



Fundação de Apoio à
Universidade de São Paulo

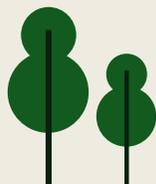


Secretaria de  **SÃO PAULO**
Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística GOVERNO DO ESTADO

WORKSHOP 4 PLANO ESTADUAL DE ENERGIA 2050

Race to Zero | Race to Resilience

Resultados Finais e Road Map do PEE 2050 RtZ



05 de Outubro de 2023



Fundação de Apoio à
Universidade de São Paulo



WORKSHOP 4 PLANO ESTADUAL DE ENERGIA 2050

Race to Zero | Race to Resilience

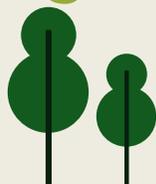
SETOR DE TRANSPORTES

Rafael Herrero Alonso

Ubiratan Francisco Castellano

David Tsai

Ingrid Graces



Secretaria de  **SÃO PAULO**
Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística GOVERNO DO ESTADO



05 de Outubro de 2023

AGENDA

1. CONTEXTO

2. METODOLOGIA, PREMISSAS E FONTES DE INFORMAÇÃO

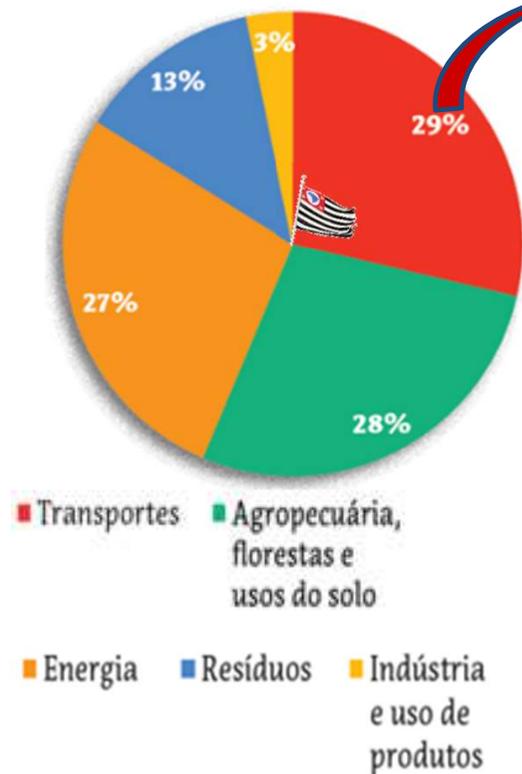
3. RESULTADOS

- **Projeção do perfil tecnológico da motorização**
 - **Modal Rodoviário**
 - **Modais ferroviário, hidroviário e aeroviário**
- **Projeção da demanda de energéticos do setor de transportes**
 - **Eletricidade no modal rodoviário – detalhes**

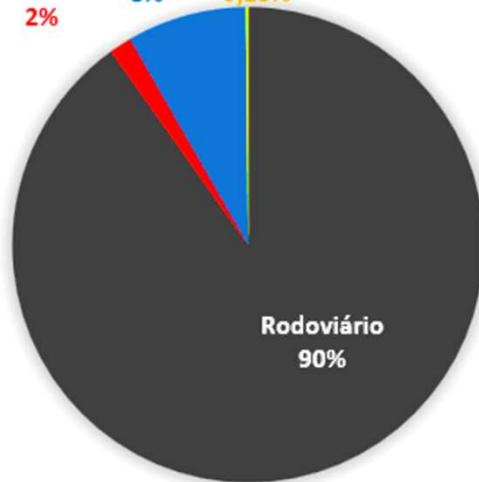
4. CONCLUSÕES

SITUAÇÃO DO SETOR DE TRANSPORTES DO ESTADO DE SP

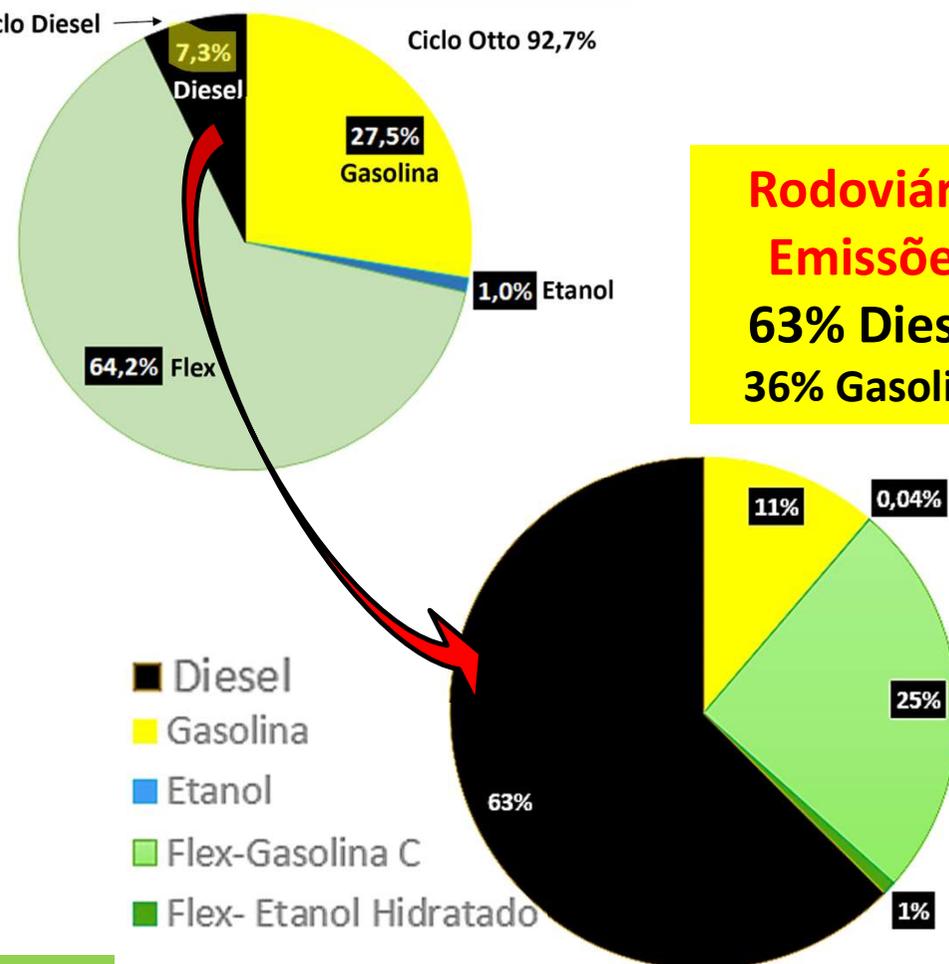
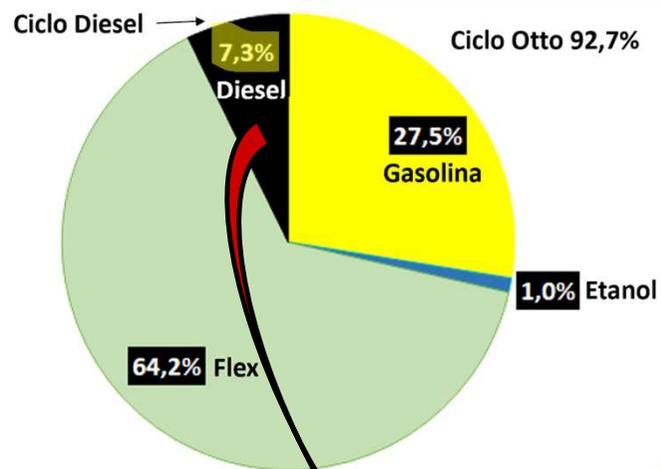
Emissões por setor no Estado de São Paulo



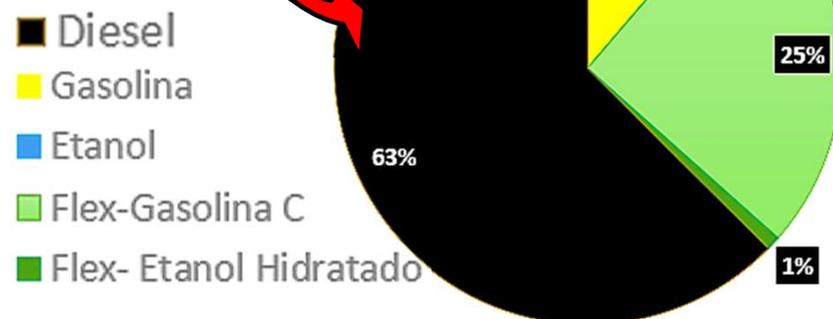
Consumo Energético Transportes



Motorização da frota Rodoviária



Rodoviário Emissões
63% Diesel
36% Gasolina



PREMISSAS: CATEGORIAS DO ESTUDO

Subcategorias CETESB

- ✓ Leves
- ✓ Semi-leves
- ✓ Médios
- ✓ Semipesados
- ✓ Pesados

Caminhões



Subcategorias CETESB

- ✓ Urbano
- ✓ Micro-ônibus
- ✓ Rodoviário

Ônibus



Subcategorias CETESB

- ✓ Comerciais leves

Comerciais
leves



- Motor a Combustão Interna
- Veículo Híbrido Elétrico
- Veículo Elétrico a Bateria
- Veículo Híbrido Elétrico Plugin
- Motor a Combustão Interna adaptado para Gás

Automóveis



- Motor a Combustão Interna
- Veículo Elétrico

Motocicleta



- Transporte de Carga
 - ✓ Diesel-Elétricas
 - ✓ Diesel-elétricas-baterias
 - ✓ Híbridas diesel-GN
- Transporte Passageiros
 - ✓ Elétricas Catenária
 - ✓ Hidrogênio

Ferrovário



- Motor a Combustão Interna - Diesel
- Hidrogênio
- Veículo Elétrico

Hidroviário



- Motor a Combustão Interna
 - ✓ QAV
 - ✓ Bio-qav, sintéticos
- Elétrico

Aéreo



ARCABOUÇO DE REFERÊNCIAS

Planos

Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050)

Plano Decenal de Energia 2031 (PDE 2030)

Plano de Ação Climática 2050 (PAC 2050)

Plano Paulista de Energia 2020 (PPE 2020)

Plano Integrado de Transportes Urbanos (PITU 2040)

Plano Diretor de Desenvolvimento de Transportes (PDDT)

Plano de Ação Climática do Município de São Paulo 2020-2050 (PLANCLIMA)

Programas

Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE)

Programa Rota 2030 de Mobilidade e Logística

Programa Mobilidade Elétrica e Propulsão Eficiente (PROMOB-e)

Comitê Gestor do Programa de Acompanhamento da Substituição de Frotas por Alternativas Mais Limpas (COMFROTA/SP)

Estudos nacionais e internacionais

IEA, DNV, BNEF, IRENA, McKinsey, BCG, CEPAL, A.T KEARNEY, DELLOITTE

MME, EPE, ANP

PNME, LEVE, GESEL, PSR, PWC, Alvarez & Marsal, FGV, CEBRI, IEMA, SEEG, WRI Brasil

SEMIL - Balanço Energético do Estado de São Paulo (BEESP 2022), ano base 2021

CETESB, MMA, SPTRANS, EMTU, ARSESP

Políticas

Política Estadual de Mudanças Climáticas (PEMC) - Lei Estadual nº 13.798/2009

Política Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC) - Lei 12.187, 29/12/2009

Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU) - Lei 12.587/2012:

Política Estadual de Mudanças Climáticas (PEMC2010): Seção - Plano de Transportes

Associações, Indústria e Mídia especializada

ABVE, ABIFER, ANFAVEA, ABILOGAS, NTU, UITP, ICCT, ITDP, FIESP, C40, CNI

Fabricantes/Montadoras de veículos leves e pesados

Indústria de O&G

Infraestrutura de recarga (MSP e CPO)



