o veículo elétrico podem ser recuperados através dos incrementos das receitas dos operadores elétricos.

## 5.8. Sínteses de sistemas de cobrança existentes

O mercado do veículo elétrico ainda está em fase de desenvolvimento e o ecossistema dele é muito heterogêneo. Os sistemas de cobrança pelo uso da infraestrutura de carregamento elétrico seguem um padrão bastante heterogêneo, até mesmo se tornando gratuito quando se trata de projetos em fases de desenvolvimento do modelo de negócio e sistema de cobrança. É um fenômeno semelhante ao dos novos modelos elétricos que surgem no mercado, com vários tipos de conexões de carregamento (Schuko, Tipo 2, CHAdeMO, Combo / CSS, Tesla...) e com uma infraestrutura de carregamento comercial que varia consideravelmente (velocidade de recarrega, tipo de conexão).

### Recarga tarifada e diversidade de operadores nos EUA

Nos EUA há um dos sistemas mais desenvolvidos no mundo, com uma grande variedade de operadores para cada estado (*EVgo, ChargePoint, Blink, Electrify America...*) que oferecem diferentes sistemas de pagamento. A maioria deles oferecem serviço de pagamento através dos respectivos aplicativos móveis da estação de carregamento, com tarifas por uso ou fixas que permitem benefícios adicionais por uso continuado. A Tesla é o operador com a maior rede de pontos de carga no EUA e no mundo, sua rede só permite que os veículos da Tesla paguem através de aplicativo móvel, mas permite pagar via cartão no mesmo eletroposto.

### Recarga tarifada e desenvolvimento de malha Pan-Europeia impulsionado pôr montadoras

A IONITY distribui estações de carregamento para vários provedores de serviços de mobilidade (PSM), o que permite que eles integrem seus próprios benefícios. Isso pode ser feito por meio de um chip compatível com RFID (chip tem que ser adquirido de um fornecedor especializado) ou por aplicativos de smartphone de propriedade do PSM. Os usuários também podem acessar o site de IONITY para emitir os pagamentos. ou ler um código QR anexado a cada estação de carregamento que irá enviá-lo imediatamente para o navegador. É possível pagar como hóspede e inserir as informações do seu cartão de crédito a cada vez ou se cadastrar para tornar o processo de pagamento ainda mais rápido.

### **Rede centralizada de pagamento sobre App Smartphone na Noruega**

Na Noruega, a empresa de energia BKK possui a principal rede rodoviária de carregamento rápido do país. Em termos de pagamento, criou o aplicativo BILKRAFT onde você pode carregar facilmente seu carro graças ao cartão de crédito do cliente registrado no aplicativo. Outra solução é comprar um chip compatível com RFID, com o qual a maioria das estações de carregamento são compatíveis. A BKK não os fornece, mas podem ser facilmente adquiridos de um fornecedor especializado, o chip tem que ser registrados em sua conta Bilkraft. Eles também podem ser registrados em outras estações de carregamento de outros operadores, atuando como o único elemento que um proprietário de VE precisaria para carregar o veículo (BKK 2021).

### **Integração de malhas regionais e diferentes operadores em plataforma Eletromaps**

A App Eletromaps permite localizar diversos pontos de carregamento com várias informações (endereço, fotos, tipo de plugue e requisitos de acesso). As informações são atualizadas em tempo real pelos usuários do aplicativo e pelos mesmos operadores dos pontos de recarga. Muitos pontos estão diretamente ligados ao Electromaps, para que possa ativar e pagar diretamente a partir da app onde o usuário tem uma conta pessoal associada. O usuário deve ter um meio de pagamento associado à conta ou também pode recarregar fundos a demanda.

### **Diversidade de cartões de mobilidade elétrica e recarga gratuita na América Latina**

No Brasil, existem vários projetos de eletrovias, como é o caso do trecho São Paulo-Rio de Janeiro, onde há um projeto de eletroposto de carga rápida desenvolvida pela BMW & EDP, e outro com eletroposto de carga ultrarrápida desenvolvido por EDP, Audi, Porsche e Volkswagen. Para recarregar os veículos elétricos na rede de eletropostos, os usuários precisarão efetuar um cadastro no site da EDP Smart e solicitar um cartão de mobilidade elétrica. Esse cartão irá desbloquear e liberar os conectores das estações de carregamento. Além disso, um aplicativo será disponibilizado para os usuários, para uma checagem de vagas disponíveis e funcionamento do ponto. O app também poderá ser utilizado para desbloquear os pontos de carregamento, mesma função do cartão. O projeto está em fase de desenvolvimento do modo de cobrança e o serviço é gratuito (EDP, 2020).

A eletrovia desenvolvida no trecho Paranaguá-Foz de Iguaçu pela COPEL, e a rede desenvolvida pelo Celesc no litoral de Santa Catarina também estão em fase de desenvolvimento de modo de cobrança e os usuários podem carregar os veículos gratuitamente (COPEL, 2021) (Celesc, 2021).

No Paraguai, existe o projeto “Ruta Verde” desenvolvido pelo Parque Tecnológico Itaipu (PTI), que é formado por 4 eletropostos de carga rápida entre Asunción e Itaipu. O projeto ainda está em fase de desenvolvimento e as recargas são gratuitas (ABC, 2020).

No Uruguai, existem diversas estações de carregamento elétricos situados na rodovia litoral, operadas principalmente pela “Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas (UTE)” para as quais desenvolveram um aplicativo móvel para localizar esses pontos de carregamento e serviços de pagamento (Smart Energy, 2020).

Na Argentina a evolução dos eletropostos está mais incipiente. A Argentina faz parte de um projeto de rodovia e-Pan-Americana, desenvolvida pela Enel X, entre México e Ushuaia. O corredor é formado por 220 pontos de carga rápido ou lento alocados ao longo de toda América Latina com um par de eletropostos na Argentina. A localização e o pagamento de todos os eletropostos da e-Pan-Americana são baseados em um

aplicativo móvel (Juicy Pass), onde depois de criar um usuário permite gerenciar o funcionamento do posto e pagar (Enel X, 2020).

A tabela a seguir mostra os diferentes sistemas de cobrança consultados:

| Projeto da estação de carregamento                                | Localização | Operador                        | Sistema de cobrança  |
|---|-------------|---------------------------------|--|
| Eletrovia Paranense   | PR          | Copel                           | Gratuito (em desenvolvimento)  |
| Eletroposto Celesc  | SC          | Celesc                          | Gratuito (em desenvolvimento)  |
| São Paulo – Rio de Janeiro  | SP          | BMW e EDP                       | Gratuito (em desenvolvimento)  |
| São Paulo – Rio de Janeiro (carregadores ultrarrápidos)           | SP          | EDP, Audi, Porsche e Volkswagen | Gratuito (em desenvolvimento)  |
| Parque Tecnológico Itaipú (PTI)                                   | Paraguay    | PTI                             | Gratuito (em desenvolvimento)  |
| Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas (UTE) | Uruguai     | UTE                             | Aplicativo móvel, cartão específica ou cartão de crédito             |
| Nova rodovia e-Pan-Americana                                      | América     | Enel X                          | Aplicativo móvel, cartão de crédito contactless                      |
| EVgo  | EUA         | EVgo                            | Aplicativo móvel, cartão específica ou cartão de crédito             |
| ChargePoint   | EUA         | CharePoint                      | Aplicativo móvel, cartão específica ou cartão de crédito contactless |
| BlinkCharging   | EUA         | Piscar                          | Aplicativo móvel, cartão de crédito                                  |
| ElectrifyAmerica  | EUA         | ElectrifyAmerica                | Aplicativo móvel, assinatura mensal ou cartão de crédito             |
| Tesla Supercharger  | Mundial     | Tesla                           | Aplicativo móvel, cartão de crédito contactless                      |
| IONITY  | Europa      | IONITY                          | Aplicativo móvel, cartão de crédito contactless ou RFID-chip         |
| BKK   | Noruega     | BKK                             | Aplicativo móvel, cartão de crédito contactless ou RFID-chip         |

**Tabela 11.** Sistemas de cobrança na Região Sul, países vizinhos e outras regiões no mundo. **Fonte:** Elaboração própria a partir de diversas fontes.

Atualmente, o investimento em veículos elétricos supera o dedicado às estações de carregamento, e isso induziu uma enorme variedade de sistemas de cobrança provenientes de diferentes interessados do setor. Assim, cada parte interessada cuidou de seu próprio sistema sem ter uma visão global da situação, por isso a heterogeneidade dos sistemas atuais. Um sistema padrão entre regiões e países beneficiaria o conforto dos usuários de carros elétricos em viagens de longa distância, a fim de acomodar e facilitar a transição e atratividade para o mercado global de veículos elétricos.

O sistema de cobrança está altamente relacionado com os aplicativos para smartphone e a tecnologia contactless dos cartões de crédito. Existe uma grande diversidade de aplicativos de cobrança e estabelecer um único aplicativo para todos os eletropostos apresenta diversas dificuldades, especialmente se são operados por diversos agentes privados onde existem grandes interesses econômicos.

Entre os diferentes sistemas de cobrança e tecnologias expostos acima, os cartões contactless são o elemento comum. Estabelecem uma ferramenta de pagamento comum, pois os usuários podem contar com sua segurança e facilidade para usá-lo.

No entanto, existem outras opções que em um futuro poderiam ser uma solução de sistema de cobrança padrão viável:

- **Baseado em aplicativos e sites:** Os telefones celulares permanecerão como base de comunicações e relações. A tecnologia ampliou nosso horizonte e permitiu que cada um de nós se conectasse com tudo em um instante. Assim, com uma interface familiar, pode dar flexibilidade e segurança aos usuários, o que passa a ser a base perfeita para pagamentos. As sessões de carregamento começariam com a digitalização de um código QR e um serviço de geolocalização para identificar cada usuário. Isso também pode ser usado para rastrear as posições dos usuários e dar-lhe instruções sobre a disponibilidade de localização. Existem problema de privacidade e de percepção de controle que os consumidores podem ter respeito a esta opção.
- **Carro Conectado:** baseado em carros inteligentes, o carro é o identificador e o meio de cobrança, não precisaríamos de aplicativos no celular nem de cartão de crédito. Mas, se não houver carro inteligentes, a cobrança pode ser feita automaticamente relacionando o número da placa e a conta bancária do usuário (Acceo, 2021).

## 6. ANÁLISE DO INTERESSE DOS DIFERENTES AGENTES PARA COM O DESENVOLVIMENTO DA ELETROMOBILIDADE

Para avaliar os impactos da penetração do veículo elétrico nos estados da Região Sul, foi realizada a análise do interesse dos diferentes agentes. A matriz mostra os diferentes as implicações que tem os diferentes impactos nos principais agentes.

|   | Usuário de um veículo elétrico  | Operador de ônibus elétricos  | Montadoras de Veículos Elétricos  | Postos de abastecimento rodoviário   | Setor elétrico   | Administrações públicas  | Residentes urbanos  |
|---|---|---|---|--|--|--|---|
| <b>Variação dos custos</b>                      | <p>↑↑ Veículos mais caros</p> <p>↑ Investimento em infraestrutura domiciliar.</p> <p>↓↓ Custos O&amp;M menores. Economias para os usuários por a maturação dos modelos de negócio</p>                               | <p>↑↑ Investimentos em infraestrutura de recarga.</p> <p>↑ Veículos mais caros</p> <p>↓↓ Manutenção e energia mais barata.</p>                            | <p>↑↑ Investimentos necessários para desenvolvimento de nova tecnologia</p>   | <p>↑↑ Investimentos em infraestrutura de recarga</p> <p><b>\$R 53 milhões até 2040</b></p>   | <p>↑↑ Aumento de reforços da rede de distribuição (especialmente na baixa e média tensão)</p> <p><b>\$R 1.150 milhões até 2040</b></p>                           | <p>↓ Redução de custos em ações para melhorar a resiliência às mudanças climáticas</p> <p>↑↑ Aumento das partida de incentivos e Isenções fiscais</p>                                |   |
| <b>Variação das receitas</b>                    | <p>↑↑ Isenções fiscais (subsídios o compra)</p>   | <p>↑ Incremento das contribuições públicas (taxas verdes, vias de financiamento)</p> <p>↑ Contratação de linhas de crédito "eco" com Isenções fiscais</p> | <p>↑ Maior valor económico dos veículos vendidos (R\$ por unidade).</p> <p>↑↑ Mais vendas por renovação de frotas</p> | <p>↑ Maiores receitas das recargas ou do funcionamento de eletropostos</p> <p>↑↑ Negócios complementares (comercial, restauração...)</p> | <p>↑↑ Aumento da receita devido ao aumento do volume de energia consumida (até 5% de incremento em 2040)</p> <p><b>\$R 3.900 milhões até 2040 (TIR= 24%)</b></p> | <p>↑↑ Aumento cobranças fiscais por o aumento de benefícios das distribuidoras e comercializadoras</p>   |   |
| <b>Mudanças de comportamento e mentalidade</b>  | <p>↓ Diminui a necessidade de recarga pública (geralmente carga no domicílio)</p> <p>↓ Diminui a percepção do custo de operação do veículo (pago mensal).</p> <p>↑ Potencialmente, maior uso do veículo privado</p> |   |   | <p>↑↑ Incremento do tempo de permanência dos usuários no posto de recarga</p>  |  |  |   |
| <b>Variação da qualidade urbana e ambiental</b> | <p>↑↑ Melhora da qualidade do ar e do ruído, diminuição das afetações respiratórias e na saúde das pessoas.</p>   |   |   |  |  | <p>↑↑ Melhora da qualidade do ar e do ruído, diminuição das afetações respiratórias e na saúde das pessoas. Mitigação do aquecimento global.</p> <p><b>- 2,7 milhões Ton CO2</b></p> | <p>↑↑ Melhora da qualidade do ar e do ruído, diminuição das afetações respiratórias e na saúde das pessoas.</p> <p><b>- 2,7 milhões Ton CO2</b></p> |
| <b>Outros intangíveis</b>                       | <p>↑ Mobilidade alinhada a um estilo de vida "verde"</p>  | <p>↑↑ Melhora da percepção e conforto dos usuários</p>  | <p>↑ Melhora da imagem de marca</p> <p>↑↑ Posicionamento competitivo respeito competidores</p>                        |  |  | <p>↑↑ Melhora da imagem e marca das cidades</p>  |   |

**Tabela 12.** Matriz Agente-Impacto da penetração do veículo elétrico nos estados da Região Sul. **Fonte:** Elaboração própria.

O usuário de um veículo elétrico irá encarar um custo de aquisição do veículo maior. Atualmente o custo médio de aquisição de um VE é 3 vezes maior que um veículo flex. Ademais, existe um investimento extra na infraestrutura de carga veicular domiciliar. Por outro lado, os custos de operação e manutenção são significativamente menores devido aos preços mais baratos da energia em relação aos combustíveis fósseis e ao etanol. No curto prazo, antes da maturação do mercado, espera-se incentivos e isenções fiscais por parte da administração para incentivar o mercado. O usuário terá uma mudança de comportamento e mentalidade sobre o modo de abastecer os seus veículos. A necessidade de abastecer o veículo na via pública irá diminuir, já que geralmente ele carregará o veículo no domicílio, a percepção do custo de operação do veículo vai diminuir devido ao modo de cobrança mensal da energia elétrica no domicílio. A percepção dos impactos negativos do uso do veículo privado vai diminuir (emissões de GEH, poluentes e ruído), este pode dar lugar a um incremento do uso do veículo privado.

Os operadores de ônibus elétricos, tal como os usuários de VE, enfrentarão custos de aquisição de ônibus mais caros e um investimento na infraestrutura de recarga elétrica. Porém, também espera-se a ajuda da administração com um incremento das contribuições públicas (taxas verdes) e a possibilidade de ter acessos a linhas de crédito “eco” (com isenções fiscais).

As montadoras de veículos elétricos terão custos em investimentos para o desenvolvimento de nova tecnologia. Ademais, estão envolvidas em numerosos projetos de implantação de infraestrutura de recarga elétrica pública. Espera-se que o incremento das vendas de veículos por renovação de frotas e um aumento de benefícios do VE em relação a outras tecnologias, resultem em um incremento do benefício das montadoras. Antes de adotar a nova tecnologia, as montadoras terão uma posição mais competitiva em relação à concorrência.

Os postos de abastecimento rodoviários necessitarão de um investimento em infraestrutura de recarga. A proposta de implantação de 30 eletropostos até 2040, resulta em um custo total de R\$ 53 milhões. Atualmente, estes investimentos são financiados por parcerias entre a administração, montadoras e o setor elétrico.

O setor elétrico terá que reforçar a rede de distribuição, especialmente na baixa e média tensão. Considerando a potência da proposta de eletropostos e o consumo elétrico veicular estimado, resulta em um custo de R\$ 1.150 milhões até 2040 e que este incremento de energia veicular é fornecido principalmente pelas distribuidoras, pode-se afirmar que a receita delas aumentará consideravelmente. Estima-se que as distribuidoras tem um potencial de incrementar o lucro em R\$ 3.900 milhões no período 2022-2040, considerando o incremento de consumo elétrico veicular (6.500 GkWh no 2040), o incremento do preço da energia (R\$ 1 /kWh sem impostos no 2040) e uma margem de lucro do 15% das receitas.

A administração pública prevê um aumento de incentivos e isenções fiscais no setor do veículo elétrico. Por outro lado, espera-se uma redução em ações de combate às mudanças climáticas. Como aumento de benefícios para as distribuidoras e montadoras, espera-se um aumento das arrecadações para que o veículo elétrico não necessite de isenções fiscais para potencializar o setor. É prevista também uma melhora da qualidade do ar e nos níveis de ruído, reduzindo o número de pessoas com doenças respiratórias. Ambientalmente, a redução das emissões de GEE resultará em uma mitigação do aquecimento global. Se compararmos a emissão da frota de veículos utilizando uma mistura 50% de gasolina e 50% etanol (105 grCO<sub>2</sub>/kWh) e as emissões com a adoção de veículos elétricos no cenário brasileiro (136 gr CO<sub>2</sub>/kWh), isso resultará em uma redução de 2,7 milhões Ton das emissões de CO<sub>2</sub> no ano 2040.

## 7. PROJETO DE ESTAÇÕES DE CARREGAMENTO PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS

### 7.1. Marcos regulatórios e normativos

As entidades responsáveis pela regulamentação do uso de veículos elétricos no Brasil são a ABNT, SINMETRO e ANEEL. Muitas das normas vigentes da ABNT são oriundas de normas internacionais.

**ABNT/CE-003:069.001** – Veículos Elétricos Rodoviários e Industriais

(IEC/TC 69 - Electric road vehicles and electric industrial trucks, 14 Normas publicadas e 29 em estudo)

(IEC/TC 21 - Secondary cells and batteries - 4 Standards Baterias)

(IEC/TC 23 - Electrical accessories - 3 Standards Plugues)

**ABNT/CE-003:069.001** – Normas publicadas pela comissão

- ABNT NBR IEC 61434 Células e baterias secundárias contendo eletrólitos alcalino ou outro não-ácido - Guia para designação da corrente em normas de células e baterias secundárias alcalinas
- ABNT NBR IEC 62660-1 Células de lítio-íon secundárias para propulsão de VEs - Parte 1: Ensaio de desempenho
- ABNT NBR IEC 62660-2 Células de lítio-íon secundárias para propulsão de VEs - Parte 2: Ensaio de confiabilidade e abuso
- ABNT NBR IEC61851-1 Sistema de recarga condutiva para VEs - Parte 1: Requisitos gerais
- ABNT NBR IEC61851-21 Sistema de recarga condutiva para VEs - Parte 21: Requisitos de VEs para a conexão condutiva a uma alimentação em c.a. e c.c.
- ABNT NBR IEC61851-22 Sistema de recarga condutiva para VEs - Parte 22: Estação de recarga em c.a. para VEs
- ABNT NBR IEC 62196-1 Plugues e Tomadas Fixas e Móveis para VEs - Recarga Condutiva para VEs - Parte 1: Requisitos gerais
- ABNT NBR IEC 62196-2 Plugues e Tomadas Fixas e Móveis para VEs - Recarga Condutiva para VEs - Parte 2: Requisitos dimensionais de compatibilidade e de intercambiabilidade para os acessórios em c.a com pinos e contatos tubulares
- ABNT IEC/TR 60783 Fiação e conectores dos veículos elétricos rodoviários

Normas publicadas pela CE05:110.021 - Comissão de Estudos Veículos Propelidos a Eletricidade

- ABNT ISO TR 8713 Veículos rodoviários propelidos a eletricidade – Vocabulário
- ABNT NBR 16567 Veículos rodoviários híbridos elétricos leves - Medição de emissão de escapamento e consumo de combustível e energia - Métodos de ensaio (SAE J1711:2010)
- **ABNT/CB-005** - Comitê Brasileiro Automotivo (AEA / ANFAVEA) ABNT/CE-005:110.021 - Veículos Propelidos a Eletricidade
- (ISO/TC 22/SC 37 - Electrically propelled vehicles, 22 Normas publicadas e 13 em estudo – coordenado pela DIN Deutsches Institut für Normung e.V. - Mr Dipl.-Ing Egbert Fritzsche)



- O carregamento residencial e comercial nos centros urbanos é considerado como uma carga tradicional que sofre a regulação da REN ANEEL 414/10 que trata das condições gerais de fornecimento de energia elétrica. Uma norma específica para eletropostos (REN 819/18) foi produzida após consultas e audiências públicas em 2017 que basicamente considera este novo tipo de carga no PRODIST e no PRORET mas sem variações quanto às demais cargas. É vedado o uso da compensação de energia (REN 482/12) para eletropostos e se a distribuidora for a detentora do Eletroposto, esta carga é representada como consumo próprio.

A norma relacionada com as instalações elétricas de VE é variada, tanto no âmbito nacional quanto no internacional. Dentro do quadro legislativo que rege o ecossistema de VE e seus postos de recarga podemos ressaltar as seguintes normas:

- REBT (Regulamento de Baixa Tensão) e fundamentalmente o seu Guia ITC-BT-52.
- RD 244/2019, 5 de abril, pelo qual são reguladas as condições administrativas, técnicas e econômicas do auto consumo de energia elétrica.
- UNE-EN 62196: bases, plugues, conectores de veículos e entradas de veículo. Carregamento condutivo de veículos elétricos.
- UNE-EN 61851: sistema condutivo de carregamento para veículos elétricos.
- UNE-HD 60364-7-722: instalações elétricas de baixa tensão. Requisitos para instalações ou localizações especiais. Fornecimento do veículo elétrico.
- UNE-EN 62752: dispositivo de controle e proteção integrados no cabo para o modo de carregamento 2 do veículo elétrico de rodovia (IC-CPD)
- UNE 0048: infraestrutura para a recarga de veículos elétricos. Sistema de proteção da linha geral de alimentação (SPL)
- Regulamento (UE) 540/2014 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de abril de 2014, sobre o nível sonoro dos veículos a motor e dos sistemas silenciadores de reposição, e pelo qual é modificada a Diretiva 2007/46/CE e anulada a Diretiva 70/157/CEE.
- RDL 15/2018, de 5 de outubro, de medidas urgentes para a transição energética e a proteção dos consumidores.
- Recomendação UE 2019/1019 da Comissão, de 7 de junho de 2019, relativa à modernização de edifícios.

Uma análise resumida das principais prescrições aplicáveis às instalações elétricas para VE seria a seguinte:

- **Guia ITC-BT-52. Campo de aplicação:** será aplicado às instalações elétricas incluídas no âmbito de REBT necessárias para a recarga de veículos elétricos em locais públicos ou privados.
- **RDL 15/2018** (Real Decreto Lei 15/2018, de 5 de outubro, de medidas urgentes para a transição energética e a proteção dos consumidores). Este Real Decreto Lei modifica alguns pontos de certos capítulos da Lei 24/2013 dos quais se poderiam ressaltar os seguintes, em relação aos serviços de recarga energética.

- **UNE-HD 60.364-7-722:2016.** Entre outros pontos desta norma, o que se indica é: O aumento dos requisitos para a proteção diferencial dos pontos de conexão AC em modo 3 para cobrir de forma mais adequada as correntes de fuga que podem ocorrer nos VE.
- **Norma IEC 61851 Ed 3.0:2017.** Esta norma indica os dois sistemas de proteção diferencial possíveis:
  - Diferencial tipo B (AC+DC)
  - Diferencial tipo A + sistema de proteção contra correntes residuais DC superiores a 6mA que cumprem com a norma IEC 62955 (dispositivo de detecção de corrente residual RDC-DD a ser usado para a carga EV no modo 3)
- **Ciclo de homologação WLTP:** O WLTP (Globally Harmonized Light Vehicle Test Procedure) é um protocolo para determinar as emissões aprovadas e o consumo de automóveis na União Europeia, mas também é usado em outros países ao redor do mundo.
- **Norma Internacional: IEC (Comisión Eletrotécnica Internacional)** mostra um esboço das principais normas internacionais de aplicação para cobrança de VE.

**Recomendações UE 2019/1019.** As seções mais significativas são:

- **DISPOSIÇÕES PARA A ELETROMOBILIDADE:**
  - Objetivos: apoiar a implementação de infraestruturas de recarga para veículos elétricos.
  - Escopo das disposições relativas à eletromobilidade.
  - Compreender as disposições relativas à eletromobilidade.
  - Diretrizes para a transposição das disposições relativas à eletromobilidade.
- **Outras normas e recomendações:**
  - RD 244/2019, que regula as condições administrativas, técnicas e econômicas para o autoconsumo de energia elétrica.
  - UNE-EN 61851: sistema de carga condutiva para veículos elétricos.
  - UNE-HD 60364-7-722: instalações elétricas de baixa tensão. Requisitos para instalações ou locais especiais. Fornecimento do EV.
  - UNE-EN 62752: Dispositivo de controle e proteção integrado no cabo para o modo de carga 2 (IC-CPD) da EV rodoviária.
  - UNE 0048: Infraestrutura para cobrança de EV. Sistema geral de proteção da linha de força (SPL).

Implementação de autoconsumo e recarga de veículos na rede de distribuição de baixa tensão da UFD Naturgy.

## 7.2. Avaliação das tecnologias disponíveis do veículo elétrico

Dependendo do grau de envolvimento do motor elétrico e do sistema de carga, existem atualmente três categorias de veículos elétricos no mercado: veículos elétricos a bateria (BEV's), híbridos plug-in (PHEV's) e

aqueles comumente conhecidos como híbridos não plug-in (HEV's). Cada um oferece aos consumidores vantagens e desvantagens diferentes, mas todos oferecem economia no consumo de combustível e, sobretudo, nas emissões de dióxido de carbono associadas, tornando-os cada vez mais atraentes para revendedores, frotas corporativas e, é claro, para consumidores individuais.

### **Veículo elétrico de Bateria (BEV)**

Os veículos elétricos de bateria (BEV) são veículos alimentados unicamente por eletricidade armazenada em baterias a bordo (sem o apoio de um motor de combustão interna tradicional) que podem ser carregados na rede nacional ou, num número limitado de modelos, mediante a troca de baterias. De acordo com sua capacidade de bateria, categoria e potência, os VE poderiam ser classificados do seguinte modo:

### **Veículo Híbrido Elétrico**

São aqueles veículos que só usam como fonte energética o combustível e não permitem que a bateria seja carregada através de uma fonte exterior de eletricidade. Ao contrário do VE puro, sua bateria não tem como propósito armazenar energia, já que está intervindo a todo momento em ciclos de carga e descarga. A redução de consumo de gasolina está entre 25% e 40%.

A bateria pode ser recarregada através do motor de gasolina ou da frenagem regenerativa. A frenagem regenerativa transfere a energia cinética do veículo ao desacelerar como carga elétrica para carregar as baterias quando o motorista pisa o freio ou reduz a velocidade. O mesmo princípio poderia ser utilizado se o veículo estivesse descendo uma ladeira.

### **Veículo Híbrido Elétrico Plugável**

São os veículos elétricos que combinam um motor de combustão interna (ICE) com uma bateria e um motor elétrico. O ICE e/ou o motor elétrico propulsam o veículo numa configuração série ou paralelo.

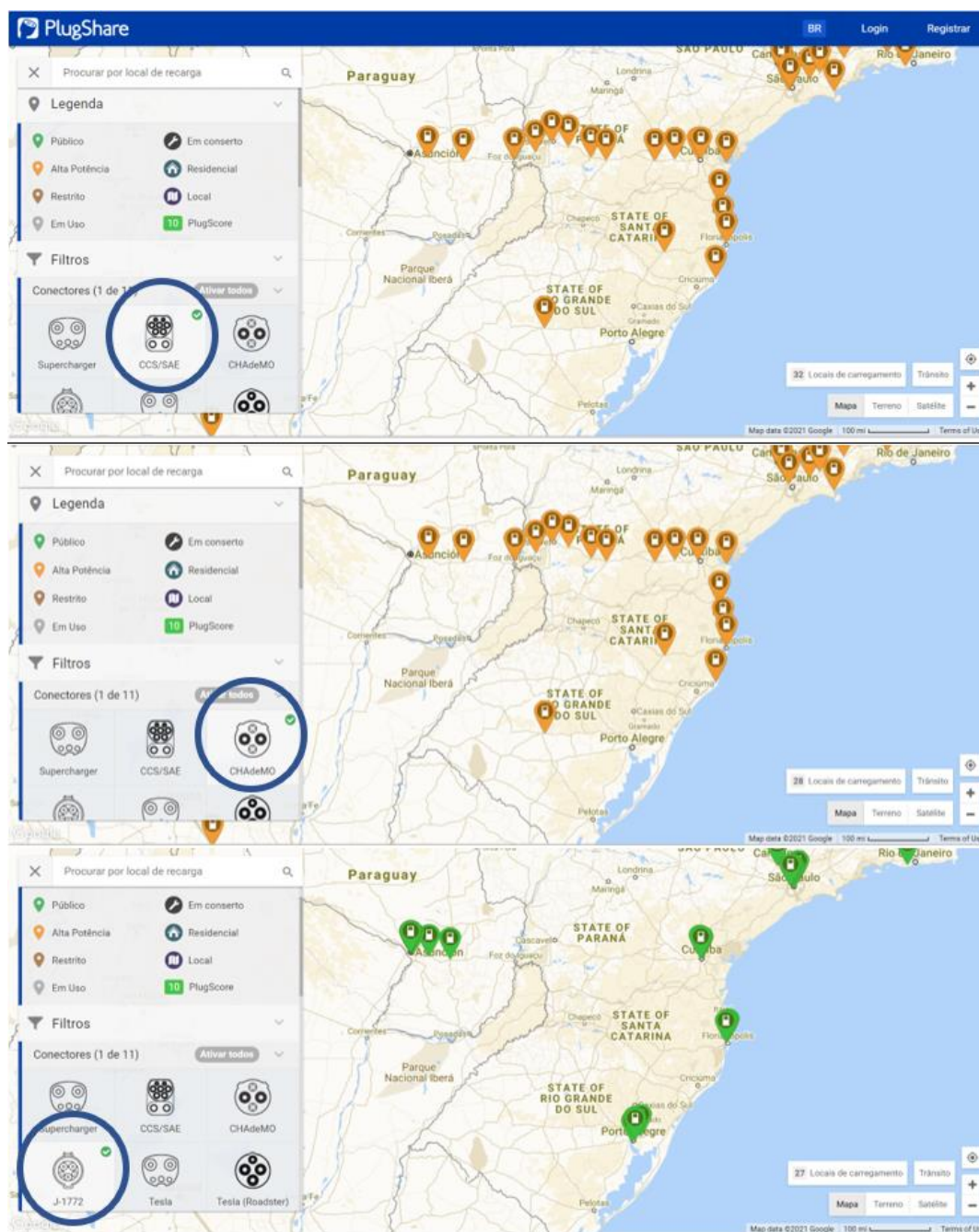
É uma arquitetura de veículo na qual duas fontes exteriores de energia podem cobrir sua demanda. As fontes podem ser tanto combustíveis refinados, que permitem mover o motor térmico, quanto a eletricidade fornecida pela rede que permite carregar a bateria.