AGENDA



1. CONTEXTO

2. METODOLOGIA, PREMISSAS E FONTES DE INFORMAÇÃO

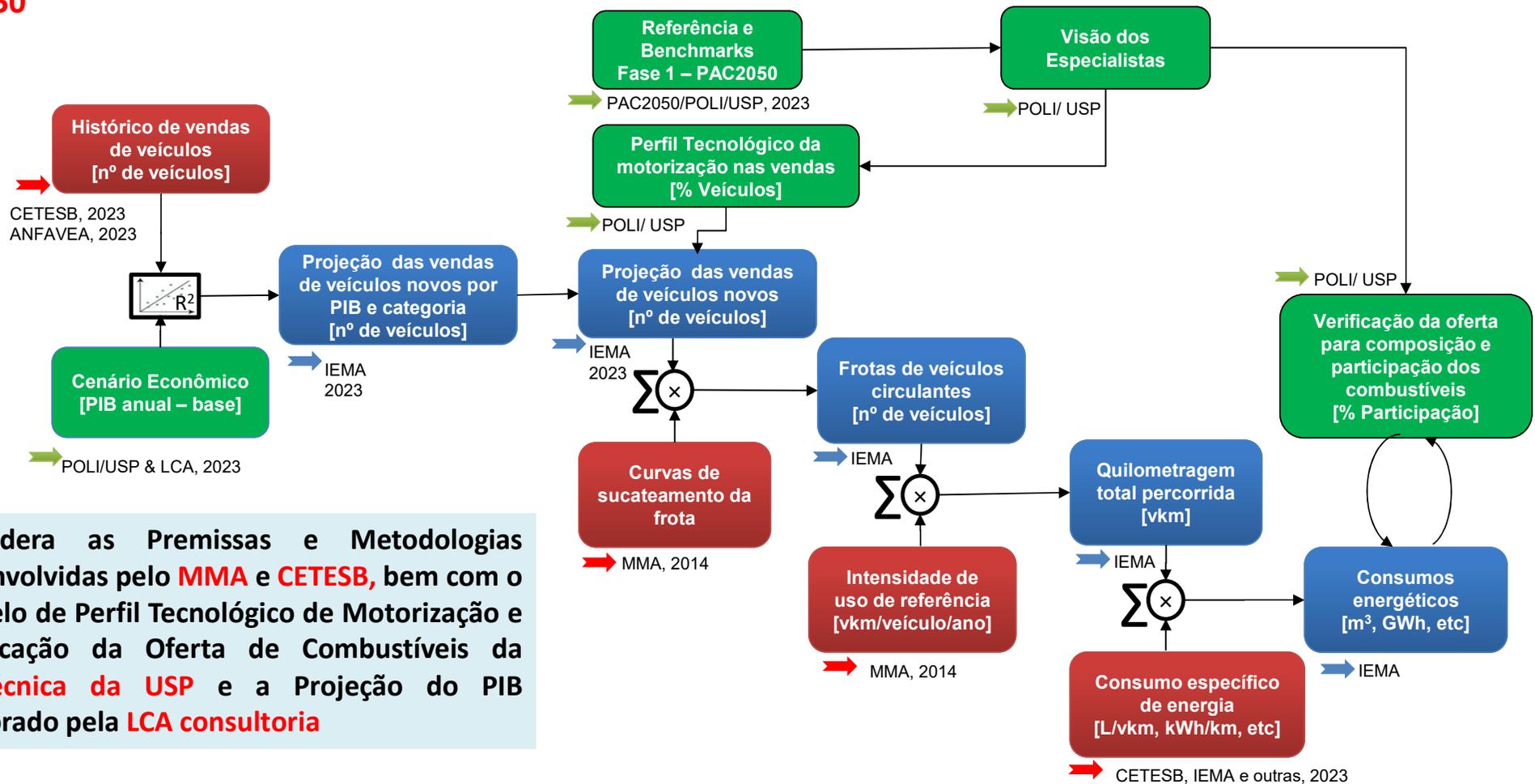
3. RESULTADOS

- **Projeção do perfil tecnológico da motorização**
 - **Modal Rodoviário**
 - **Modais ferroviário, hidroviário e aeroviário**
- **Projeção da demanda de energéticos do setor de transportes**
 - **Eletricidade no modal rodoviário – detalhes**

4. CONCLUSÕES

METODOLOGIA PEE 2050: MODAL RODOVIÁRIO

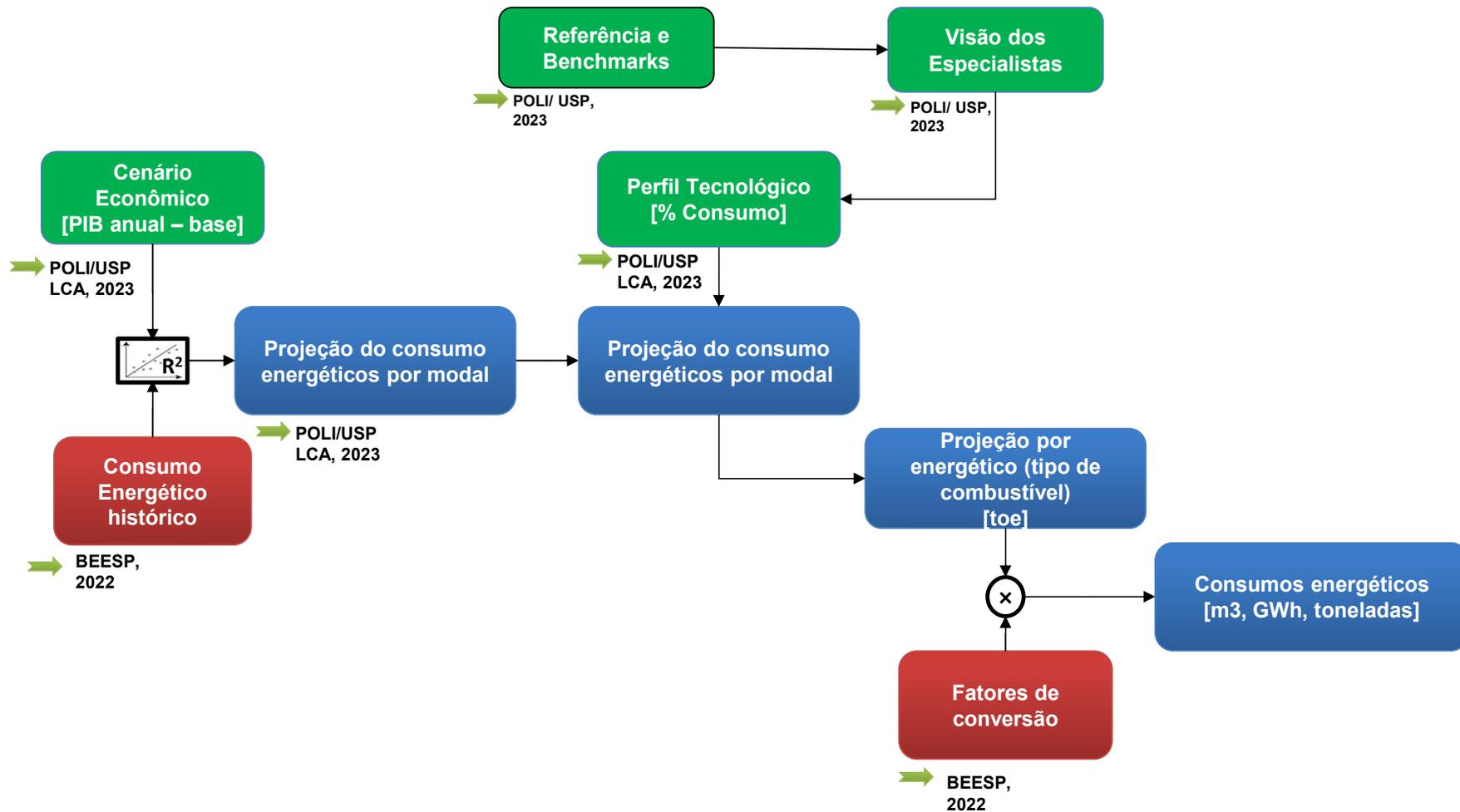
Modelo (*bottom-up*) do IEMA aplicado no Plano de Ação Climática (PAC2050), foi expandido para utilização no PEE2050



Considera as Premissas e Metodologias desenvolvidas pelo MMA e CETESB, bem com o modelo de Perfil Tecnológico de Motorização e Verificação da Oferta de Combustíveis da Politécnica da USP e a Projeção do PIB elaborado pela LCA consultoria

METODOLOGIA PEE 2050: MODAL FERROVIÁRIO, HIDROVIÁRIO E AÉREO

Modelo (*Top-down*) desenvolvido pela **Politécnica da USP** e **IEMA**, considera cenarização do **PAC2050**



AGENDA

1. CONTEXTO

2. METODOLOGIA, PREMISSAS E FONTES DE INFORMAÇÃO

3. RESULTADOS

➤ **Projeção do perfil tecnológico da motorização**

- **Modal Rodoviário**
- **Modais ferroviário, hidroviário e aeroviário**

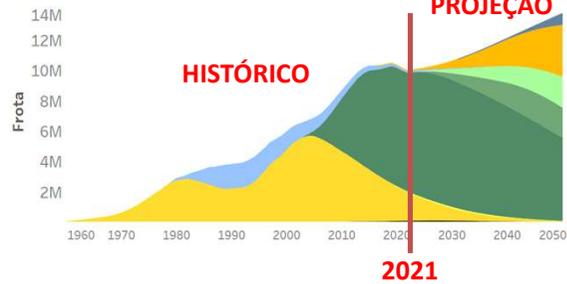
➤ **Projeção da demanda de energéticos do setor de transportes**