As baterias podem ser carregadas mediante:

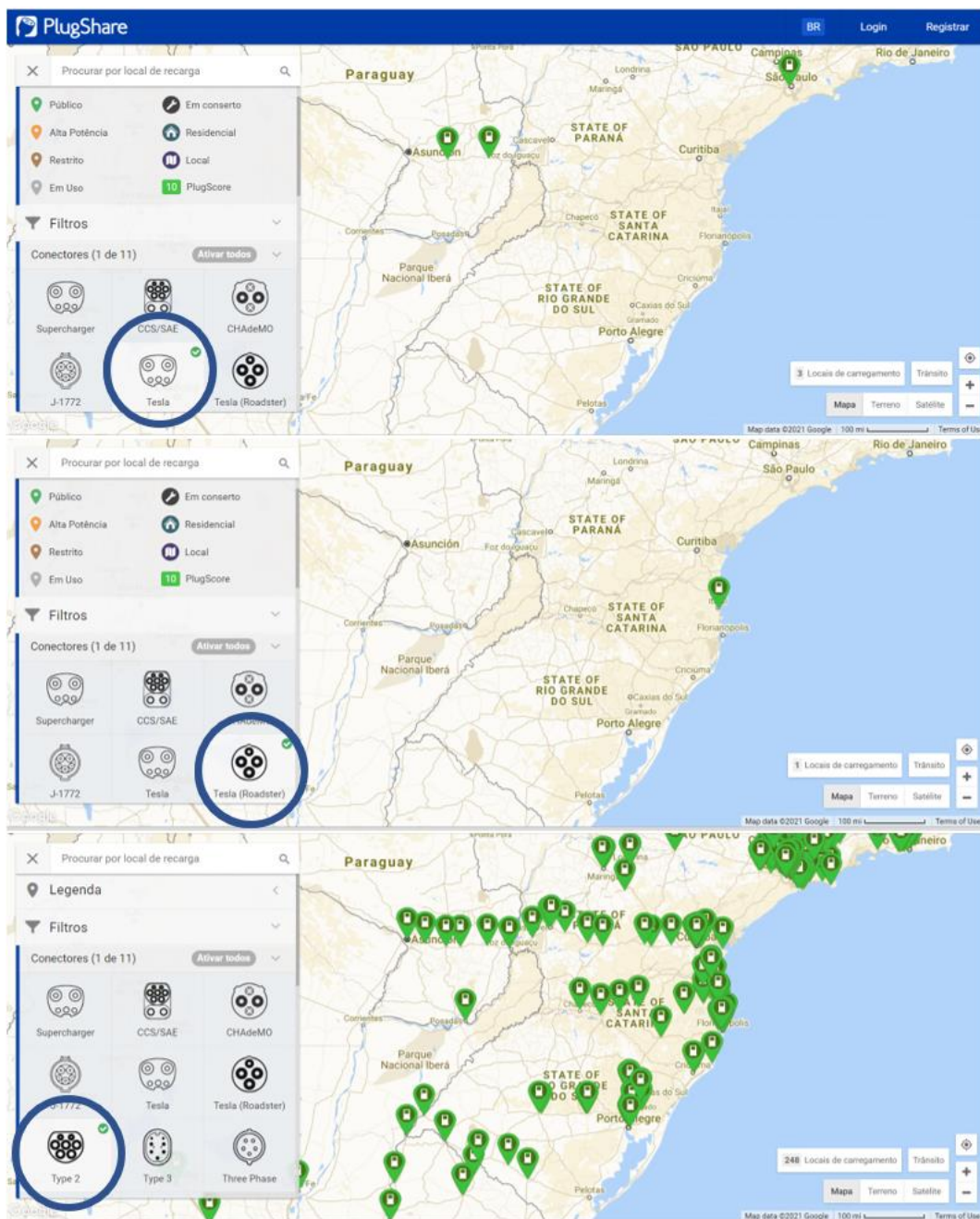
- Motor de gasolina
- Freio regenerativo (transfere parte da energia cinética que costuma dissipar-se na frenagem convencional)
- Ligação do veículo a um ponto de recarga.

## **7.3. Avaliação das tecnologias disponíveis dos pontos de recarga**

Atualmente, existem várias empresas envolvidas no desenvolvimento e aperfeiçoamento de sistemas de recarga rápida, tanto a nível nacional como internacional. Foi realizado um censo dos eletrodos utilizados na área através das plataformas Plugshare e Electromaps para identificar tipo, quantidade e modelo de carregadores na área e países vizinhos. A distribuição de eletrodos na Região Sul do Brasil e países vizinhos é mostrada abaixo.



**Figura 42.** Rede Eletropostos CCS/SAE, CHAdeMO, J-1772 da Região Sul do Brasil e países vizinhos. **Fonte:** Plugshare (2021).



**Figura 43.** Rede Eletropostos TESLA, TESLA Roadster, Type2 da Região Sul do Brasil e países vizinhos. **Fonte:** Plugshare (2021).

Existe uma compatibilidade entre as diferentes regiões que tem como denominador comum o conector tipo 2 de carga rápida (CCS/SAE) e o conetor CHAdeMO. O conetor tipo 2 está mais difundido, mas apenas admite padrões de carga lenta e semirrápida. Para cargas rápidas se precisa do ajuste do conetor tipo 2 na configuração CCS/SAE. Por outro lado, o conetor CHAdeMO sim aceita carga rápida. Tanto o CHAdeMO como o CCS/SAE têm uma distribuição territorial relativamente ampla.

A compatibilidade melhora de carregadores nos corredores elétricos entre países já existentes (Paraná-Paraguai) e os futuros (Rio Grande do Sul – Uruguai) facilita a implantação de uma malha regional. A tabela

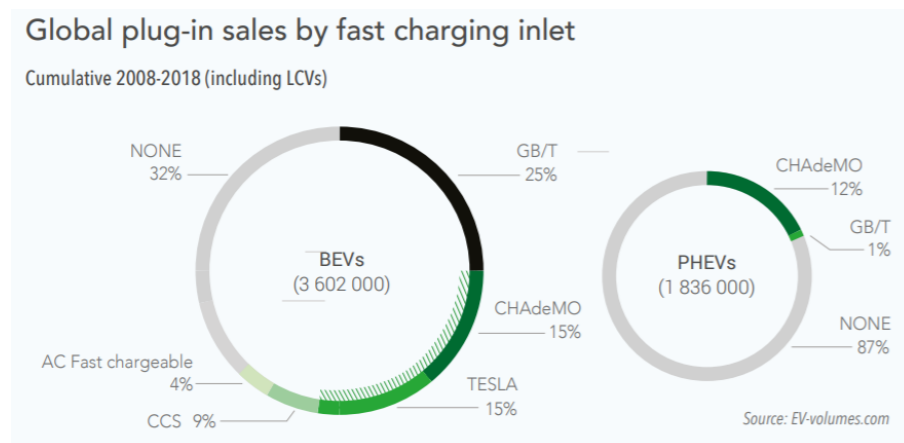
a seguir apresenta as tipologias de eletropostos atualmente em serviço e sua distribuição geográfica, nos 3 estados brasileiros de estudo e países vizinhos:

|                                | Conectores  | Carregamentos Simultâneas      | Distribuição dos eletropostos  |
|--------------------------------|---|--------------------------------|--|
| <b>Paraná (COPEL)</b>          | Tipo 2 - 22 kW<br>CCS - 50 kW<br>CHAdEMO – 50 kW                                | Dois carregamentos simultâneos | Rota Norte conectando Paraná (Curitiba) com Paraguai (Asunción)<br>Concentração em Curitiba  |
| <b>Santa Catarina (Celesc)</b> | Tipo 2 - 21 kW<br>CCS - 50 kW<br>CHAdEMO - 50 kW<br>NBR 14136 – 4,4 kW          | Dois carregamentos simultâneos | Rota costeira conectando Paraná com Rio Grande do Sul<br>Concentração em Joinville e Florianópolis   |
| <b>Rio Grande do Sul</b>       | Tipo 2 – 22 kW  | Um carregamento simultâneo     | Concentração em Porto Alegre   |
| <b>Paraguai</b>                | Tipo 2 – 7, 22 e 43 kW<br>CCS – 50 kW<br>CHAdEMO – 50 kW<br>Schuko 3,3 – 3,7 kW | Um carregamento simultâneo     | Rota Norte conectando Paraguai (Asunción) com Brasil (Curitiba)  |
| <b>Uruguai</b>                 | Tipo 2 – 22 e 43 kW<br>Schuko 2,5 – 3,7 kW                                      | Um carregamento simultâneo     | Rota Sul conectando Colonia del Sacramento (Paraguay) com Chui (Brasil)<br>Rota Central conectando Montevideo com Tacuarembó<br>Concentração em Montevideo |
| <b>Argentina</b>               | Tipo 2 – 22 kW  | Um carregamento simultâneo     | Concentração em Buenos Aires   |

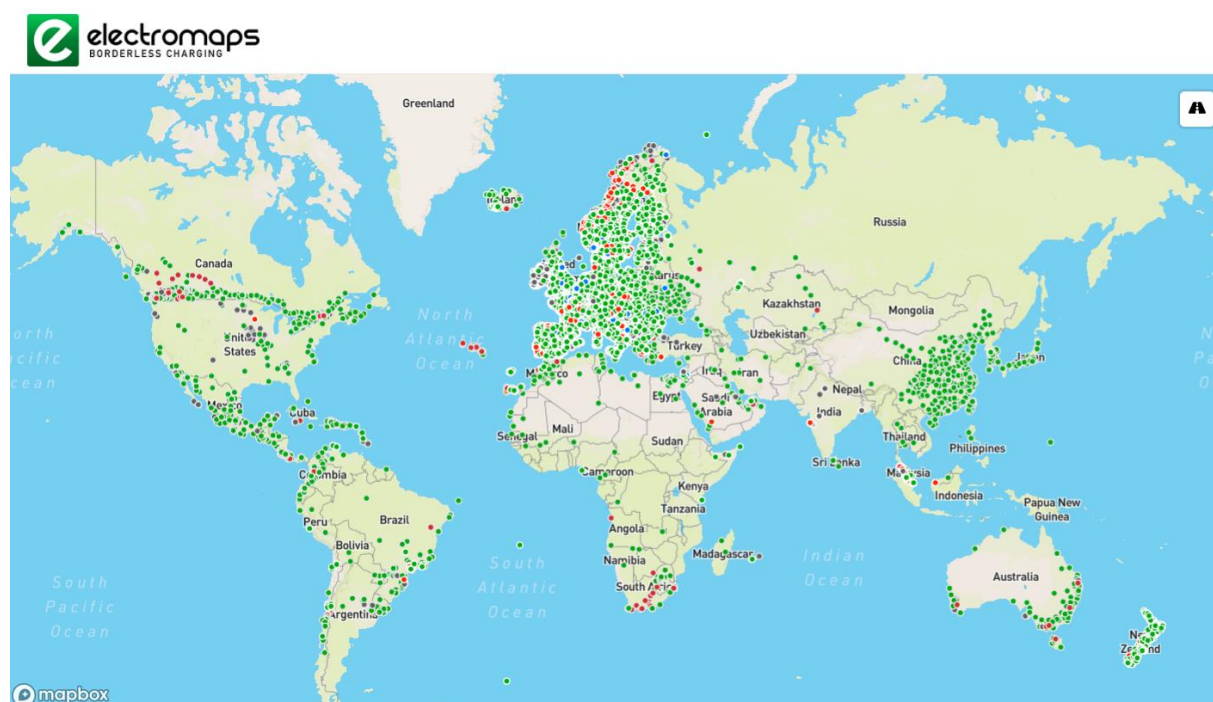
**Tabela 13.** Tipologia de eletropostos atualmente em serviço e sua distribuição geográfica. **Fonte:** Elaboração própria.

Por outro lado, tanto para as categorias de Veículos Elétricos a Bateria, como para os Híbridos Plug-in, há uma gama de possibilidades ao definir o tipo de carregador. Podemos ver que o uso de conectores CHAdEMO e CCS Combo 2 resolveria grande parte do mercado existente.

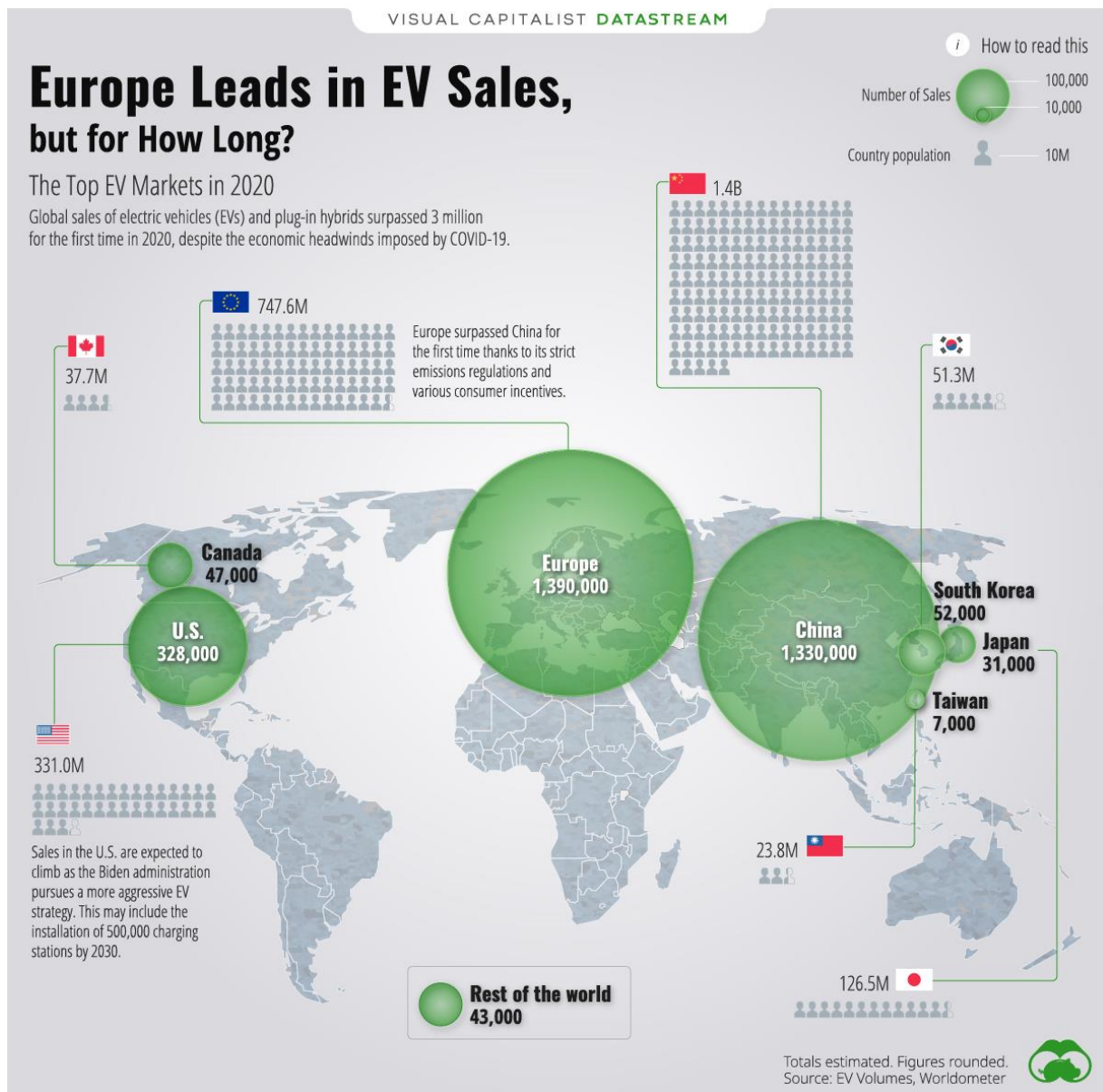




**Figura 44.** Distribuição das vendas por tipo de conectores. **Fonte:** CHAdemo



**Figura 45.** Distribuição estações de recarga em todo o mundo. **Fonte:** Electromaps 2021



**Figura 46.** Concentração por mercados. **Fonte:** markets.businessinsider.com

Cobrimos mais do 60% da demanda mundial atual, previsões futuras e compatibilidade com os conectores GB/T e TESLA. Na seguinte figura pode-se observar os adaptadores GB/T a CHAdeMO e TESLA a CHAdeMO.