- **Eletricidade no modal rodoviário – detalhes**

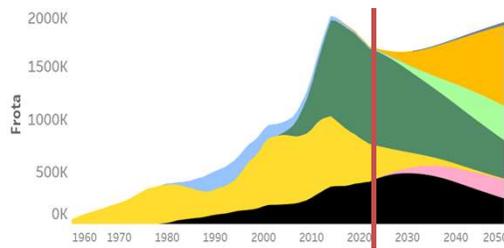
4. CONCLUSÕES

PROJEÇÃO DAS FROTAS DE VEÍCULOS

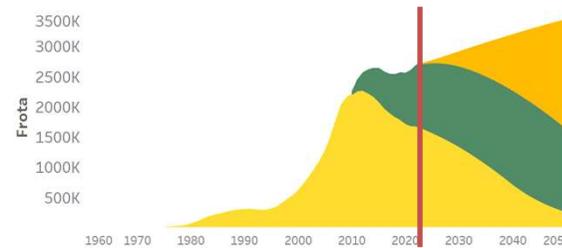
Automóveis



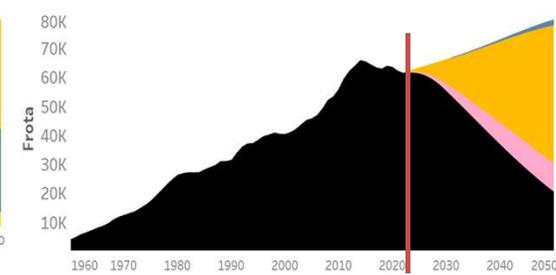
Comerciais Leves



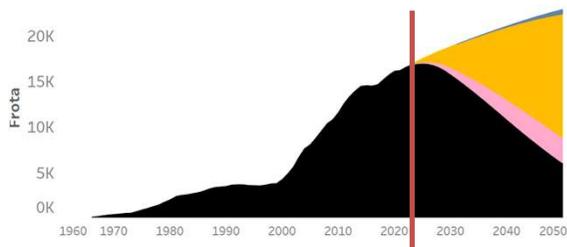
Motocicletas



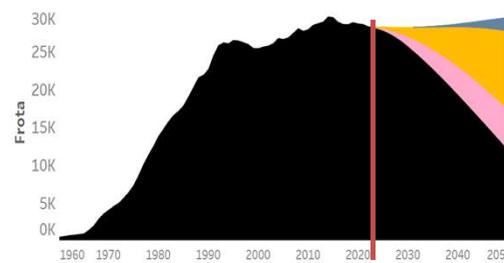
Ônibus Urbanos



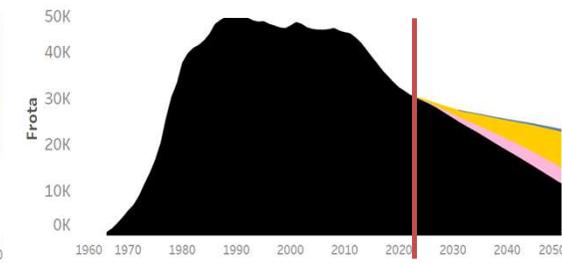
Micro-ônibus



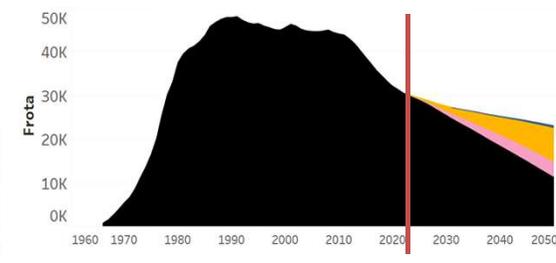
Ônibus-rodoviário



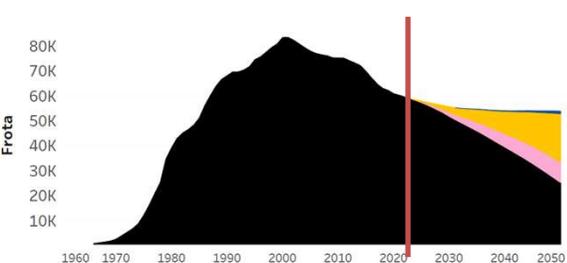
Caminhões semi-leves



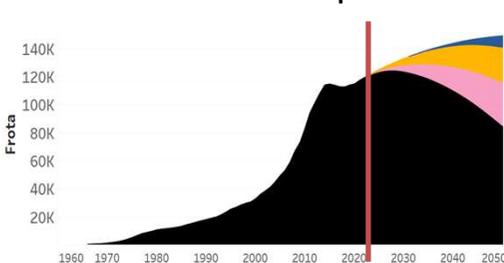
Caminhões leves



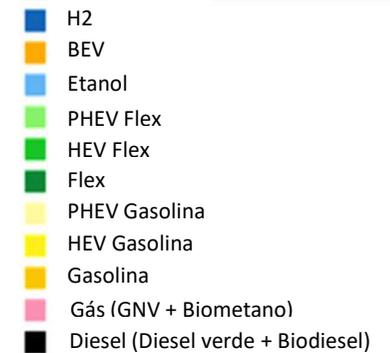
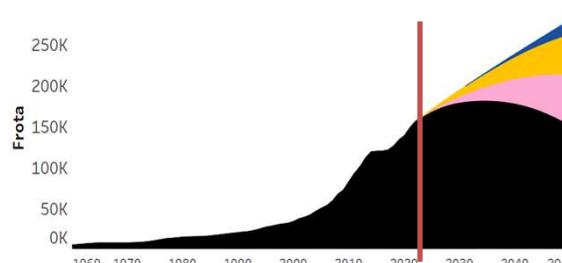
Caminhões médios



Caminhões semipesados

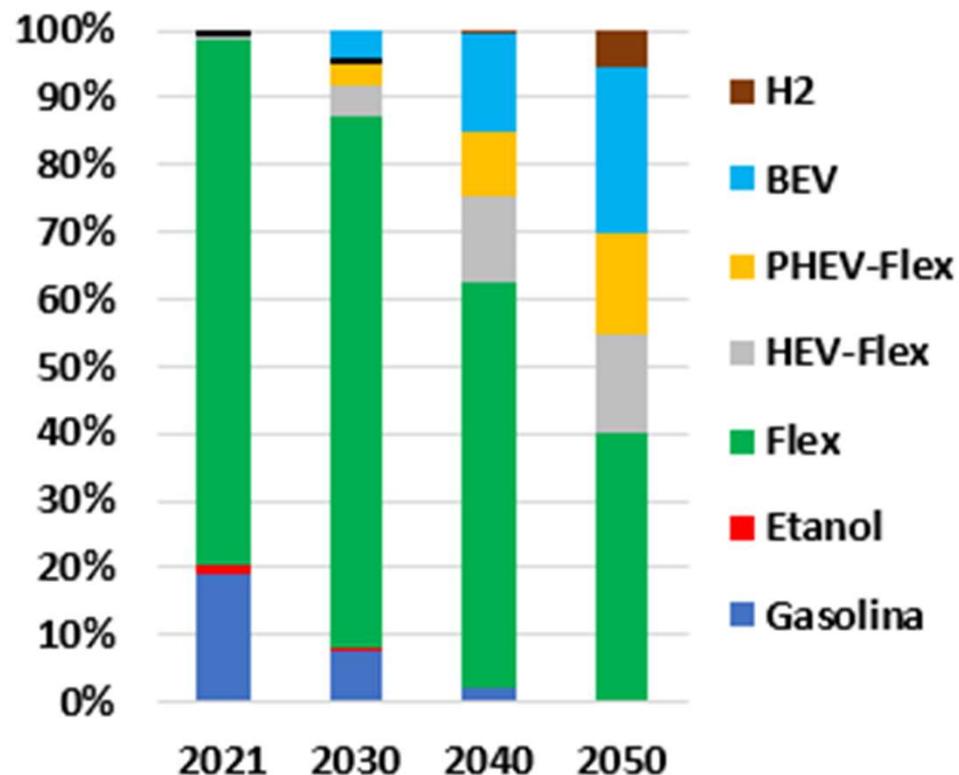


Caminhões pesados



Trajetória da frota por tecnologia

AUTOMÓVEIS DE PASSEIO

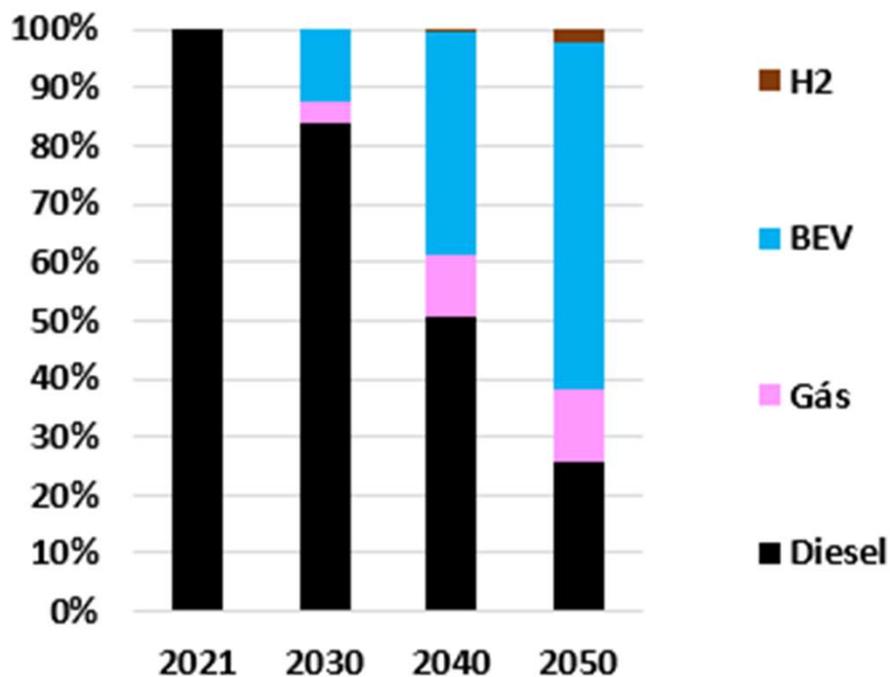


- Projeta-se um **aumento da frota de automóveis de passageiro**, que hoje supera os 10 milhões de veículos, para 13,7 milhões no cenário de 2050
- Estima-se uma trajetória de **redução da participação dos veículos ciclo Otto flex (gasolina e etanol hidratado)** de 78,5% (8 milhões) em 2022 para 40% (5,4 milhões) em 2050.
- **Aumento da parcela dos automóveis BEV, HEV-flex e PHEV-flex** na frota, chegando aos 7,4 milhões no horizonte até 2050.
- Penetração de **automóveis com motorização a hidrogênio** a partir de 2040.

PROJEÇÃO DAS FROTAS DE VEÍCULOS

Trajetória da frota por tecnologia

ÔNIBUS URBANO



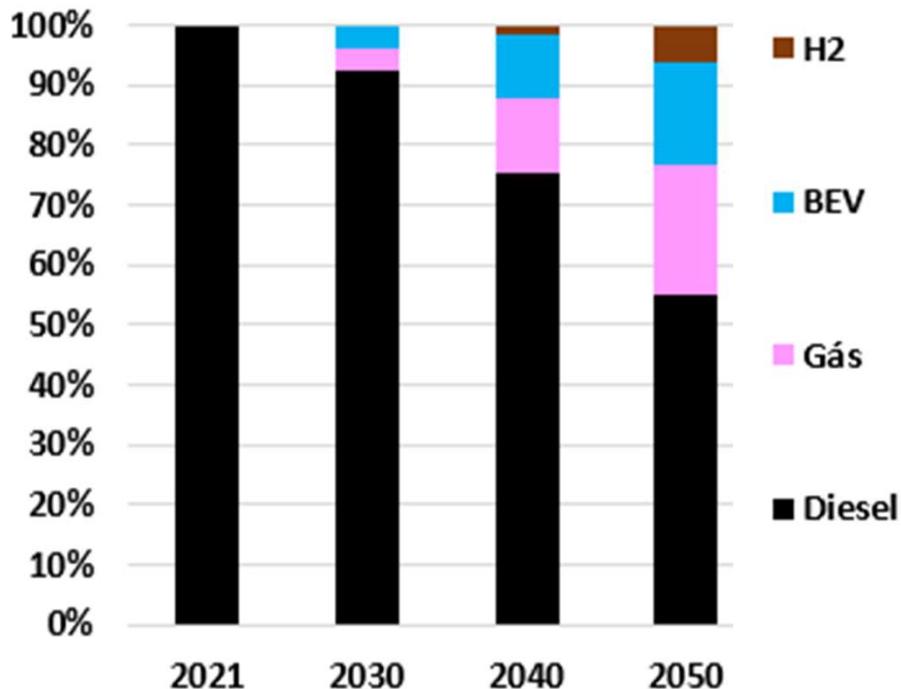
Apresenta um diferencial em relação às outras categorias, pois é ancorado pela aprovação da Lei nº 16.802 de 2018 (PrefeituraSP, 2018), que determina aos operadores de serviços de transporte do município de São Paulo, a redução gradual das emissões de poluentes atmosféricos e climáticos da frota de 14 mil ônibus da capital (ICCT, 2022)

- Projeta-se **uma redução expressiva da participação do diesel na frota de ônibus urbanos**, passando de 99% da frota em 2022 para 26% (27 mil unidades) em 2050.
- Para essa frota remanescente por ciclo diesel, **o cenário de mitigação prevê o aumento da participação do biodiesel e diesel verde (HVO) na mistura do combustível**, reduzindo para 40% a parcela do diesel fóssil.
- **Aumento da frota de ônibus urbanos movida a gás (GNV, preferencialmente biometano)**, atingindo 3 mil veículos (4% da frota) em 2030, 10 mil (10%) em 2040 e 12 mil unidades (12%) em 2050.
- **Trajetória de crescente participação de ônibus urbanos elétricos**, alcançando 12,3% da frota (10 mil unidades) em 2030, 38% (28 mil) em 2040 e 60% (48 mil veículos) em 2050.
- **Entrada dos ônibus a hidrogênio a partir de 2030**, com cerca de 0,6% da frota (500 unidades) em 2040 e 2,2% (2 mil veículos) em 2050.

Frota atual de 78 mil ônibus urbanos e micro ônibus movidos a diesel no Estado (CETESB, 2022)

Caminhões Estradeiros – Trajetória da frota por tecnologia

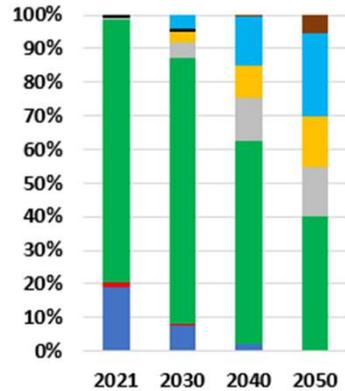
CAMINHÕES ESTRADAIROS



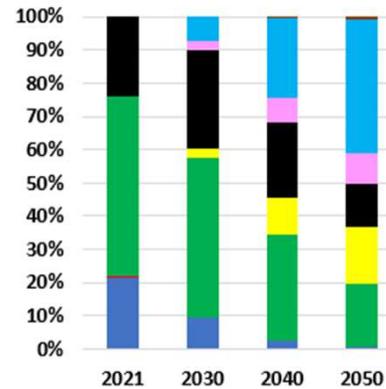
- Os caminhões estradeiros (pesados e semipesados), contabilizam uma frota de **274 mil veículos de longo curso circulantes dentro e fora do Estado de São Paulo, movida exclusivamente a diesel.**
- Projeta-se **um aumento de 56% da frota**, alcançando os 428 mil em 2050.
- O cenário de mitigação prevê 235 mil veículos (55%) operando com **biodiesel e diesel verde (HVO) na mistura do combustível no final do horizonte**
- Aumento da frota de caminhões estradeiros a gás (preferencialmente biometano)**, alcançando 94 mil (21,9%) em 2050.
- Entrada dos caminhões estradeiros elétricos** a partir de 2040, alcançando os 74 mil (17%) em 2050.
- Inserção de caminhões com motorização a hidrogênio** a partir de 2040, com 26 mil unidades (6,0% da frota) em 2050.

PROJEÇÃO DAS FROTAS DE VEÍCULOS

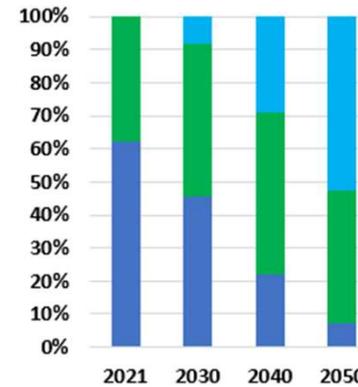
AUTOMÓVEIS DE PASSEIO



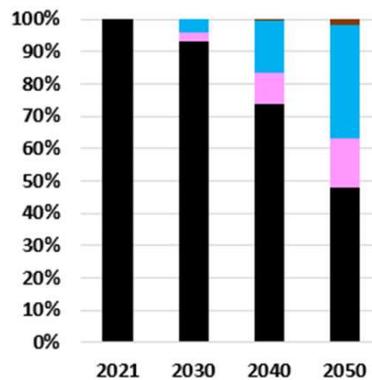
COMERCIAIS LEVES



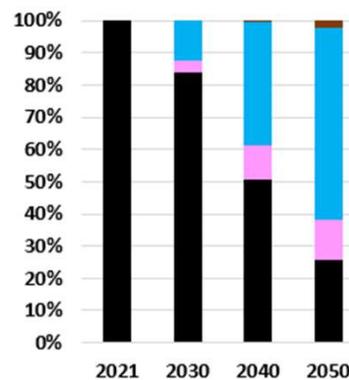
MOTOCICLETAS



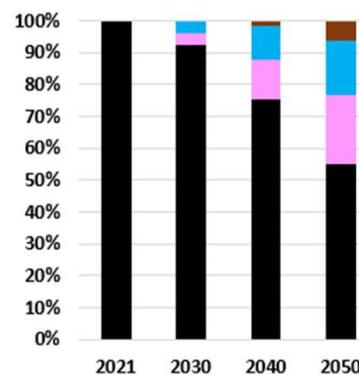
CAMINHÕES URBANOS



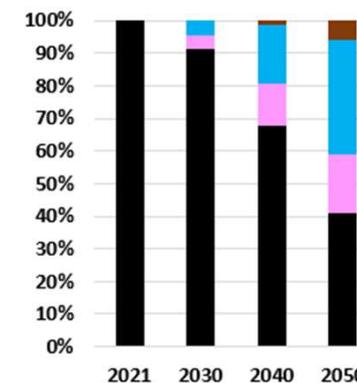
ÔNIBUS URBANO



CAMINHÕES ESTRADAIROS

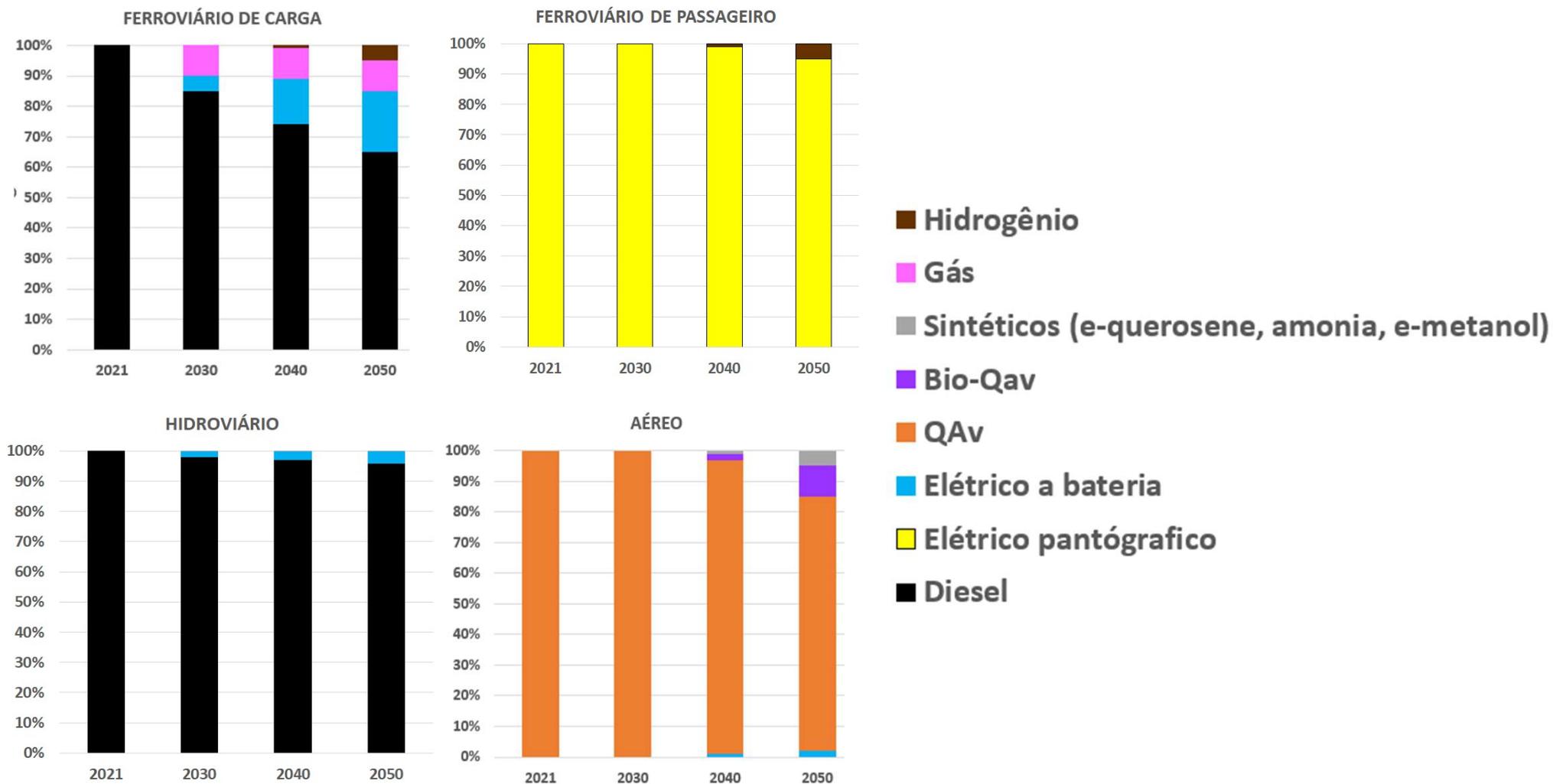


ÔNIBUS RODOVIÁRIO



■ Gasolina
 ■ Etanol
 ■ Flex
 ■ HEV-Flex
 ■ PHEV-Flex
 ■ Diesel
 ■ Gás
 ■ BEV
 ■ H2

PERFIL TECNOLÓGICO – FERROVIÁRIO / HIDROVIÁRIO / AEROVIÁRIO



AGENDA

1. CONTEXTO

2. METODOLOGIA, PREMISSAS E FONTES DE INFORMAÇÃO

3. RESULTADOS

➤ **Projeção do perfil tecnológico da motorização**

- **Modal Rodoviário**
- **Modais ferroviário, hidroviário e aeroviário**

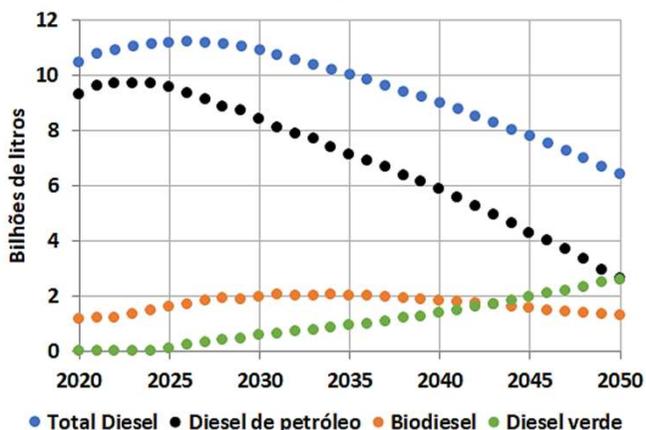
➤ **Projeção da demanda de energéticos do setor de transportes**

- **Eletricidade no modal rodoviário – detalhes**

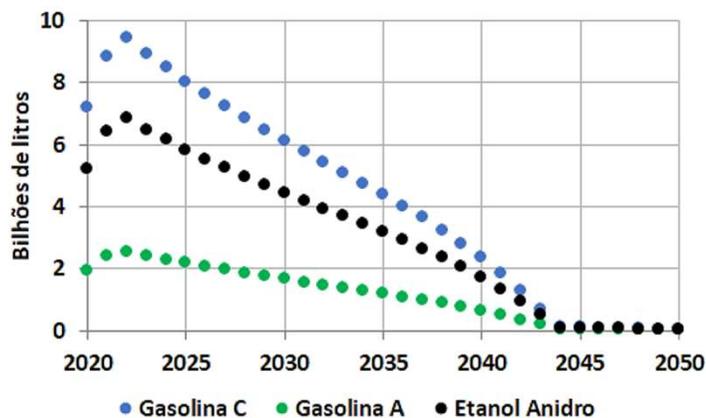
4. CONCLUSÕES

TRAJETORIA DA DEMANDA DE ENERGÉTICOS - MODAL RODOVIÁRIO

Diesel (mix)