**Figura 47.** Adaptador GB/T a CHAdeMO. **Fonte:** CHAdeMO (www.chademo.com)



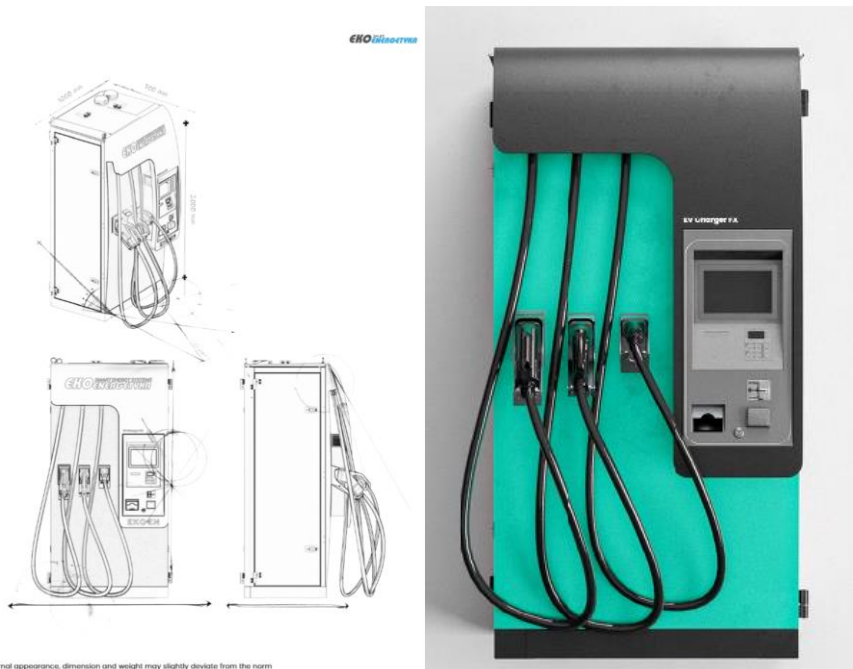
**Figura 48.** Adaptador TESLA a CHAdeMO. **Fonte:** TESLA (shop.tesla.com)

#### 7.4. Proposta de estação de carregamento.

Como destacado no Relatório 3:

- Ponto 4.4: Escolha do tipo de carregador
- Ponto 4.5: Veículos elétricos que aceitam carga rápida

Para o desenho de eletropostos na Região Sul, foi escolhido o Carregador EV Axon Pay FX 50, pertencente à família de carregadores rápidos da EKO Energetyka Smart Energy Systems, (Ekoenergetyka-Polska S.A.), como podemos ver na figura a seguir.



**Figura 49.** Estação de carga rápida CCS Combo 2, CHAdeMO, AC. Fonte 50kW. **Fonte:** Ekoenergetyka-Polska S.A.

| EKOENERGETYKA |                                       | EV Charger Axon Pay FX 50  | EV Charger Axon Pay FX 100                               |
|---------------|---------------------------------------|--|--|
| input         | Supply network                        | 3 x 400 V a.c. / 50 Hz – 60 Hz   |  |
|               | Grid connection                       | 99 kVA   | 151 kVA  |
|               | Grid connection type                  | cable connection in the TNS system   |  |
|               | Power factor                          | > 0,98 (for output power > 25%)  |  |
| output        | Efficiency                            | > 95% (for output power > 50%)   |  |
|               | Maximum charging current              | CCS Combo 2 / 125 A d.c.<br>CHAdeMO / 125 A<br>AC / 63 A   | CCS Combo 2 / 250 A d.c.<br>CHAdeMO / 125 A<br>AC / 63 A |
|               | Output voltage range                  | 200 – 810 V d.c.   |  |
|               | Maximum output power                  | 50 kW DC (from 400 V d.c.) + 43 kW AC  | 100 kW DC (from 400 V d.c.) + 43 kW AC                   |
|               | Power distribution/<br>Connector type | CCS Combo 2 / 50kW<br>CHAdeMO / 0kW<br>AC / 43 kW  | CCS Combo 2 / 100kW<br>CHAdeMO / 0kW<br>AC / 43 kW       |
|               |                                       | CCS Combo 2 / 0kW<br>CHAdeMO / 50kW<br>AC / 43 kW  | CCS Combo 2 / 50kW<br>CHAdeMO / 50kW<br>AC / 43 kW       |
| communication | Cable length                          | DC 4,5 m, AC 4,5 m   |  |
|               | Charging mode                         | IEC-61851-1, IEC-61851-23, IEC-61851-24<br>ISO 15118, DIN 70121, CHAdeMO rev. 1.2  |  |
|               | Communication                         | GSM, Modem UMTS/3G<br>optional: W-LAN, ETHERNET, WiFi  |  |
|               | Protocol                              | OCPP 1.6-J   |  |
| general       | User interface                        | buttons, LCD display, payment terminal, RFID card reader   |  |
|               | Housing                               | aluminium, galvanized steel, stainless steel, powder coating   |  |
|               | Colour                                | RAL palette  |  |
|               | Enclosure protection                  | IP54 / IK10  |  |
|               | *Dimensions                           | 2000 x 1000 x 700 mm   |  |
|               | *Weight                               | 255 kg   | 270 kg   |
|               | Warranty                              | 24 months  |  |
|               | Noise emission                        | < 55 dB  |  |
|               | Temperature range                     | -25 °C – +45 °C  |  |
|               | Standards compliance                  | CE declaration, LVD – 2014/35/EU, EMC directive, IEC 62262, EN 50110-1, EN 50160, EN 60038, IEC 60529, IEC 61439-1, IEC 61558-1, IEC 61851-1, IEC 61851-23, IEC 61851-24, ISO 3864-2, IEC 62196-3, IEC 61140, IEC 60364-7-722, IEC 61439-7, ISO 15118, DIN 70121 |  |

**Figura 50.** Especificações do carregador EV Axon Pay FX 50 e FX100. **Fonte:** Ekoenergetyka-Polska S.A.

O ponto de recarga de 50kW tem um desenho de **fácil utilização**, com uma interface de usuário simple e intuitiva. Os **três conectores** com os quais está equipado permitem a carga de uma grande variedade de

carros. Possui um sistema de **pagamento integrado**, você pode reservar o ponto de recarga com antecedência, chegar ao ponto definido, carregar, executar o pagamento assim que o veículo for reabastecido e sair.

O número de carregadores por eletroposto foi dimensionado a partir do mapa de probabilidades de abastecimento e as localizações de eletropostos. Considerando um tempo de uso do posto de carga de 20 min (15 min carregando e 5 min de gestões) e uma hipótese de demanda na hora ponta de 7,5%, estimou-se que um eletroposto com 8 carregadores de 400 kW (50 kW por carregador) pode dar serviço a 320 VE diários. Em geral, quase todos os eletropostos propostos tem uma necessidade de VE menor que 320 VE diários, alguns eletropostos do corredor litoral entre Curitiba e Florianópolis poderiam precisar de mais carregadores. As tendências e incertezas dessa tecnologia dificultam a estimativa precisa do número ideal de carregadores por eletroposto na região Sul do Brasil, porém, o que se apresenta é uma estação modular com capacidade de expansão futura de acordo com a demanda local, resultando em uma estação de 8 estações de recarga para atender à demanda estimada atual de acordo com o Relatório 2, e com a possibilidade de expansão para cenários estimados e com capacidade elétrica do transformador capaz de suportar futuros aumentos ou expansão.

Uma estação equipada com este tipo de carregador em conjunto com um ecossistema integrado que permita aos usuários experimentar todos os benefícios da Eletromobilidade, seria uma proposta com tal impacto que tornaria sua adoção não mais do que uma decisão natural dos usuários.

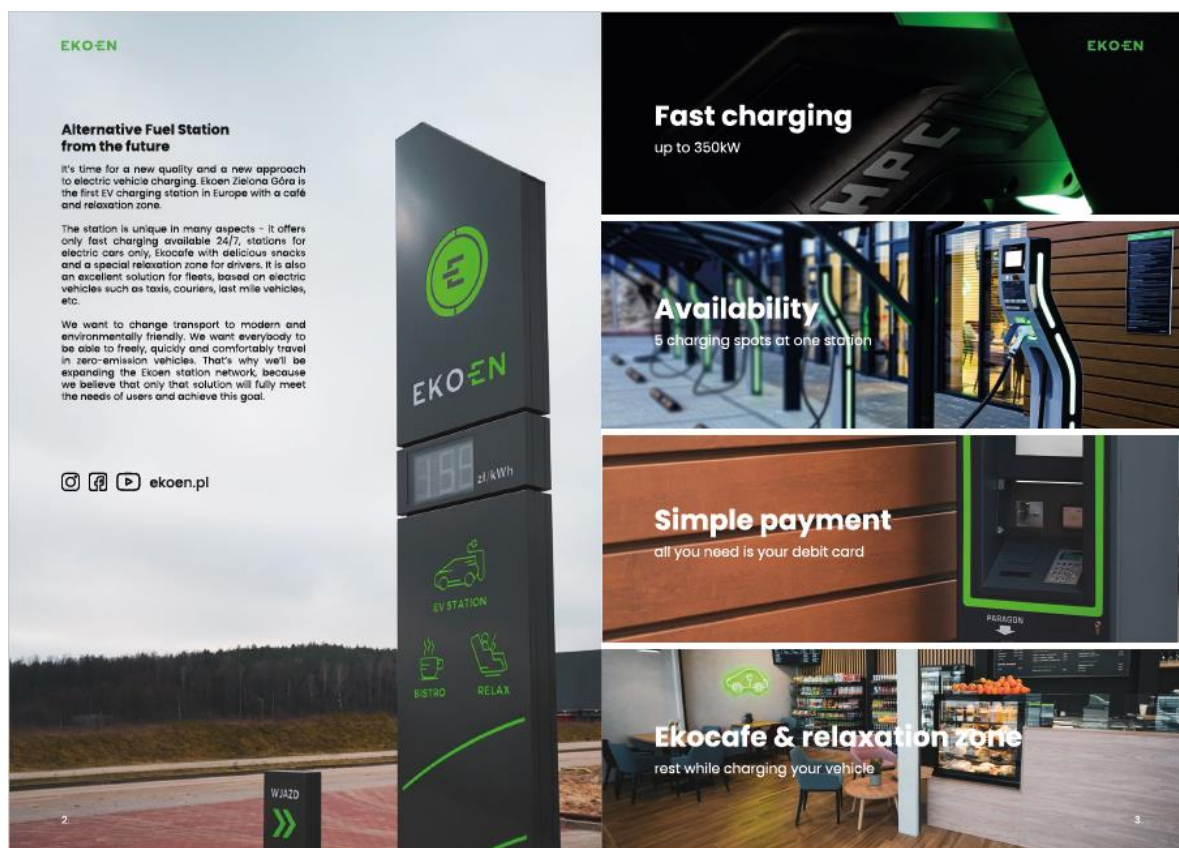


Figura 51. Proposta de estação Electrolinera EKO-EN. Fonte: EKO Energetyka

## 7.5. Estimativa de Custos

Os valores aqui apresentados referem-se aos custos diretos de aquisição do material e não incorporam os custos dos serviços de distribuição (transporte desde o local de fabricação), são custos de fabricantes europeus, considerandoos custos de implantação e os custos de equipamento elétrico alimentador. Para cada eletroposto são considerados 8 pontos de recarga, de acordo com os níveis esperados de demanda de recarga na região.

| Descrição por Electrolinera            | Preço Euro       | Preço Reais          | Quantidade |
|--|------------------|----------------------|------------|
| Centro de seccionamento                | 13.500 €         | R\$ 89.505           | 1          |
| Centro de Transformação                | 51.000 €         | R\$ 338.130          | 1          |
| Quadros Elétricos                      | 8.750 €          | R\$ 58.013           | 1          |
| Líneas Elétricas                       | 3.500 €          | R\$ 23.205           | 1          |
| Carregadores recarga rápida / unidade  | 13.500 €         | R\$ 89.505           | 8          |
| Comissionamento + Instalação / unidade | 1.350 €          | R\$ 8.951            | 8          |
| Capacitação                            | 4.270€           | R\$ 28.310           | 1          |
| <b>SUBTOTAL</b>                        | <b>199.820 €</b> | <b>R\$ 1.324.810</b> | 1          |
| Obras civis 10% do investimento        | 19.982 €         | R\$ 132.481          | 1          |
| Engenharia 20% do investimento         | 39.964 €         | R\$ 264.962          | 1          |
| Segurança e Saúde 3% do investimento   | 5.995 €          | R\$ 39.744           | 1          |
| <b>TOTAL</b>                           | <b>265.761 €</b> | <b>R\$ 1.761.998</b> | 1          |

**Tabela 14.** ORÇAMENTO (elaborada pela EURECAT). **Fonte:** Elaboração própria (Eurecat).

O custo médio anual da rede de 13,8 kV, para um acréscimo de 1 kW, incluindo o impacto nas redes a montante é de 431 R\$/kW (NT ANEEL 219/16) para a COPEL. Dado que a estação utilizaria uma capacidade de 500 kVA, o custo médio da rede seria de R\$ 215.500. Este custo é conservador e pode ser minimizado em função da curva de carga típica apresentada pelo eletroposto.

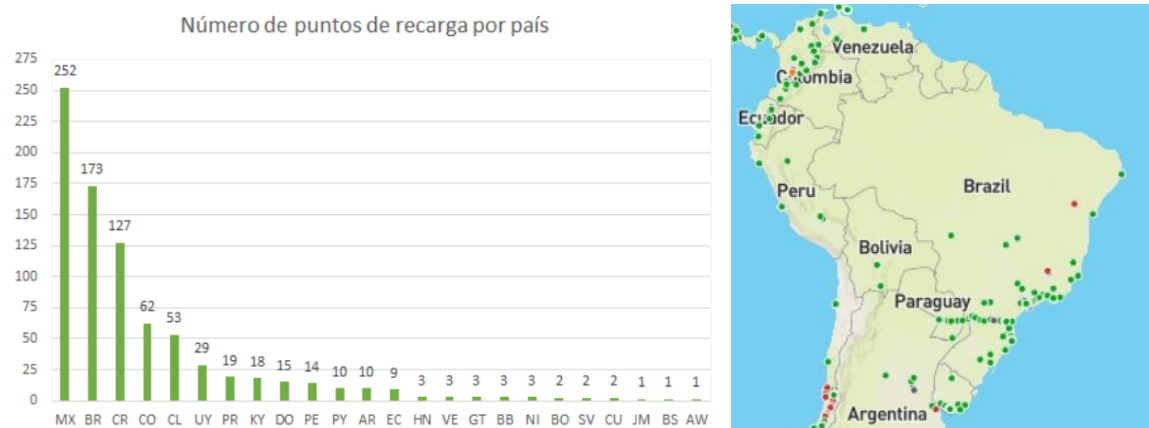
## 8. PROPOSTA DE CORREDOR PARA MOBILIDADE ELÉTRICA NA REGIÃO SUL DO BRASIL E PAÍSES VIZINHOS

### 8.1. Identificação da infraestrutura sendo desenvolvida na região

Atualmente, o Brasil é o país com mais eletropostos na América do Sul, sendo que os estados com uma maior concentração de eletropostos estão localizados na Região Sul e no litoral do país. Os países vizinhos da Região Sul como Uruguai e Paraguai também estão entre os países com mais eletropostos implantados.

- No Paraguai, existe o projeto “Ruta Verde” desenvolvido pelo Parque Tecnológico Itaipu (PTI), formado por 4 eletropostos de carga rápida entre Asunción e Itaipu. O projeto ainda está em fase de desenvolvimento e as recargas são gratuitas (ABC, 2020). Este corredor tem continuidade com a eletrovia COPEL Foz de Iguaçu-Paranaguá.
- No Uruguai, existem diversas estações de carregamento elétricos situados na rodovia litoral, operadas principalmente pela “Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas (UTE)”.
- Na Argentina a evolução dos eletropostos está mais incipiente com apenas algum eletroposto em Buenos Aires e com previsão de desenvolvimento da rodovia e-Pan-Americana com um par de eletropostos na Argentina.
- Entre São Paulo e Rio de Janeiro, existe um projeto de eletroposto de carga rápida desenvolvida pela BMW & EDP, e outro com eletroposto de carga ultrarrápida desenvolvido por EDP, Audi, Porsche e Volkswagen.

Na Região Sul do Brasil, podemos identificar 2 corredores elétricos. Um corredor rodoviário bem definido que cruza o Paraná de Leste (Paranaguá) ao Oeste (Foz do Iguaçu) do estado, com um intervalo médio de um 75 km. Este corredor segue por Paraguai até Asunción. Outro corredor no litoral que vai de Curitiba a Florianópolis.