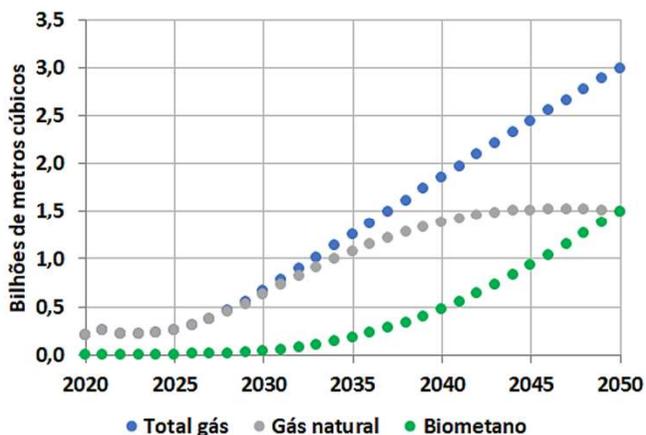


Gasolina C (72,5% de Gasolina A + 27,5% de etanol anidro)

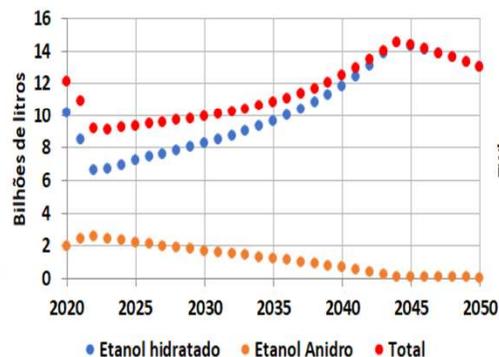


- **Redução de 41% da parcela de diesel de petróleo no mix do combustível em 2050** comparado com os valores de 2022 (20% Biodiesel, 40% Diesel verde, 40% fóssil)
- **Redução da Gasolina C no final do período de mais de 99%** em relação à demanda verificada em 2022.
- **Aumento da demanda de gás com total de 3 bilhões de m³ em 2050** (**penetração de 50% de biometano** e 50% de GN)
- **Aumento da penetração etanol hidratado**
- **Aumento do consumo de eletricidade de 1 TWh (2022) para 35 TWh (2050)**
- **Penetração do hidrogênio, com demanda chegando a 367 mil toneladas em 2050**

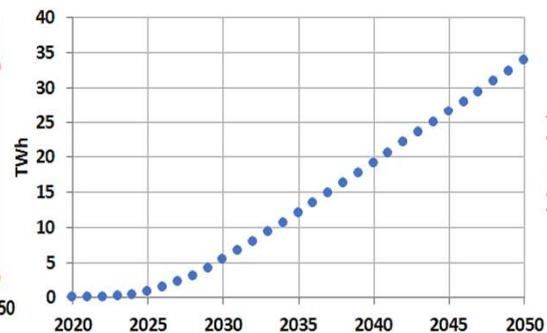
Gás veicular (mix)