AR Argentina; AW Aruba; BB Barbados; BO Bolívia; BR Brasil; CL Chile; CO Colômbia; CR Costa Rica; CU Cuba; DO República Dominicana; EC Equador; GT Guatemala; HN Honduras; JM Jamaica; KY Ilhas Caimán; MX México; NI Nicarágua; PE Peru; PR Puerto Rico; PY Paraguai; SV El Salvador; UY Uruguai; VE Venezuela

**Figura 51.** Inserção atual de eletropostos em ele mercado latino-americano (estações de recarga gerenciadas por ELECTROMAPS até 2020). **Fonte:** Electromaps, 2020.

#### Iniciativas desenvolvidas pela COPEL no estado de Paraná

Em 2014, a COPEL colaborou com a Prefeitura de Curitiba para a implantação de 10 eletropostos, para a recarga de uma frota de 10 veículos elétricos, utilizados por diferentes secretarias. Em 2016, foi feita uma

prova piloto com Ônibus Volvo Hibri Plug com a Prefeitura de Curitiba. A estrutura de recarga tinha como objetivo poder carregar o ônibus em 6 minutos, para uma autonomia de 11km. O conceito de operação era de 75% do trajeto com energia elétrica das baterias e 25% com o complemento de um gerador diesel em paralelo (2016).

Foi implementada a Eletrovia Paranaense, o projeto começou em Fevereiro de 2018 (duas estações de recarga) e finalizada em Dezembro do mesmo ano. Foram instaladas 12 estações de recarga entre Paranaguá e Foz de Iguaçu, rodovia que tem 730km de extensão. A maior distância entre estações é de 97km, permitindo o uso da maioria dos veículos elétricos existentes no mercado. No total, foram investidos R\$ 5,5 milhões no projeto.



**Figura 52.** Traçado da Eletrovia Paranaense. **Fonte:** COPEL, 2018.

Existe um acordo com a distribuidora de São Paulo, para que a principal ligação do Paraná com a região sudeste, seja coberta por estações de recarga rápida. A distância do eletroposto da COPEL até a divisa dos estados é de 106km, sendo que um local ainda será escolhido pela COPEL, para a instalação de ponto de recarga. O primeiro eletroposto em SP estaria a uns 100km da divisa com o Paraná, na Rodovia BR-116 (Regis Bitencourt). As instalações devem começar no segundo semestre de 2020, por conta da situação de pandemia que afeta os trabalhos de instalação.

O corredor elétrico paranaense é atendido por estações de recarga rápida com três tipos de conectores (Potência de 43kW em CA – Mennekes tipo 2 - e 50kW em CC – ChaDeMo e CCS 2), além de estações semirrápidas (22kW em CA – Mennekes tipo 2), alguns contam com monitoramento para observar quais dos postos estavam sendo mais utilizados pelos usuários.

#### ***Iniciativas desenvolvidas pela CELESC no estado de Santa Catarina***

Em 2015, a CELESC começou com uma primeira iniciativa de P&D com um orçamento de R\$3 milhões para investigar possíveis soluções para implantação de pontos de recarga elétricos para veículos nas vias de Santa Catarina, basicamente a BR-101 e a BR-116 nas cidades de Joinville, Araquari, Blumenau, Porto Belo e Florianópolis.



A partir de 2018 começou uma segunda fase de desenvolvimento focando na expansão da malha estadual e explorando o conceito de V2G “Vehicle to Grid”. Nesta segunda fase houve um processo de chamada pública para a implantação de eletropostos. Este processo foi feito para encontrar parceiros que quisessem ceder um espaço próprio para a implantação de ponte de recarga elétricos. A rede de eletroposto incrementou em 25 unidades.

A seguinte figura mostra os eletropostos implantados na primeira fase, à esquerda, e os pontos previstos como resultado da chamada pública da segunda fase.



**Figura 53.** Eletropostos implantados no corredor elétrico de Santa Catarina por CELESC na primeira fase (esquerda) e os previstos na segunda fase (direita). **Fonte:** CELESC, 2019.

A CELESC desenvolveu um Eletroposto Modelo com estações de carga rápida com assistência de baterias auxiliares. O eletroposto tem implantado baterias com capacidade de armazenamento para dois carregamentos em 50kW de potência.

Já foi desenvolvido um eletroposto de carga semirrápida, elaborado pela CELESC com a colaboração da Universidade Federal de Santa Catarina, o eletroposto está localizado na mesma universidade.

A partir dos projetos realizados se estima que os custos de implantação de uma estação de recarga rápida podem ser de R\$ 100-150 mil reais e de uns R\$ 15 mil para recarga semirrápida.

#### ***Iniciativas impulsadas pela CEEE no estado de Rio Grande do Sul***

A CEEE está operando sobre 1/3 do território do RS (72 municípios), os outros 2/3 estão com outras duas companhias privadas pertencentes à CPFL. Existe um projeto de eletrovia em andamento que tem como objetivo ligar Torres (SC) até Pelotas (RS), para depois bifurcar-se para Chuí e Jaguarão (BR101 / BR116), na fronteira com o Uruguai. O corredor deve ser desenvolvido em 18 meses, e prevê a implantação de 10 eletropostos de recarga rápida e 8 semirrápidas em um corredor de 905 km.

Há expectativas de que o Uruguai ligue uma rota de eletropostos até Chuí, dando continuidade ao corredor elétrico, mesmo que ainda não haja colaboração nem coordenação entre o Uruguai e o Rio Grande do Sul. Também existe uma proposta conceitual que tem sido considerada para ligar o corredor com Argentina, sendo que o ponto de interligação estaria na cidade de Paso de los Libres (Argentina).

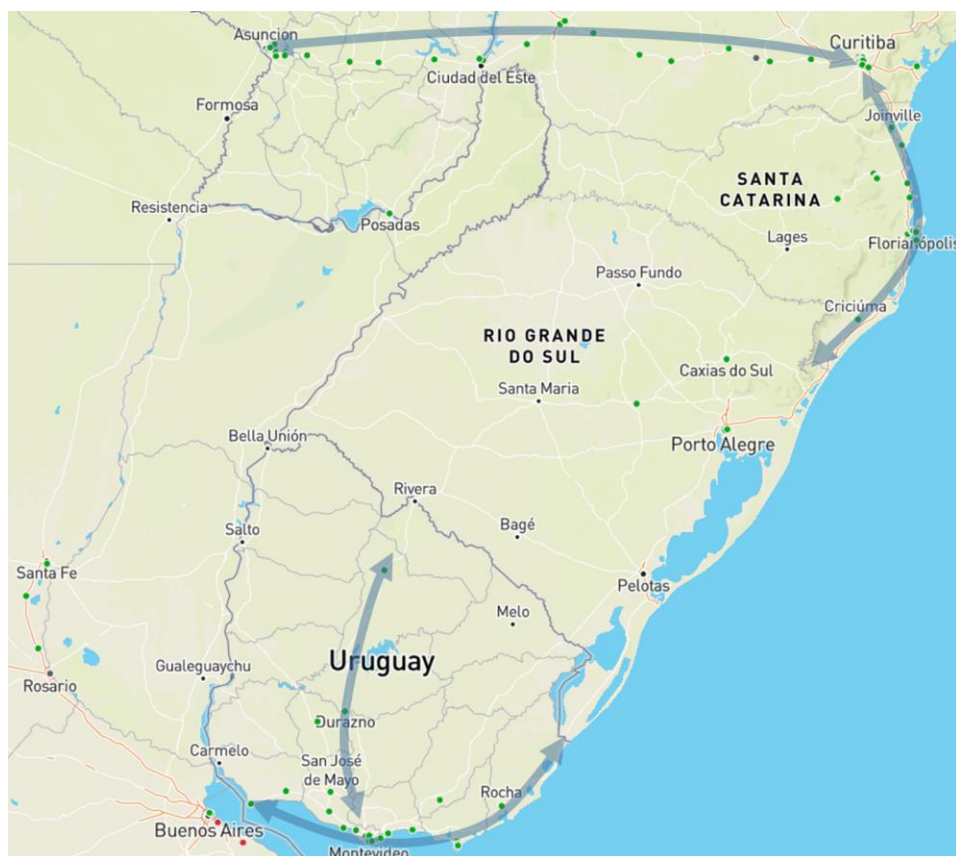


**Figura 54.** Traçado do corredor elétrico de Rio Grande do Sul e pontos de recarga previstos. **Fonte:** CEEE, 2020.

## 8.2. Compatibilidade com a infraestrutura das regiões vizinhas

Atualmente, não existe um cadastro oficial com todos os eletropostos distribuídos pelo Brasil, mas com a nova Regulamentação da ANEEL, está sendo requisitado dados dos tipos de eletropostos e localidade para posterior controle e divulgação.

Foi realizado um levantamento de eletropostos a partir dos aplicativos mais utilizados (Plugshare and ElectroMaps). Temos que considerar que não estão incluídos todos os postos existentes, pois eles funcionam com o cadastramento e atualização dos próprios usuários. A seguinte figura mostra a distribuição de eletropostos na Região Sul do Brasil e países vizinhos.



**Figura 55.** Rede de Eletropostos (pontos verdes) na Região Sul do Brasil e países vizinhos. **Fonte:** Electromaps (2020)

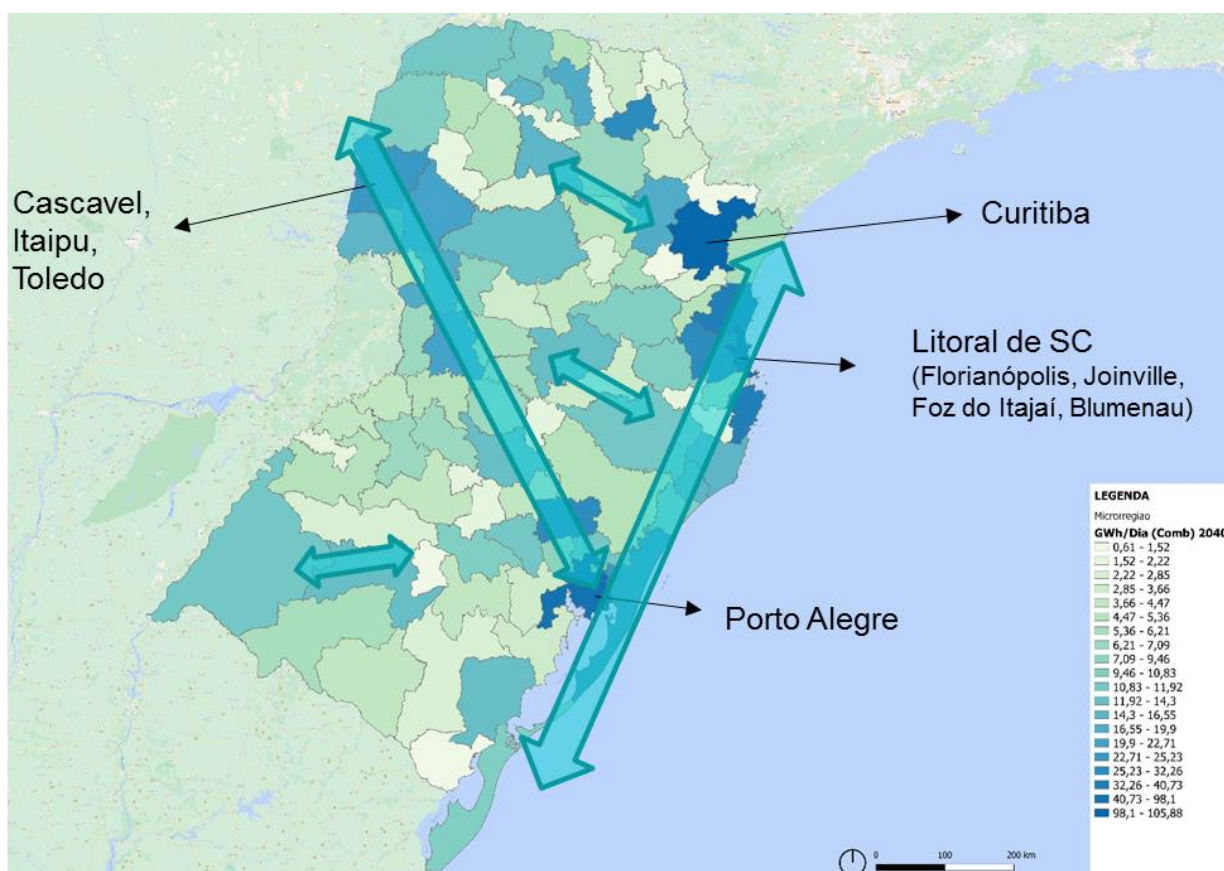


### 8.3. Definição do corredor para mobilidade elétrica

Para a definição da proposta dos corredores elétricos na Região Sul do Brasil, temos considerado:

- Infraestrutura de eletropostos atual e projetos previstos pelos operadores.
- Consumo elétrico veicular previsto especializado na região obtida na fase de estimação de demanda futura.
- Infraestrutura existente e iniciativa em países e regiões vizinhas.
- Infraestrutura de transmissão elétrica na região.
- Para a determinação de localizações de eletropostos dentro do corredor, tem-se feita uma análise de probabilidade de abastecimento nas rodovias a partir da autonomia dos veículos elétricos.

A partir da espacialização do consumo elétrico veicular, pode-se observar que a demanda de mobilidade elétrica tenderá a acontecer sobre dois eixos principais, um eixo costeiro seguindo a BR-101 e dois interiores desde Foz de Iguaçu até Porto Alegre e até Curitiba.

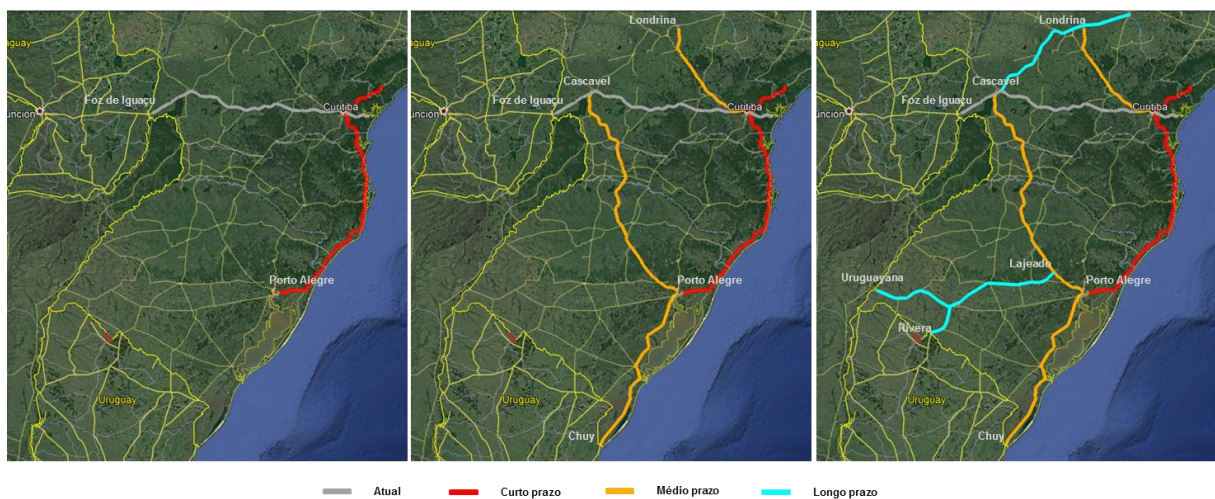


**Figura 56.** Espacialização do consumo elétrico veicular na Região Sul no ano 2040 por microrregiões para o cenário (Alta Adoção). **Fonte:** Elaboração própria.

Considerando os eixos apresentados, e a infraestrutura existente dentro e fora da região, temos proposto os diferentes corredores elétricos a implantar a curto, médio e longo prazo.

- Como ponto de partida, considera-se consolidados os corredores existentes entre Paranaguá, Curitiba, Foz do Iguaçu e Asunción no Paraguai.
- A curto prazo, propõe-se implantar o corredor litoral na rodovia BR-101 de Porto Alegre a Curitiba em direção a São Paulo, onde se concentram as maiores demandas de mobilidade cotidiana na Região Sul e de mobilidade turística.
- A médio prazo, propõe-se implantar os corredores interiores, em particular o corredor de Porto Alegre a Cascavel (BR-386) e o corredor de Curitiba até Londrina (BR-376) situado no Norte do Paraná. Também a ligação internacional com Uruguai passando por Chuí (BR-116 e BR-471).
- A longo prazo, consolidar a malha regional com um corredor desde Cascavel até o estado de São Paulo (BR369), passando por Londrina, e desde Lajeado até Argentina e Uruguai passando por Uruguayana (BR-287 e BR-290) e Rivera (BR158).

Na seguinte figura mostra os corredores elétricos propostos.

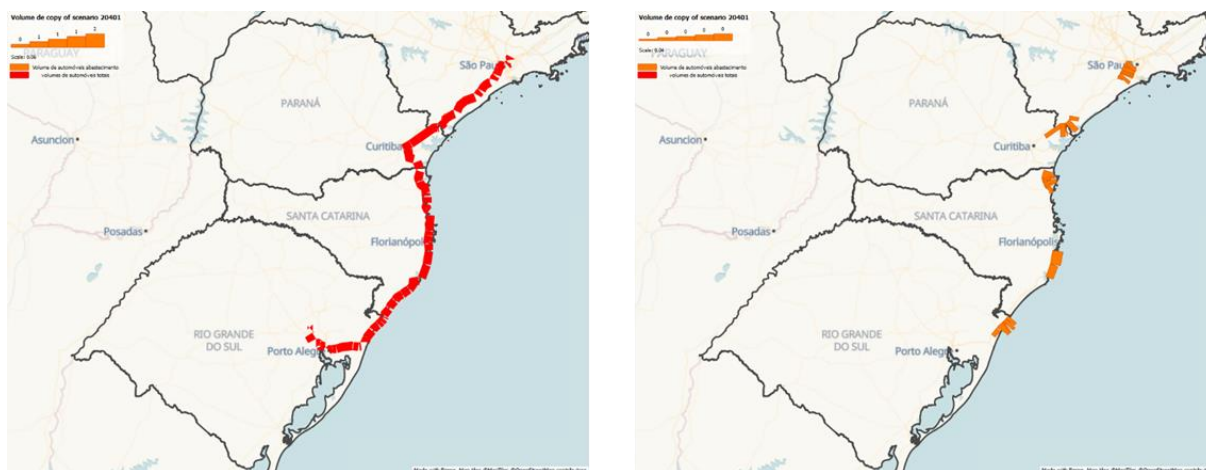


**Figura 57.** Proposta de corredores rodoviários elétricos na Região Sul do Brasil a curto (esquerda), médio (centro) e longo (direita) prazo. **Fonte:** Elaboração própria.

Além dos corredores propostos, em Santa Catarina, a segunda fase da iniciativa de corredores elétricos da Celesc atualmente em desenvolvimento permitirá a melhora da malha eletrificada da região, permitindo a integração do Litoral-Oeste de Santa Catarina.

#### 8.4. Pontos de abastecimento

A partir das características de viagem (origens e destinos na região), e das autonomias médias dos veículos adotadas, buscou-se para cada viagem determinar as prováveis regiões de abastecimento. Considerou-se uma janela de oportunidade de abastecimento de 50 km. O exemplo abaixo mostra uma viagem que sai do RS em direção a SP, onde se pode ver as diferentes regiões prováveis de abastecimento:



**Figura 58.** Exemplo de carregamento de tráfego e locais das janelas de oportunidade. **Fonte:** Elaboração própria.

Sobrepondo todas as janelas de oportunidade de todas as viagens de longo percurso identificadas nas matrizes origem-destino da região, resultaram identificados os pontos de maior probabilidade de recarga elétrica para viagens dentro da região toda. Considerando os trechos de maior demanda elétrica identificados a partir desta análise de probabilidade de abastecimento, temos determinado as localizações dos eletropostos para cada corredor rodoviário elétrico.



**Figura 59.** Carregamento de tráfego (Vermelho) e locais das janelas de oportunidade (laranja). **Fonte:** Elaboração própria.



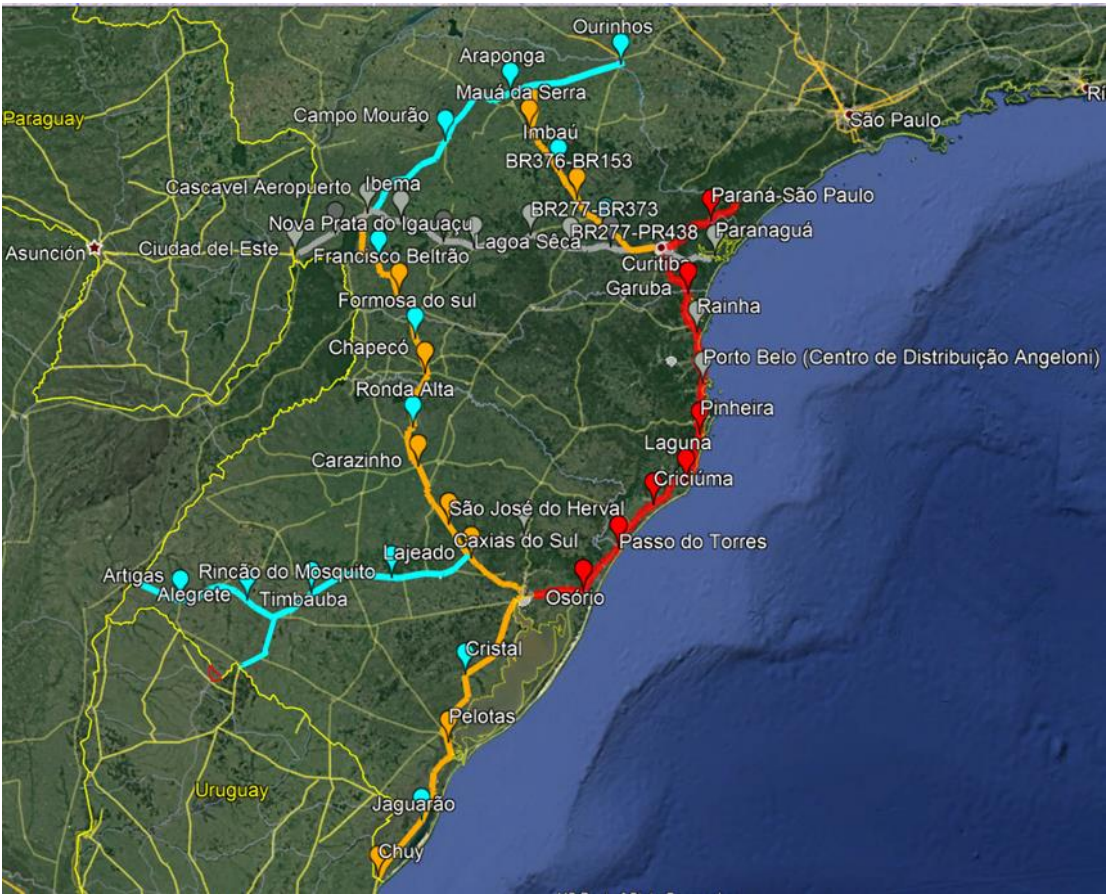


Figura 60. Proposta de localização de eletropostos. Fonte: Elaboração própria.

A curto prazo, propor-se a implantação de 7 eletropostos no corredor litoral. A médio prazo, um total de 10 eletropostos repartidos entre o corredor Porto Alegre-Cascavel (5), Porto Alegre-Chuí (2) e Curitiba-Maringá (2). A longo prazo, um total de 14 eletropostos, repartidos entre o corredor Lajeado-Argentina, o corredor Cascavel-São Paulo e reforçando os corredores implantado no médio prazo para reduzir o espaçamento médio à metade. A seguinte tabela mostra o número de eletropostos proposto e o espaçamento médio de cada corredor.

|                                    | Foz de Iguaçu-Paranaguá | Curitiba-Porto Alegre | Porto Alegre-Cascavel | Cascavel-São Paulo | Porto Alegre-Uruguay | Curitiba-Maringá | Lajeado-Argentina |
|------------------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|------------------|-------------------|
| Comprimento do trecho (km)         | 675                     | 690                   | 700                   | 410                | 500                  | 415              | 540               |
| Número de eletropostos totais 2040 | 10                      | 9                     | 8                     | 3                  | 4                    | 4                | 4                 |
| Espaçamento médio                  | 75 km                   | 75 km                 | 100 km                | 100 km             | 125 km               | 75 km            | 125 km            |
| Em serviço                         | 10                      | 2                     | -                     | -                  | -                    | -                | -                 |
| Curto Prazo (até 2030)             | -                       | 7                     | -                     | -                  | -                    | -                | -                 |
| Médio Prazo (até 2035)             | -                       | -                     | 5                     | -                  | 2                    | 2                | -                 |
| Largo Prazo (até 2040)             | -                       | -                     | 3                     | 3                  | 2                    | 2                | 4                 |

Tabela 15. Número de eletropostos propostos a curto, médio e longo prazo. Fonte: Elaboração própria.

## 8.5. Custos de implantação do corredor

A partir do orçamento de um eletroposto, podemos agora definir um orçamento indicativo do custo do projeto de corredor e da instalação elétrica necessária para carga rápida. Tendo em mente possíveis variações das cotações feitas até o momento, o montante total é estimado da seguinte forma para o curto, médio e longo prazo:

E a análise por região do país seria a seguinte:

|   | Paraná                | Santa Catarina        | Rio Grande do Sul     |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Número de estações elétricas a instalar | 10                    | 6                     | 14                    |
| Custo em Euros                          | 2.657.610 €           | 1.594.566 €           | 3.720.654 €           |
| <b>TOTAL em Reais</b>                   | <b>R\$ 17.619.980</b> | <b>R\$ 10.571.988</b> | <b>R\$ 24.667.972</b> |

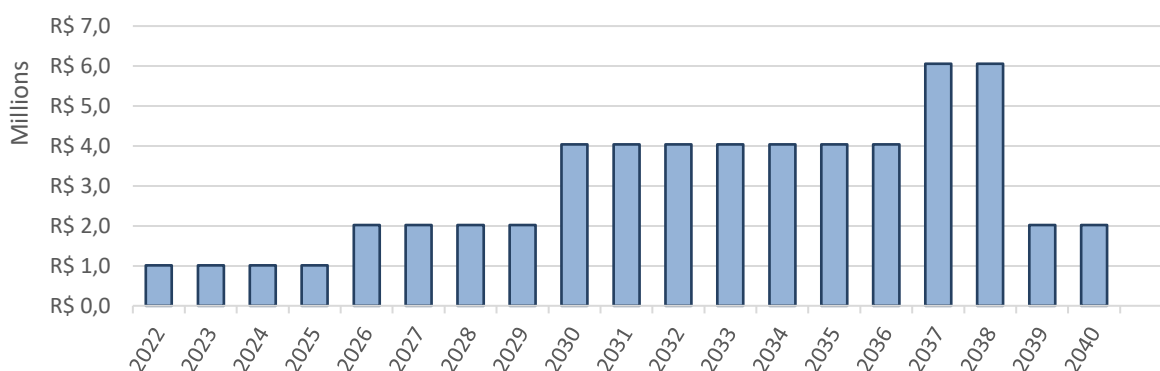
**Tabela 16.** Orçamento por região (elaborada pela EURECAT). **Fonte:** Elaboração própria (Eurecat).

As necessidades de investimento por horizonte temporal ao longo do tempo apresentam-se na próxima tabela.

|   | Curto prazo           | Médio Prazo            | Longo Prazo           |
|---|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Número de estações elétricas a instalar | 7                     | 9                      | 14                    |
| Custo em Euros                          | 1.860.327 €           | 2.391.849 €            | 3.720.654 €           |
| <b>TOTAL em Reais</b>                   | <b>R\$ 12.333.968</b> | <b>R\$ 15.857.958,</b> | <b>R\$ 24.667.936</b> |

**Tabela 17.** Orçamento previsto no curto médio e longo prazo (elaborada pela EURECAT). **Fonte:** Elaboração própria (Eurecat).

Os investimentos poderiam desenvolver-se de acordo com o seguinte cronograma, com investimentos anuais médios de entre \$R 1 e 6 milhões dependendo do ano:



**Figura 61.** Programa de investimentos para desenvolvimento de rede regional de suporte à eletromobilidade de longa distância. **Fonte:** Elaboração própria

## 9. CONCLUSÕES

### 9.1. Sobre o desenvolvimento da eletromobilidade na região

- A mudança para a tecnologia elétrica poderá ser rentável em prazos de 10 anos para usuários particulares com veículos leves pequenos que fazem mais de 10.000 km anuais; ou para carros maiores que precisam de um maior investimento inicial podem ser rentáveis para intensidades de uso maiores (15.000 km e 20.000 km, respectivamente). Mesmo que a rentabilidade seja possível, os custos iniciais ainda são um entrave para a expansão do mercado, podendo ser necessários subsídios que permitam superar a resistência dos usuários a mudar de tecnologia. Os custos de O&M já são bem menores para veículos elétricos do que para veículos convencionais.
- Para dinamizar o mercado, pode ser uma vantagem aproveitar a menor percepção do custo de operação dos usuários do veículo elétrico. Estão sendo desenvolvidas novas formas de cobrança que limitam o valor mensal de carregamento do veículo elétrico por meio de tarifas fixas. Além disso, os custos de operação podem ser menores para usuários que tenham acesso a eletropostos bonificados em shoppings, postos de trabalho, ou por meio de car-clubes vinculados a montadoras. A instalação de painéis solares domiciliares permite ainda economias na recarga do veículo elétrico (e pode alcançar a auto suficiência em segmentos como o das motocicletas).
- Observamos muitos modelos de negócio visando favorecer o desenvolvimento do mercado propriamente falado e vencer as barreiras mais evidentes vinculadas ao custo inicial dos veículos ou a percepção de baixa autonomia. Mas o principal interesse destes negócios não é outro além de fortalecer as vendas de veículos e incrementar o volume de energia fornecida na recarga domiciliar. Por essa confluência de interesses, são verificados diversos acordos e parcerias entre montadoras e distribuidoras elétricas para impulsionar iniciativas em eletromobilidade.
- Nossas estimativas mostram, como referência para o período 2022-2040, que os investimento em infraestrutura de recarga, os custos de manutenção da infraestrutura e os investimentos no reforço da rede podem ser financiados pelas distribuidoras por meio do incremento das receitas derivadas do aumento de consumo de energia elétrica veicular. Considerando uma taxa de desconto do 12%, resultou em um taxa interna de retorno de 24% e um VPL de R\$ 290 milhões.
- As montadoras estão mostrando interesse em impulsionar o veículo elétrico, esperando um incremento das vendas de veículos por renovação das frotas, e a produção de veículos com maior valor agregado para o negócio. Elas estão envolvidas em numerosos projetos de implantação de infraestrutura de recarga elétrica pública (pe. IONITY na Europa, eletrovia Dutra no estado de São Paulo e Rio de Janeiro).
- Outras unidades de negócio estão emergindo e reforçando a tecnologia elétrica. Por exemplo, estão sendo desenvolvidos diversos projetos de ônibus elétricos urbanos (Curitiba, São Paulo, Campinas, Itajaí, Salvador...) em parcerias entre as municipalidades, as montadoras, e os órgãos financiadores (linhas de crédito do BDNES). Os operadores locais de ônibus têm que enfrentar custos de aquisição dos ônibus mais caros e um investimento relativamente importante na infraestrutura de recarga elétrica; porém, são esperados incentivos por parte da administração com um incremento das contribuições públicas (taxas verdes) e a possibilidade de ter acessos a linhas de crédito “eco” (com isenções fiscais).
- A eletromobilidade impacta na melhoria da qualidade do ar e favorece a redução das doenças de saúde causadas pela poluição, já que os veículos elétricos emitem da ordem de metade de partículas do que os convencionais. Contribuem também para a diminuição dos níveis de ruído nas cidades porque os veículos

só fazem ruído no seu rolamento. A eletromobilidade favorece a diminuição do efeito ilha de calor porque os motores elétricos geram menos energia calorífica, sendo este efeito causante de transtornos no sono, transtornos psíquicos, e contribuindo para picos de mortalidade durante períodos de onda de calor. Finalmente, os veículos elétricos têm uma pegada de carbono bem menor do que os convencionais, sendo isso especialmente relevante no Brasil por conta de um peso alto das fontes renováveis no mix elétrico. Estimamos uma diminuição das emissões de 2,7 milhões Ton CO<sub>2</sub> por ano até 2040, por substituição do 10,9% da frota de veículos leves. Evidentemente, existem diferenças relativas possam ocorrer dependendo de cada tecnologia e fabricante.