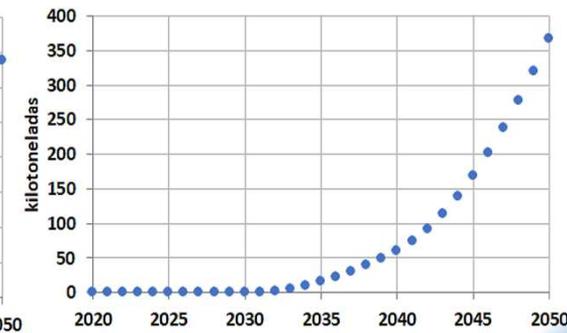
Etanol mix



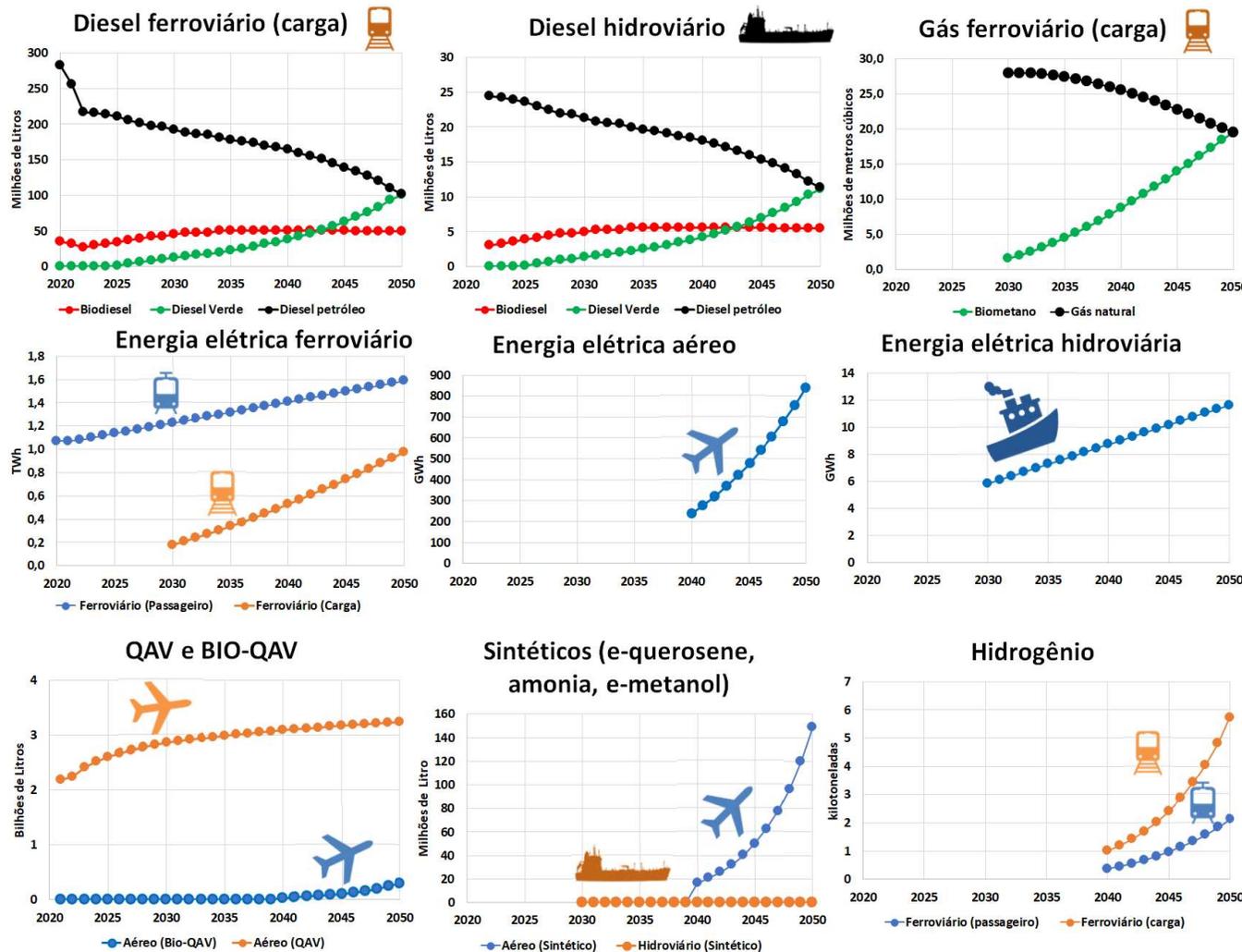
Energia elétrica



Hidrogênio

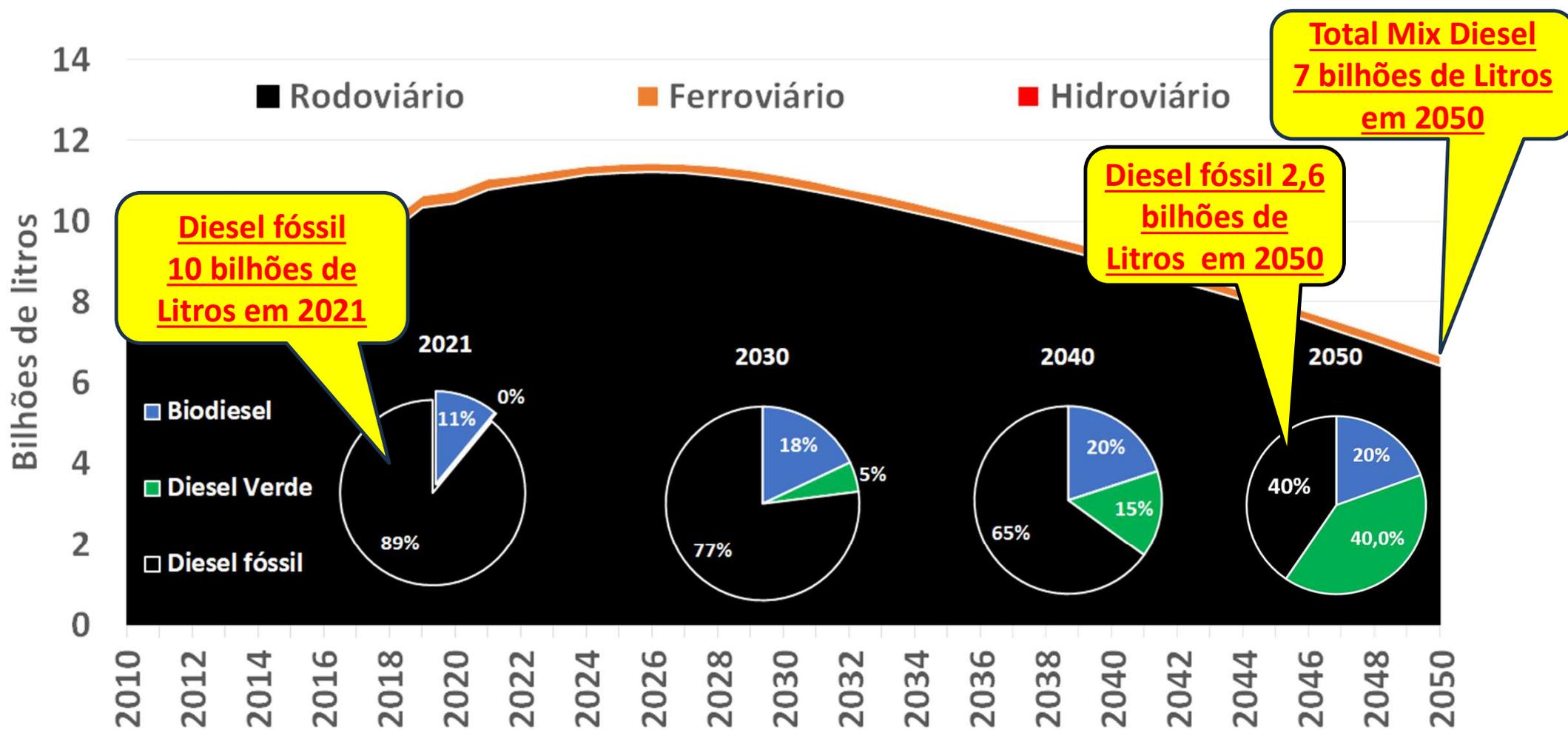


TRAJETORIA DA DEMANDA DE ENERGÉTICOS - MODAIS FERROVIÁRIO, HIDROVIÁRIO E AÉREO

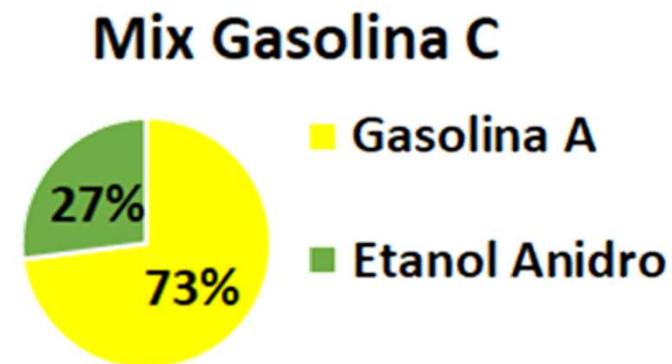
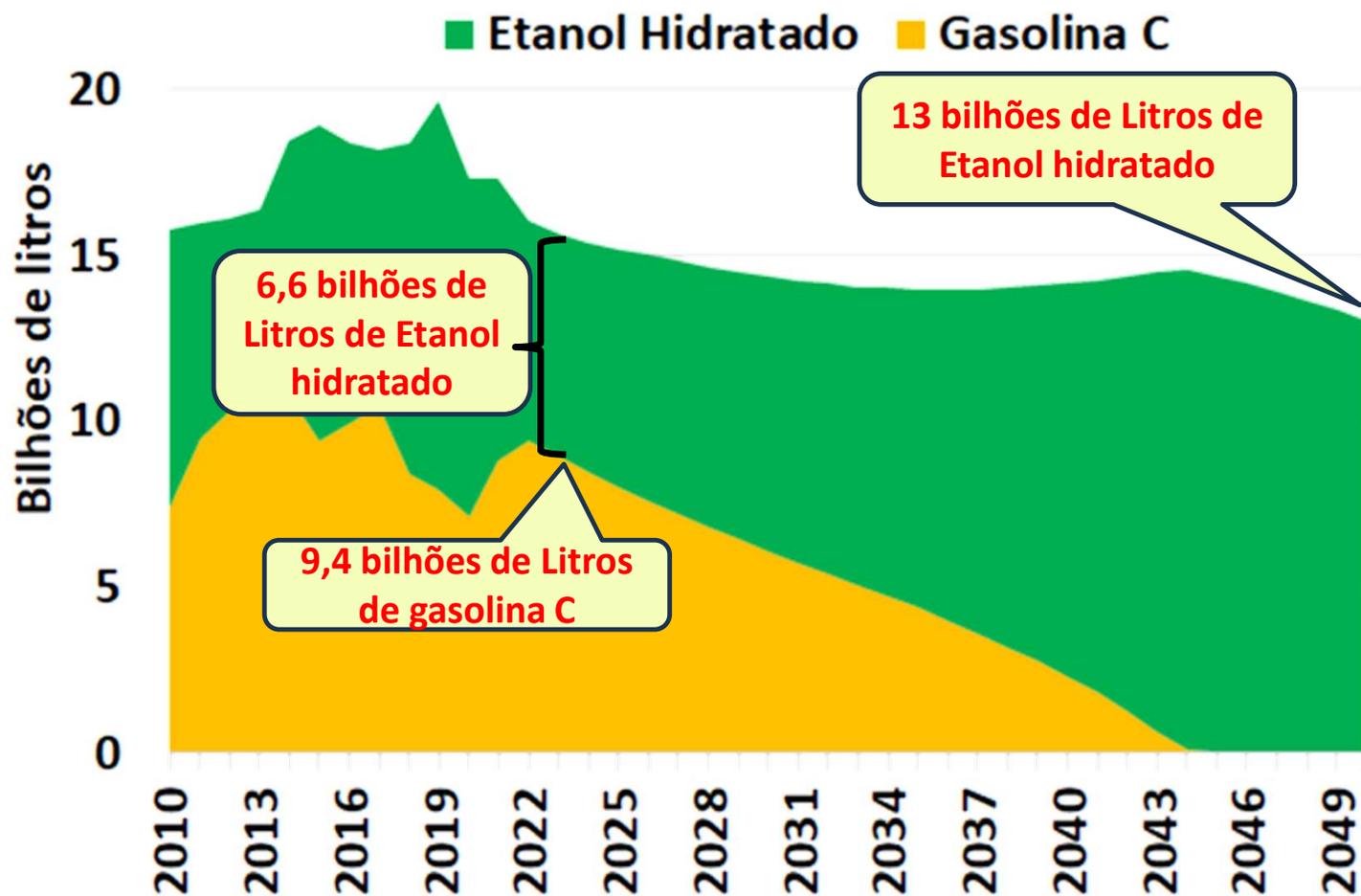


- Redução do diesel de petróleo no mix em 2050 para os modais ferroviário (carga) e hidroviário
- Penetração de biometano a partir de 2030 no modal ferroviário (carga)
- Aumento da demanda de eletricidade no ferroviário (carga e passageiro)
- Penetração posterior da eletricidade no hidroviário e aéreo
- Aumento da demanda de combustíveis sintéticos e bio-QAV para o modal aéreo - de 20 milhões de litros (2040) para 160 milhões de litros em 2050.
- Demanda crescente de hidrogênio para os modais ferroviário (carga e passageiro) a partir de 2040.

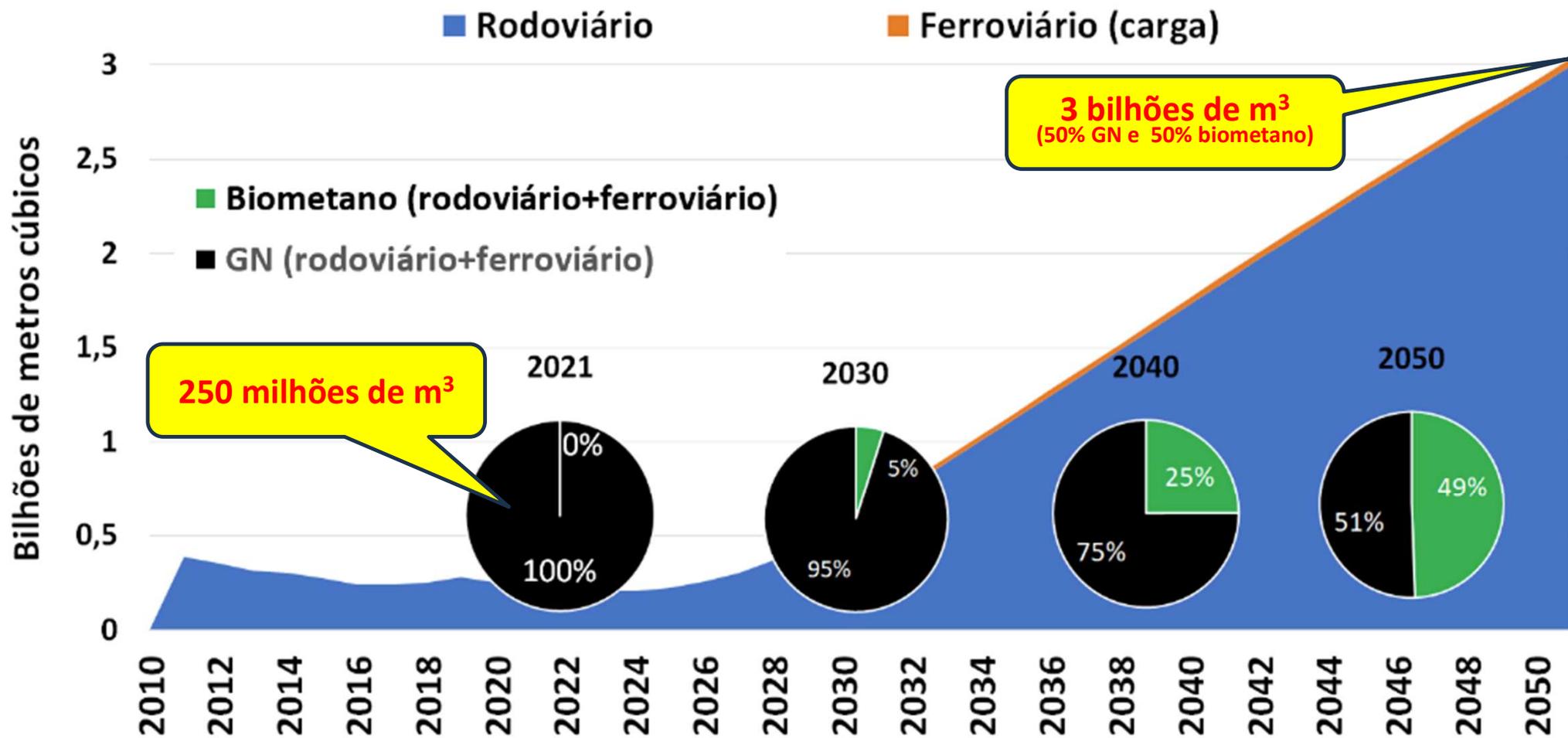
Demanda total de diesel Transportes



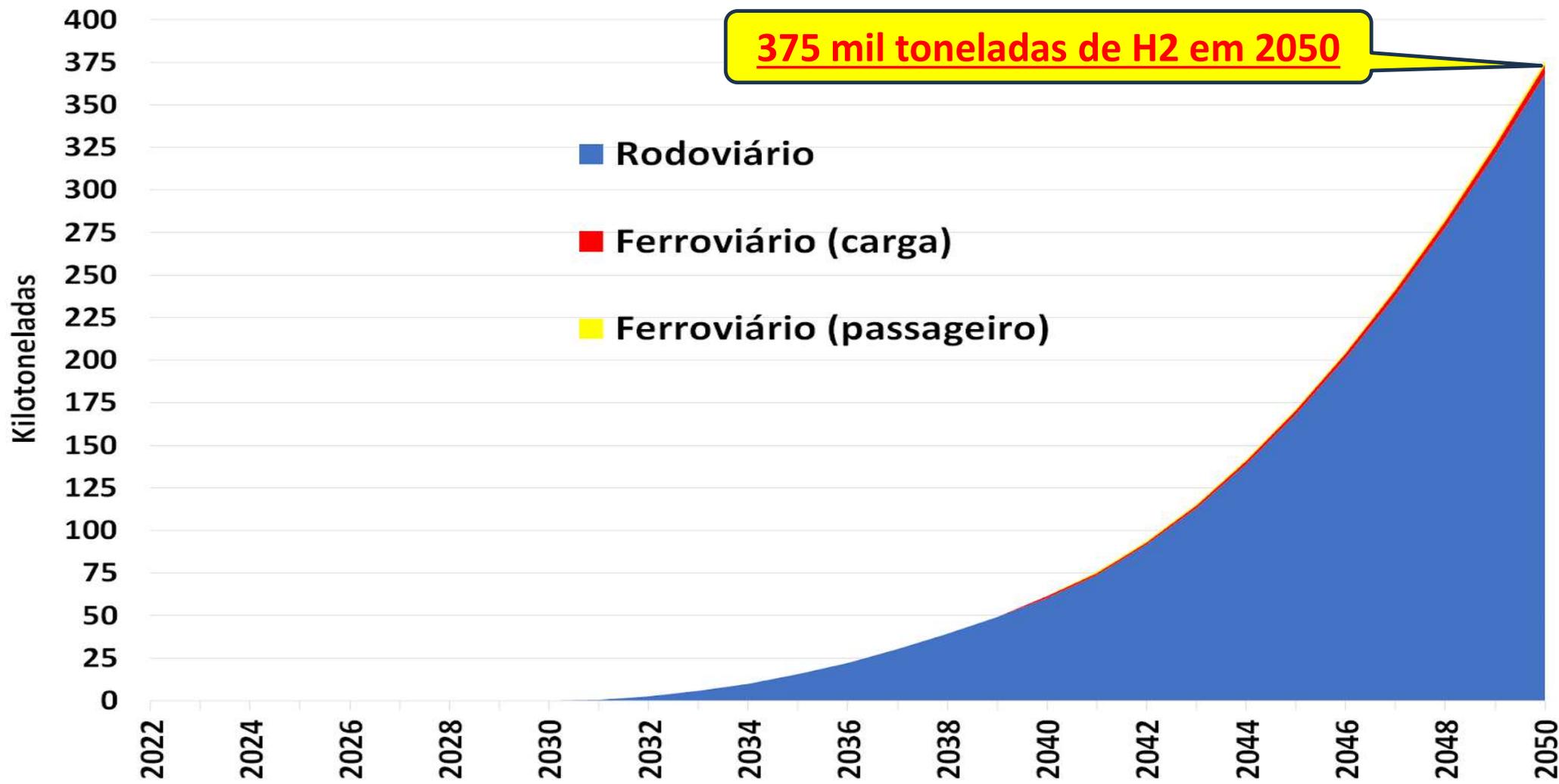
Demanda total de Gasolina C e Etanol hidratado Transportes



Demanda total de Gás Transportes



Demanda total de H2 Transportes



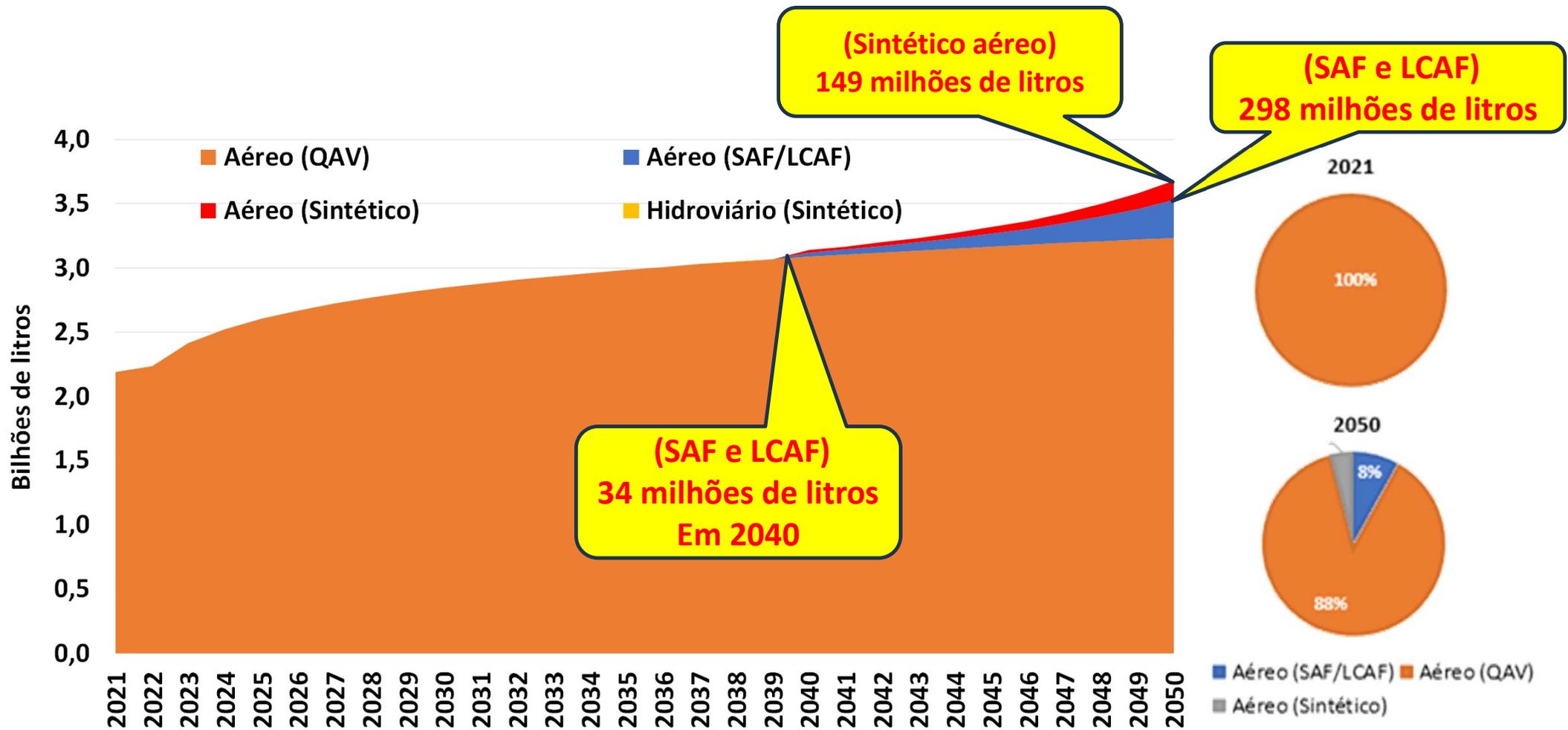
375 mil toneladas de H2 em 2050

Rodoviário

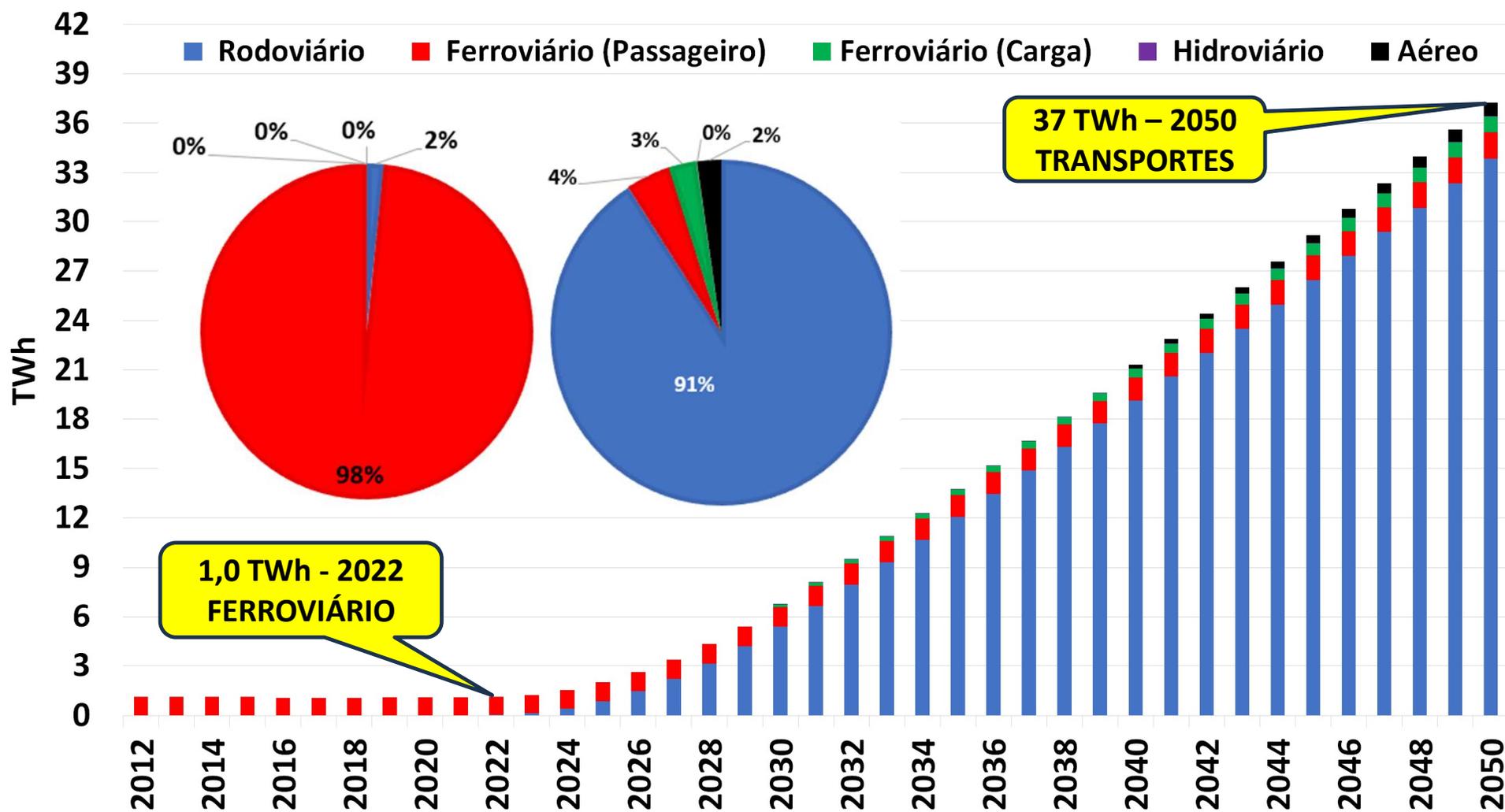
Ferroviário (carga)

Ferroviário (passageiro)

Demanda total de Bio-QAV e Sintéticos Transportes

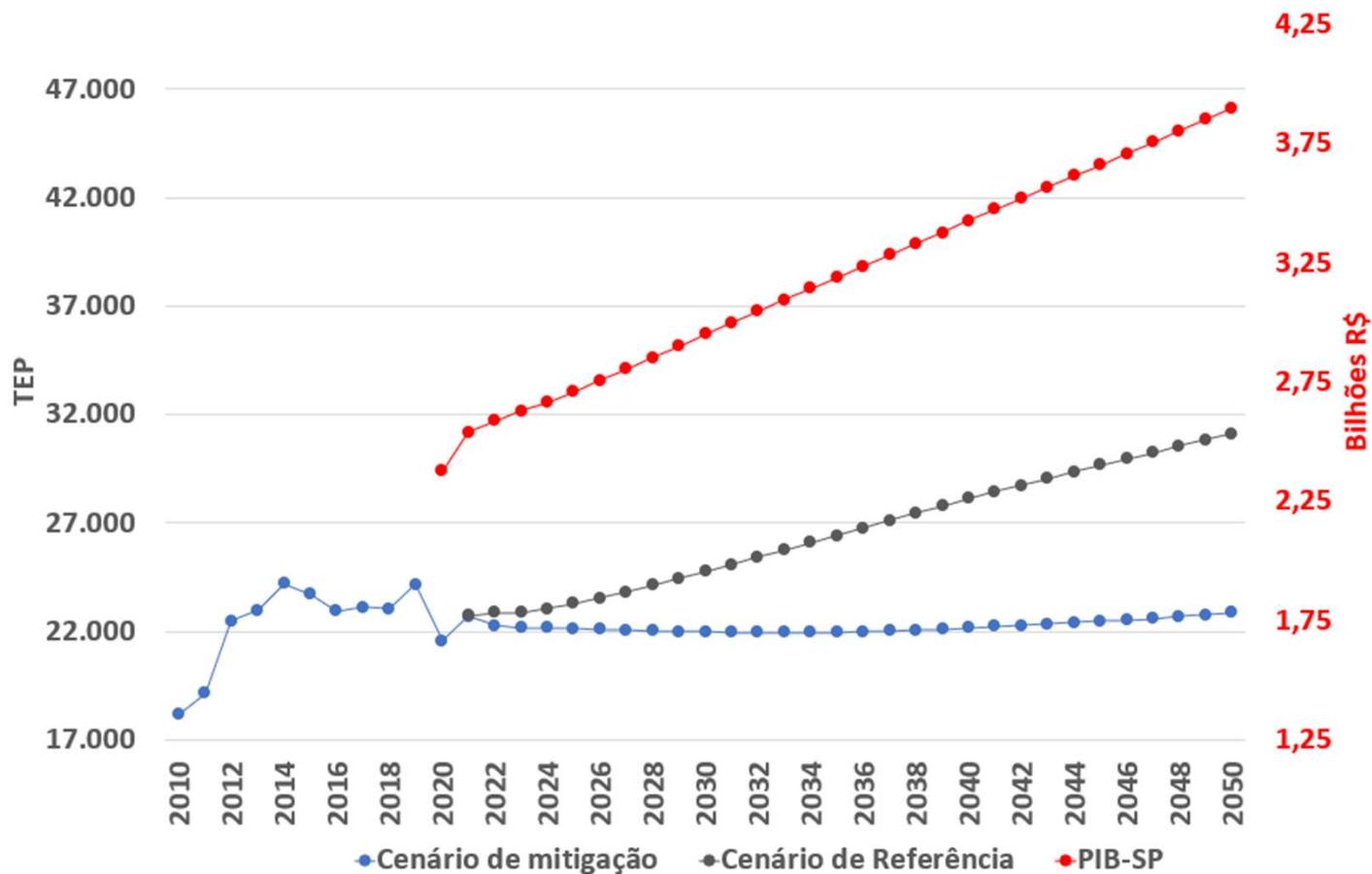


Demanda total de eletricidade Transportes



Trajetória - Demanda total de energia - Transportes

DEMANDA TOTAL DOS TRANSPORTES X PIB - SP



- **Maior utilização de energéticos renováveis**
- **Menor emissão de CO₂**
- **Evolução do PIB com menor consumo de energia no transporte por unidade de PIB**
- **Impacto positivo no ambiente urbano (poluição do ar, ruído)**