## 9.2. Projeção de demanda

- Considerando o consumo total de combustível veicular na região e a eficiência média dos veículos (consumo de combustível por km), determinou-se os veículos-quilômetro totais percorridos dos veículos leves 140.565 milhões veíc-km no ano 2030 e 233.875 milhões veíc-km no ano 2040.
- Para a análise do crescimento da frota de veículos elétricos, foram considerados três cenários: um cenário de implantação rápida (Alta Adoção), um cenário de implantação lenta (Business as Usual) e um cenário intermediário. No cenário Business as Usual há 1,3% de VE, no cenário Intermediário esse valor sobe até 3,8 % e no cenário de Alta adoção apresenta um percentual de 10,9% de automóveis elétricos.
- Aplicando a porcentagem estimada da frota de automóveis elétricos para cada cenário nos percorridos dos veículos leves (Mvkm), e aplicando a eficiência de um veículo leve elétrico (16,3 km/kWh), obtemos um consumo total de energia elétrica veicular dos veículos leves para cada cenário. Considerando um 19,1% adicional de demanda elétrica de outros modos de transporte (motos, ônibus e caminhões), obtemos um consumo total de 776 GWh/ano no cenário BaU, 12.269 GWh/ano no cenário Intermediário e 6.490 GWh/ano no cenário Alta Adoção.
- Para o ano 2040, o percentual de domicílios com renda suficiente para veículo elétrico se estima entre 12,3% (cenário BaU) e 15,1% (cenário Alta Adoção), sobre um total de 11,8 milhões de domicílios (rendas acima de 8 e 9 salários mínimos, respectivamente). O mercado potencial para o ano 2040 de veículos elétricos na Região Sul estaria próximo aos 1,5 milhões de automóveis (cenário BaU) e 1,8 milhões de automóveis (cenário Alta Adoção).
- A espacialização do consumo elétrico veicular em microrregiões foi realizada utilizando-se uma ponderação entre critérios de intensidade da mobilidade, e de critério da renda destinada ao transporte. Sendo assim, resulta o mapa de consumo elétrico veicular por microrregião nos estados de Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

## 9.3. Necessidades de investimento em infraestrutura elétrica

De uma forma geral foi possível observar os principais impactos que VEs trarão para o setor elétrico e a forma como os consumidores e usuários tenderão a se comportar. O impacto na indústria de energia elétrica nos seus vários segmentos também pode ser avaliado. Alguns pontos principais podem-se destacar:

- A construção de curvas de carga que incorporem o carregamento de VEs será um desafio para as distribuidoras inclusive para tentar sinalizar momentos ideais de carregamento que venham a minimizar

os investimentos nas redes MT e BT. Uma construção de uma tarifação adequada tanto para as residências, pontos comerciais e eletropostos será um desafio.

- O impacto na geração de energia elétrica devido ao carregamento de carros elétricos não parece ser relevante visto que: o percentual de aumento de carga devido aos VEs pode ser acomodado através de mecanismos já vigentes no setor elétrico; e, a possibilidade de utilização de geração distribuída (principalmente a fotovoltaica) deve contribuir ainda mais para minimizar o impacto no consumo de energia.
- O impacto na transmissão de energia elétrica (rede básica) é contornável visto que o percentual de capacidade total necessária não é significativo e além disto tende a ser distribuído ao longo da rede.
- O maior impacto está na rede de distribuição principalmente nas redes MT e BT. Como as cargas para carregamento estarão conectadas diretamente nestas redes em muitos casos deverá ter a necessidade local de reforços e investimentos. No entanto, como a maioria dos ativos nestas redes são bens de massa (postes, transformadores de distribuição e cabos) não se espera maiores problemas dos já existentes na rede de distribuição. Uma forma de atenuar possíveis gargalos locais é através do sinal tarifário visto que a carga associada ao carregamento de VEs tem uma elasticidade bem maior para deslocamento de ponta que a carga convencional.
- Importante salientar, a bateria inclusa nos VEs pode ser um grande aliado às redes de distribuição que poderão prover serviços ancilares em determinadas circunstâncias.
- Pode ser esperada uma sazonalidade da demanda com picos nos meses de dezembro e janeiro. No relativo à demanda total, a sazonalidade pode representar entre um 10 e um 15% maior de demanda no verão, um valor que tem que poder ser acomodado com a infraestrutura existente, especialmente se se aplicam mecanismos de gestão da demanda que permitam concentrar a recarga de VE no período noturno. No relativo à demanda interurbana -substancialmente menor do que a demanda urbana- os picos podem ser bem mais relevantes, até 35% em períodos significados em dezembro e janeiro e em áreas litorâneas, pelo que podem ser necessários reforços pontuais da infraestrutura de recarga, tais como baterias de reforço para os eletropostos rodoviários. Estes picos de demanda não justificam habitualmente investimentos que gerariam excedentes de capacidade durante o resto do ano.

#### 9.4. Modelos de negócio e Sistemas de cobrança

O objetivo desta análise é dar uma visão geral de modelos de negócio existentes com potencial para serem aplicados no contexto brasileiro. Foi realizada uma extensiva revisão bibliográfica do estado da arte sobre o tema para apontar os modelos básicos de exploração da infraestrutura do veículo elétrico, mas também modelos inovadores que visam favorecer a penetração desta nova tecnologia no mundo, também obviamente no Brasil.

- São possíveis e estão sendo desenvolvidas novas formas de cobrança que limitam o preço mensal de carregamento do veículo elétrico por meio de tarifas fixas, de forma similar a outros serviços domésticos como a televisão por assinatura, o telefone portátil, ginásio. Estas fórmulas tendem a diminuir ainda mais a percepção do custo favorecendo a penetração do veículo elétrico no mercado, e permitem tarifas mais econômicas porque são geradas economias de escala quando se concentram grandes grupos de usuários com diferentes padrões de consumo.



- Os custos de operação do VE podem ser ainda menores para usuários que possam acessar habitualmente eletropostos bonificados em shoppings, nos seus postos de trabalho, por meio de car-clubes vinculados a montadoras específicas (BMW, VW), ou na via pública em instalações com algum mecanismo de gratuidade. Formas de pagamento em diferido ou em pré-pago para eletropostos públicos podem ter efeitos semelhantes.
- A instalação de painéis solares domiciliares está sendo desenvolvida por algumas montadoras como a Tesla e a VW para incentivar o mercado. Estas companhias comercializam autos elétricos juntamente com painéis fotovoltaicos para maior autossuficiência dos usuários. Isso pode incentivar a proliferação de veículos elétricos, muito especialmente no segmento das motocicletas.
- Todos os modelos considerados permitem tirar lições aprendidas com aplicabilidade no mercado brasileiro. A maioria destes modelos visam favorecer o desenvolvimento do mercado propriamente dito e vencer as barreiras mais evidentes (custo inicial dos veículos, percepção de baixa autonomia dos usuários), sendo o principal interesse o de fortalecer as vendas de veículos e o volume de energia subministrada na recarga domiciliar.
- Na América Latina em geral e mais especificamente no Brasil, os principais projetos de postos de recarga nas rodovias, em termos de sistemas de recarga, ainda estão em fase de desenvolvimento, mas caminham na mesma direção. Possuem aplicativos e cartões de mobilidade elétrica (tecnologia RFID) que permitem ao usuário ativar o carregamento, atualmente é um serviço gratuito, mas em um futuro permitirá gerir as cobranças. Em países com infraestrutura de carregamento mais madura como na Europa e EUA, utilizam os mesmos sistemas (app's e cartões RFID), mas cada provedor tem o seu próprio sistema. Para integrar os meios de pagamento dos diferentes provedores em um único sistema, foi criado Eletromaps. Eletromaps é um aplicativo que permite localizar pontos de carregamento registrados pelos próprios usuários ou por outras operadoras de pontos de carregamento. Alguns pontos estão conectados ao aplicativo, o que permite ativar e gerir os pagamentos diretamente a partir de um único app.

## 9.5. Conclusões sobre os desenhos de eletropostos

- O estudo principal para o desenvolvimento deste projeto foi a proposta de uma infraestrutura de carga para veículos elétricos, por meio de um carregador de carga rápida que realizaria a maior carga possível no menor tempo possível, sem afetar excessivamente a rede da qual dependia a instalação.
- A principal desvantagem do carregamento rápido é a alta demanda de energia por carregador, pois estamos considerando que cada carregador demandará aproximadamente 50 kW. Portanto, ao carregar mais de um veículo elétrico simultaneamente, a rede será afetada se não estiver preparada para um aumento simultâneo de energia de tal magnitude.
- Por outro lado, o desenvolvimento de uma infraestrutura de carga como a proposta exigiria uma linha de MT para cada estação elétrica, o que aumentaria consideravelmente o investimento na distribuição.
- Uma vez analisado um cenário como o proposto, um dos primeiros passos a serem considerados do ponto de vista econômico-tecnológico poderia ser uma fase de menor investimento inicial e menor investimento tecnológico, como sistemas de carregamento lento em garagens comunitárias ou estações de carregamento noturno em centros urbanos para este uso, através do qual o carregamento simultâneo de vários veículos poderia ser realizado sem afetar a rede elétrica e sem incorrer em um custo inicial muito grande.

- Outro ponto que também valeria a pena desenvolver seriam os sistemas de troca de baterias, já que seria possível recarregar as baterias à noite em modo lento, entre 6 e 8 horas, sem afetar as curvas de demanda da rede e poderia ser feito em momentos que não teriam um impacto tão significativo na produção de energia. As emissões de CO<sub>2</sub> seriam reduzidas e permitiriam um fluxo significativo de tráfego. Entretanto, o principal problema com este método é que não há um padrão comum de bateria para todos os EVs.
- O ritmo das vendas de EV está em grande parte ligado aos pontos de cobrança, portanto é necessário chegar a um consenso comum para padronizar um ou outro sistema de cobrança e tentar avançar na mesma direção para conseguir uma maior inserção de EVs como meio de transporte diário.

## 9.6. Conclusões sobre o corredor elétrico

- No Brasil é o país com mais eletropostos na América do Sul. Os estados com uma maior concentração de eletropostos estão localizados no Sul e na costa do país. Os países vizinhos da Região Sul como Uruguai e Paraguai também fazem parte dos países com mais eletropostos implantados.
- Para a definição da proposta dos corredores elétricos na Região Sul do Brasil, temos considerado:
  - Infraestrutura de eletropostos atual e projetos previstos pelos operadores.
  - Consumo elétrico veicular previsto especializado na região obtida na fase de estimativa de demanda futura.
  - Infraestrutura existente e iniciativa em países e regiões vizinhas.
  - Infraestrutura de transmissão elétrica na região.
  - Para a determinação de localizações de eletropostos dentro do corredor, tem-se feita uma análise de probabilidade de abastecimento nas rodovias a partir da autonomia dos veículos elétricos.
- Considerando os eixos apresentados, e a infraestrutura existente dentro e fora da região, temos proposto os diferentes corredores elétricos a implantar a curto, médio e longo prazo.
  - Como ponto de partida, se consideram consolidados os corredores existentes entre Paranaguá, Curitiba, Foz do Iguaçu e Asunción no Paraguai.
  - A curto prazo, propõe-se implantar o corredor litoral na rodovia BR-101 de Porto Alegre a Curitiba em direção a São Paulo, onde se concentram as maiores demandas de mobilidade cotidiana na Região Sul e de mobilidade turística.
  - A médio prazo, propõe-se implantar os corredores interiores, em particular o corredor de Porto Alegre a Cascavel (BR-386) e o corredor de Curitiba até Londrina (BR-376) situado no Norte do Paraná. Também a ligação internacional com Uruguai passando por Chuí (BR-116 e BR-471).
  - A longo prazo, consolidar a malha regional com um corredor desde Cascavel até o estado de São Paulo (BR-369), passando por Londrina, e desde Lajeado até Argentina e Uruguai passando por Uruguaiana (BR-287 e BR-290) e Rivera (BR-158).

- Propõe-se uma rede regional 30 eletropostos até 2040. A curto prazo, propõe-se a implantação de 7 eletropostos no corredor litoral. A médio prazo, um total de 9 eletropostos distribuídos entre o corredor Porto Alegre-Cascavel (5), Porto Alegre-Chuy (2) e Curitiba-Maringá (2). A longo prazo, um total de 14 eletropostos, distribuídos entre o corredor Lajeado-Argentina, o corredor Cascavel-São Paulo e reforçando os corredores implantado no médio prazo para reduzir o espaçamento médio à metade.
- Até 2040, estima-se os investimentos em infraestrutura de recarga em R\$ 52,9 milhões (8M€). Devido a que a tecnologia da infraestrutura de recarga está principalmente importada de outros países (Europa, USA, China) o custo está fortemente ligado aos preços dos países de origem da tecnologia. Flutuações do Real em relação a outras moedas vai afetar os custo de investimento em infraestrutura de carregamento.

## 10. BIBLIOGRAFIA

- IEA (2018). *Global EV Outlook 2018*. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2018>
- IEA (2019). *Global EV Outlook 2019*. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019>
- IEA (2020). *Global EV Outlook 2019*. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>
- DENATRAN (2021). Estatísticas - Frota de Veículos. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-denatran/estatisticas-frota-de-veiculos-denatran>
- EPE (2021). *Balance Energético Nacional*. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-521/Relato%CC%81rio%20Si%CC%81ntese%20BEN%202020-ab%202019\\_Final.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-521/Relato%CC%81rio%20Si%CC%81ntese%20BEN%202020-ab%202019_Final.pdf)
- WHO (2021). *9 out of 10 people worldwide breathe polluted air*. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/air-pollution>
- Miraglia & Gouveia (2014). *Custos da poluição atmosférica nas regiões metropolitanas brasileiras*. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-812320141910.09232014>.
- Bloomberg (2020). *Electric Vehicle Outlook 2020*. Disponível em: <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>
- EEA (2011). *Roadmap to a Single European Transport Area*. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/policy-documents/roadmap-to-a-single-european>
- Shell (2019). *Shell Scenarios*. Disponível em: [https://www.shell.com/promos/business-customers-promos/download-latest-scenario-sky/jcr\\_content.stream/1530643931055/eca19f7fc0d20adbe830d3b0b27bcc9ef72198f5/shell-scenario-sky.pdf](https://www.shell.com/promos/business-customers-promos/download-latest-scenario-sky/jcr_content.stream/1530643931055/eca19f7fc0d20adbe830d3b0b27bcc9ef72198f5/shell-scenario-sky.pdf)
- Quart magazine (2019). *Automakers may have completely overestimated how many people want electric cars*. Disponível em: <https://qz.com/1533976/automakers-may-overproduce-14-million-electric-cars-by-2030/>
- Botsford C. (2018). *The Successful Business Models of EV Charging*. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/329376274\\_The\\_Successful\\_Business\\_Models\\_of\\_EV\\_Charging](https://www.researchgate.net/publication/329376274_The_Successful_Business_Models_of_EV_Charging)
- Bnamericas (2019). *Parque Tecnológico Itaipu proyecta poner en funcionamiento la Ruta Verde en el 2019*. Disponível em: <https://www.bnamericas.com/es/noticias/parque-tecnologico-itaipu-proyecta-poner-en-funcionamiento-la-ruta-verde-en-el-2019>
- Cetesb (São Paulo), Emissões veiculares no estado de São Paulo, 2018. Disponível em <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2020/02/Relat%C3%B3rio-Emiss%C3%B5es-Veiculares-no-Estado-de-S%C3%A3o-Paulo-2018.pdf>.
- Electromaps (2020). *Borderless charging*. Disponível em: <https://www.electromaps.com/en/map>
- Elli (2020). *Empowering electric life*. Disponível em: <https://www.elli.eco/de/ueber-uns>
- ENDESA (2020). *Solución Integral y recarga tu vehículo*. Disponível em: <https://www.solucionesintegralesendesa.com/solucion-integral-recarga-vehiculo-electrico>

ENSTO (2019). *Modelos de negócio para infraestrutura de recarga de veículos elétricos na Europa*. Disponível em: <https://www.ensto.com/company/newsroom/blogs/5-great-ev-charging-business-models>

IONITY (2020). *IONITY Project*. Disponível em: <https://ionity.eu/en/news-and-media.html>

McKinsey (2017). *What's sparking electric-vehicle adoption in the truck industry*. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/whats-sparking-electric-vehicle-adoption-in-the-truck-industry>

McKinsey (2018). *The European electric bus market is charging ahead, but will it develop?*. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/the-european-electric-bus-market-is-charging-ahead-but-how-will-it-develop>

PlugShare (2020). *Charging location*. Disponível em: <https://www.plugshare.com/>

POD (2019). *The business models available for commercial EV charging*. Disponível em: <https://pod-point.com/guides/business/ev-charging-business-models#:~:text=commercial%20EV%20charging%3F-Loss%20leader%20model,gained%20through%20existing%20business%20activities>

STIER2030 (2019). *Panorama do estado atual da difusão de veículos elétricos no brasil*. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/335492321\\_PANORAMA\\_DO\\_ESTADO\\_ATUAL\\_DA\\_DIFUSAO\\_DE\\_VEICULOS\\_ELETRICOS\\_NO\\_BRASIL](https://www.researchgate.net/publication/335492321_PANORAMA_DO_ESTADO_ATUAL_DA_DIFUSAO_DE_VEICULOS_ELETRICOS_NO_BRASIL)

Tesla (2020). *On the Road*. Disponível em: <https://www.tesla.com/supercharger?redirect=no>

Tesla (2020). *Solar for Existing Roofs*. Disponível em: <https://www.tesla.com/solarpanels>

AENOR (2009). IEC TC (Parte 1, 21, 22, 23, 24).

Comunidade Autônoma de Madri (2011). *Guia do VE. Fundação da Energia da Comunidade Autônoma de Madri*.

Pistoia, G. (2007). *Battery Operated Devices and Systems: From Portable Electronics to Industrial Products*.

Schneider Electric (2019). *EVlink soluções de recarga para veículos elétricos*.

AENOR (199). *UNE 21301:1991 (CEI 38:1983 modificada)*.

IDAE (2010). *Estratégia integral para o Impulso do veículo elétrico na Espanha*.

García, J. (2006). *Transancos. Instalações Elétricas de Média e Baixa tensão*, Ed. Paraninfo.

Iniciativa de Veículos Elétricos (2013). *Perspectivas globais de EV. Compreender a paisagem do veículo elétrico até 2020*.

Ernst&Young. (2011). *Além da tomada: encontrar valor no ecossistema emergente de carregamento de veículos elétricos*.

Frost&Sullivan. (2014). *Perspectivas Estratégicas do Mercado Mundial de Veículos Elétricos em 2014*.

Green eMotion. (2012). *Análise de negócio entregável 3.1. Versão 1.5. Comissão Europeia, 7o Programa Quadro*.

McKinsey & Company. (2014). *Veículos elétricos na Europa: preparando-se para uma nova fase*.

Weiller, C., & Neely, A. (2013). *Desenho de modelo de negócio num contexto ecossistêmico*. Cambridge Service Alliance.

Electromaps (2021). Mapa de eletroposto. Disponível em: <https://www.electromaps.com/mapa>

CEMAC (2019). *Supply chain of raw materials used in the manufacturing of light-duty vehicle lithium-ion batteries*.

European Commission (2018). *Report on Raw Materials for Battery Applications*. EUROPEAN COMMISSION Brussels, 22.11.2018 SWD (2018) 245/2 final.

ABC (2020). “Estaciones eléctricas del PTI están habilitadas en cuatro localidades”. Disponível em: <https://www.abc.com.py/nacionales/2020/10/19/estaciones-electricas-del-pti-estan-habilitadas-en-cuatro-localidades/#>

EDP (2020). “EDP, Audi, Porsche e VW inauguram primeiro eletroposto da maior rede de recarga ultrarrápida de veículos elétricos da América do Sul”. Disponível em: <https://brasil.edp.com/pt-br/edp-audi-porsche-e-vw-inauguram-primeiro-eletroposto-da-maior-rede-de-recarga-ultrarrapida-de>

COPEL (2021). “Eletrovia da Copel dobra número de recargas em 2020”. Disponível em: <https://www.copel.com/hpcweb/eletrovia-da-copel-dobra-numero-de-recargas-em-2020/>

Smart Energy (2020). “Uruguay’s state utility advances emobility”. Disponível em: <https://www.smart-energy.com/industry-sectors/electric-vehicles/uruguays-state-utility-advances-emobility/>

Enel X (2020). “Enel X Viabiliza Mobilidade Elétrica na Rodovia Pan-Americana”. Disponível em: <https://www.enelx.com/br/pt/conteudos/historias/enel-x-viabiliza-mobilidade-eletrica-na-rodovia-pan-americana>

BKK (2021). “Fast charging along the road”. Disponível em: <https://energi.bkk.no/produkt detaljer?productId=0bbe3253-17a5-48f7-89e3-43419ce7ba31&tab=1>

BKK (2021). “FAQ”. Disponível em: <https://bilkraft.no/faq/en.html>

Ionity (2021). “Where & How”. Disponível em: <https://ionity.eu/en/where-and-how.html>

EVgo (2021). “The Nation’s Largest Public Fast Charging Network”. Disponível em: <https://www.evgo.com/>

ChargePoint (2021). “The Electric Revolution Is Here”. Disponível em: <https://www.chargepoint.com/>

Blink (2021). “Leading the EV Industry Since 2009”. Disponível em: <https://blinkcharging.com/drivers/ev-drivers/>

Electrify America (2021). “The largest public fast charging network in the U.S.”. Disponível em: <https://www.electrifyamerica.com/>

Acceo (2021). “A semi-integrated emv payment solution”. Disponível em: <https://tender-retail.com/>

## 11. ÍNDICES REMESSIVOS

### 11.1. Índice de Figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Crescimento das vendas por regiões e países. Fonte: Global EV Outlook 2019, IEA (2019). ....   | 5  |
| Figura 2. Metas políticas para transição para eletromobilidade em países do mundo. Fonte: ICCT (2020)...   | 7  |
| Figura 3. Previsões de crescimento das frota de veículos elétricos no mundo. Fonte: Elaboração própria a partir de dados de previsão de BloombergNEF (2020), IEA (2019), GlobalData (2018) and Exxomobile (2019). .... | 8  |
| Figura 4. Previsões de crescimento em valores absolutos das frota de veículos elétricos no mundo. Fonte: Elaboração própria a partir de dados das diferentes fontes. ....  | 9  |
| Figura 5. Mapa conceitual do modelo de integração. Fonte: Elaboração própria. ....   | 12 |
| Figura 6. Projeção das Vendas de Gasolina Equivalente nos Estados do Sul. Fonte: Elaboração própria.....   | 13 |
| Figura 7. Projeção das Vendas de Óleo Diesel nos Estados do Sul. Fonte: Elaboração própria. ....   | 14 |
| Figura 8. Evolução da participação da venda e da frota, por cenário nos Estados do Sul. Fonte: Elaboração própria. ....  | 16 |
| Figura 9. Consumo elétrico por tipologia de veículo. Fonte: Elaboração própria. ....   | 18 |
| Figura 10. Demanda de gasolina eq. por microrregião em 2040. Fonte: Elaboração própria.....  | 19 |
| Figura 11. Domicílios com capacidade para adquirir e manter um automóvel elétrico no 2020 (esquerda) e no 2040 no cenário Alta Adoção (direita). Fonte: Elaboração própria.....  | 20 |
| Figura 12. Espacialização do consumo elétrico veicular na Região Sul no ano 2040 por microrregiões para o cenário (Alta Adoção). Fonte: Elaboração própria. ....   | 21 |
| Figura 13: Segmentos do setor elétrico. Fonte: Elaboração própria. ....  | 22 |
| Figura 14. Participação percentual dos tipos de centrais na capacidade de geração de energia no Brasil – situação em Janeiro de 2020. Fonte: Adaptado de (ANEEL, 2020).....  | 23 |
| Figura 15. Estruturação do setor elétrico. Fonte: Elaboração própria. ....   | 23 |
| Figura 16. Participação horária por estabelecimento - referência. Fonte: Elaboração própria a partir de Nicholas,M., Hall,D., Lutsey,N (2019) ....   | 26 |
| Figura 17. Projeções da participação horária por estabelecimento. Fonte: Elaboração própria ....   | 27 |
| Figura 18. Distribuição horária do volume de automóveis nas rodovias da Região Sul. Fonte: Elaboração própria ....   | 27 |
| Figura 19. Volume simulado de viagens de automóveis nas rodovias – ano 2030. Fonte: Elaboração própria. ....   | 28 |
| Figura 20. Volume simulado de viagens de automóveis nas rodovias – ano 2040. Fonte: Elaboração própria. ....   | 28 |
| Figura 21. Participação percentual do consumo urbano de energia elétrica veicular. Fonte: Elaboração própria. ....   | 29 |



|  |    |
|--|----|
| Figura 22. Distribuição horaria de consumo elétrico (em GWh). Fonte: Elaboração própria. ....  | 29 |
| Figura 23. Sistema Interligado Nacional. Fonte: ONS (2018).....  | 31 |
| Figura 24. Alimentador típico na rede MT. Fonte: Elaboração própria. ....  | 32 |
| Figura 25. Diagrama unifilar simplificado da rede de distribuição. Fonte: Elaboração própria. ....   | 32 |
| Figura 26. Cálculo dos custos incrementais médios. Fonte: Elaboração própria. ....   | 34 |
| Figura 27. Método LQO. Fonte: Elaboração própria.....  | 36 |
| Figura 28. Identificação das Curvas Características. Fonte: Elaboração própria. ....   | 39 |
| Figura 29. Curvas Características que compõem os clusters. Fonte: Elaboração própria. ....   | 39 |
| Figura 30. Tipologias representando os clusters. Fonte: Elaboração própria. ....   | 40 |
| Figura 31. Construção da Tipologia. Fonte: Elaboração própria.....   | 41 |
| Figura 32. Curva típica de carregamento urbano. Fonte: Elaboração própria. ....  | 42 |
| Figura 33. Alimentador característico residencial. Fonte: Elaboração própria. ....   | 43 |
| Figura 34. Curva típica de carregamento rodoviário. Fonte: Elaboração própria .....  | 44 |
| Figura 35. Curva típica de alimentador com concentração de carga comercial. Fonte: Elaboração própria.....   | 44 |
| Figura 36. Carregadores domésticos. Fonte: Mobielectric, 2019.....   | 48 |
| Figura 37. Domicílio com sistema integrado de painéis solares, baterias e veículo elétrico Tesla. Fonte: Tesla (2020).....   | 48 |
| Figura 38. Vaga para VE instalada em 2019 no Shopping Estação (Curitiba). Fonte: BEM Paraná (2020) ....  | 51 |
| Figura 39. Período de Retorno do Investimento (PRI) para diferentes tipos de veículos e diferentes intensidades de uso. Fonte: Elaboração própria. ....  | 54 |
| Figura 40. Análise de sensibilidade sobre o custo de aquisição do veículo elétrico. Fonte: Elaboração própria. ....  | 55 |
| Figura 41. Período de Retorno do Investimento (PRI) para diferentes demandas de clientes e preços de venda da energia, para o cenário atual (esquerda) e um cenário futuro (direita). Fonte: Elaboração própria..... | 56 |
| Figura 42. Rede Eletropostos CCS/SAE, CHAdeMO, J-1772 da Região Sul do Brasil e países vizinhos. Fonte: Plugshare (2021). ....   | 67 |
| Figura 43. Rede Eletropostos TESLA, TESLA Roadster, Type2 da Região Sul do Brasil e países vizinhos. Fonte: Plugshare (2021). ....   | 68 |
| Figura 44. Distribuição das vendas por tipo de conectores. Fonte: CHAdeMO.....   | 70 |
| Figura 45. Distribuição estações de recarga em todo o mundo. Fonte: Electromaps 2021.....  | 70 |
| Figura 46. Concentração por mercados. Fonte: markets.businessinsider.com.....  | 71 |
| Figura 47. Adaptador GB/T a CHAdeMO. Fonte: CHAdeMO (www.chademo.com).....   | 72 |
| Figura 48. Adaptador TESLA a CHAdeMO. Fonte: TESLA (shop.tesla.com) .....  | 72 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 49. Estação de carga rápida CCS Combo 2, CHAdeMO, AC. Fonte 50kW. Fonte: Ekoenergetyka-Polska S.A. ....  | 72 |
| Figura 50. Especificações do carregador EV Axon Pay FX 50 e FX100. Fonte: Ekoenergetyka-Polska S.A.....   | 73 |
| Figura 51. Proposta de estação Electrolinera EKO-EN. Fonte: EKO Energetyka .....  | 74 |
| Figura 52. Traçado da Eletrovia Paranaense. Fonte: COPEL, 2018. ....  | 77 |
| Figura 53. Eletropostos implantados no corredor elétrico de Santa Catarina por CELESC na primeira fase (esquerda) e os previstos na segunda fase (direita). Fonte: CELESC, 2019. .... | 78 |
| Figura 54. Traçado do corredor elétrico de Rio Grande do Sul e pontos de recarga previstos. Fonte: CEEE, 2020. ....   | 79 |
| Figura 55. Rede de Eletropostos (pontos verdes) na Região Sul do Brasil e países vizinhos. Fonte: Electromaps (2020) .....  | 79 |
| Figura 56. Espacialização do consumo elétrico veicular na Região Sul no ano 2040 por microrregiões para o cenário (Alta Adoção). Fonte: Elaboração própria. ....                      | 80 |
| Figura 57. Proposta de corredores rodoviários elétricos na Região Sul do Brasil a curto (esquerda), médio (centro) e longo (direita) prazo. Fonte: Elaboração própria.....            | 81 |
| Figura 58. Exemplo de carregamento de tráfego e locais das janelas de oportunidade. Fonte: Elaboração própria. ....   | 82 |
| Figura 59. Carregamento de tráfego (Vermelho) e locais das janelas de oportunidade (laranja). Fonte: Elaboração própria.....  | 82 |
| Figura 60. Proposta de localização de eletropostos. Fonte: Elaboração própria. ....   | 83 |
| Figura 61. Programa de investimentos para desenvolvimento de rede regional de suporte à eletromobilidade de longa distância. Fonte: Elaboração própria .....                          | 84 |

## 11.2. Índice de Tabelas

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1: Projeção do Consumo de combustíveis PR, RS e SC, 2019 a 2040. Fonte: Elaboração própria. ....   | 14 |
| Tabela 2: Consumo e distância percorrida dos veículos leves (automóveis e comerciais leves). Fonte: Elaboração própria.....   | 15 |
| Tabela 3: Hipóteses dos custos para veículos elétricos em cada cenário. Fonte: Elaboração própria.....  | 16 |
| Tabela 4: Participação da venda e da frota, por cenário, para os anos de 2030 e 2040. Fonte: Elaboração própria. ....   | 16 |
| Tabela 5: Distância percorrida dos veículos leves (automóveis e comerciais leves) transferidos para a tecnologia elétrica (em milhões veículos-quilômetro). Fonte: Elaboração própria. .... | 17 |
| Tabela 6: Consumo de energia elétrica (em GWh/ano) veicular por cenário. Fonte: Elaboração própria. ..  | 17 |
| Tabela 7: Consumo de energia elétrica (em GWh/ano) veicular por cenário. Fonte: Elaboração própria. ..  | 18 |
| Tabela 8. Fatia de mercado dos pontos de carga urbana. Fonte: Elaboração própria a partir de Nicholas,M., Hall,D., Lutsey,N (2019) .....  | 26 |
| Tabela 9: Influência da carga de VE no sistema elétrico. Fonte: Elaboração própria.....   | 30 |
| Tabela 10. Custos incrementais médios de longo prazo (valores calculados em 2014). Fonte: ANEEL, 2014. ....   | 37 |
| Tabela 11. Sistemas de cobrança na Região Sul, países vizinhos e outras regiões no mundo. Fonte: Elaboração própria a partir de diversas fontes.....  | 59 |
| Tabela 12. Matriz Agente-Impacto da penetração do veículo elétrico nos estados da Região Sul. Fonte: Elaboração própria.....  | 61 |
| Tabela 13. Tipologia de eletropostos atualmente em serviço e sua distribuição geográfica. Fonte: Elaboração própria. ....   | 69 |
| Tabela 14. ORÇAMENTO (elaborada pela EURECAT). Fonte: Elaboração própria (Eurecat). ....  | 75 |
| Tabela 15. Número de eletropostos propostos a curto, médio e longo prazo. Fonte: Elaboração própria. ....   | 83 |
| Tabela 16. Orçamento por região (elaborada pela EURECAT). Fonte: Elaboração própria (Eurecat). ....   | 84 |
| Tabela 17. Orçamento previsto no curto médio e longo prazo (elaborada pela EURECAT). Fonte: Elaboração própria (Eurecat).....   | 84 |