AGENDA

1. CONTEXTO

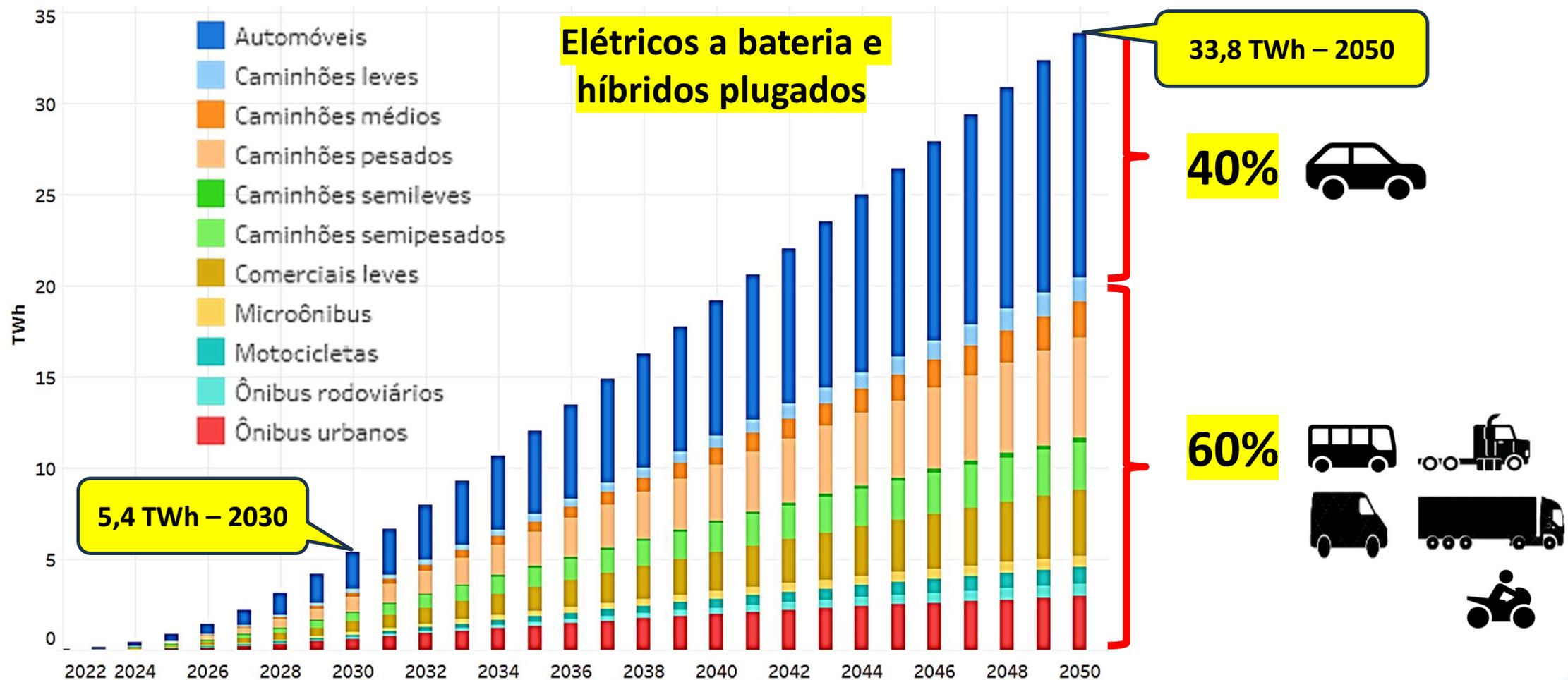
2. METODOLOGIA, PREMISSAS E FONTES DE INFORMAÇÃO

3. RESULTADOS

- **Projeção do perfil tecnológico da motorização**
 - **Modal Rodoviário**
 - **Modais ferroviário, hidroviário e aeroviário**
- **Projeção da demanda de energéticos do setor de transportes**
 - **Eletricidade no modal rodoviário – detalhes**

4. CONCLUSÕES

Demanda total de eletricidade por Categoria Modal rodoviário



Automóveis elétricos e plugados

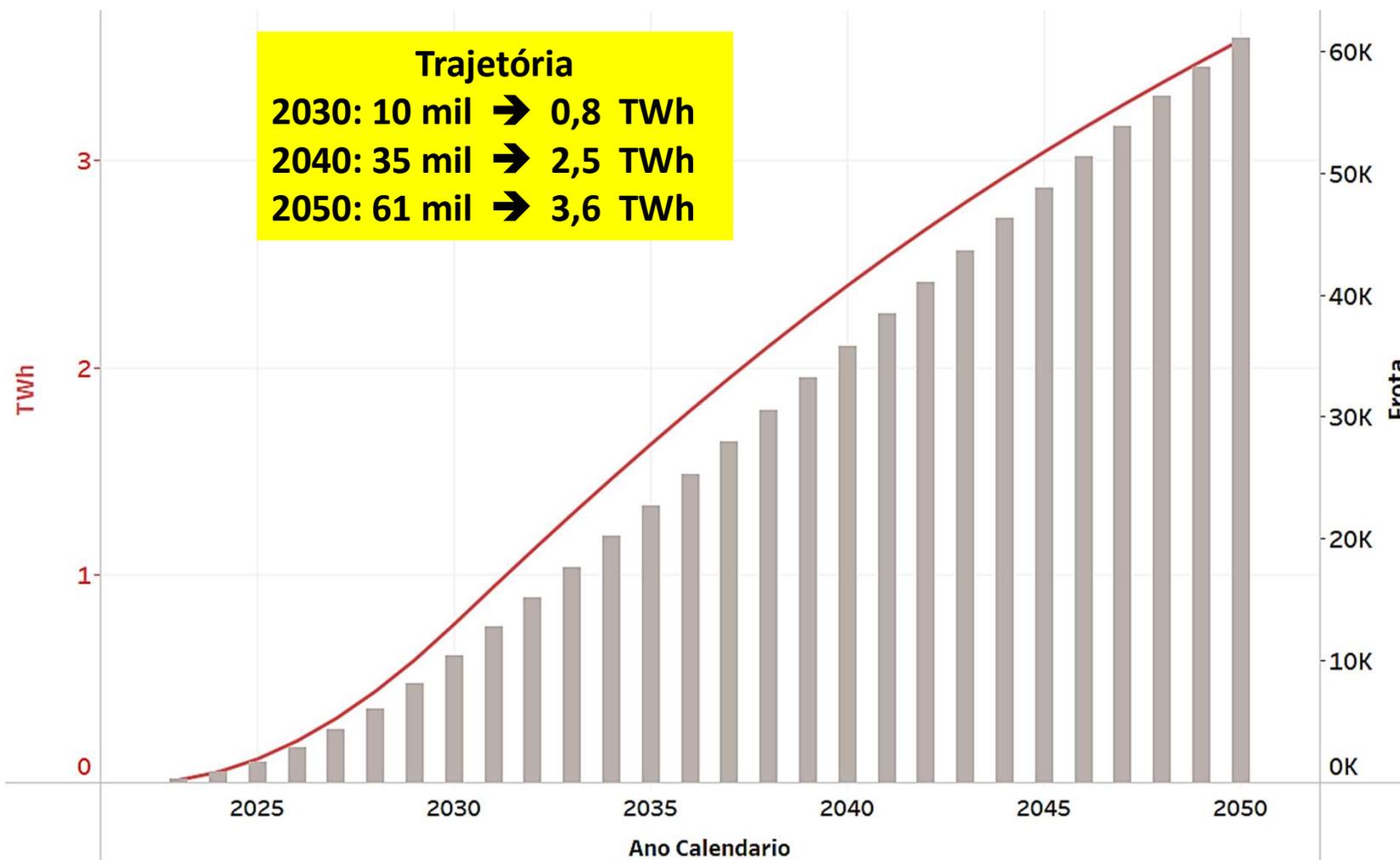
Frota vs Demanda



- 600 pontos de recarga no Estado de São Paulo (2023)
- EV/CP (24 VE por Ponto de recarga) – Estado SP (2023)
- EV/CP (10 VE por Ponto de recarga) – Media Mundial
- Projeção de até 540 mil pontos de recarga em 2050 no Estado

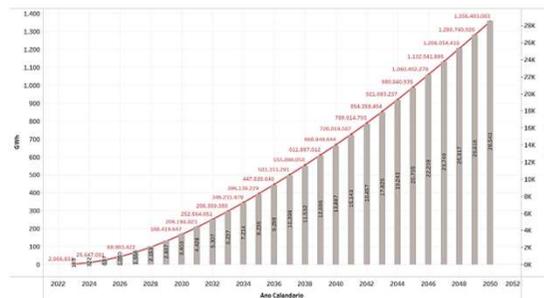
Ônibus urbano elétrico

Frota vs Demanda

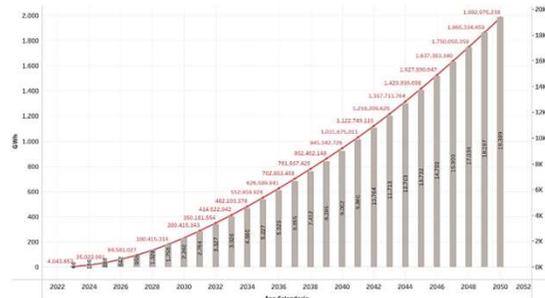


Demanda de eletricidade (Estado de São Paulo) por categoria do modal rodoviário

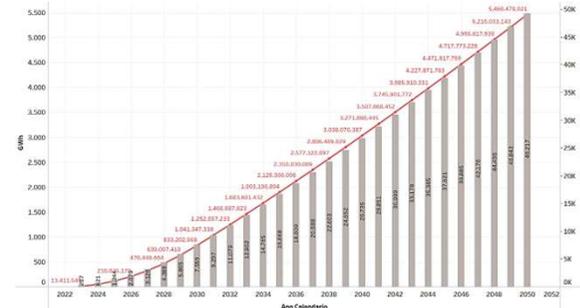
Caminhões leves



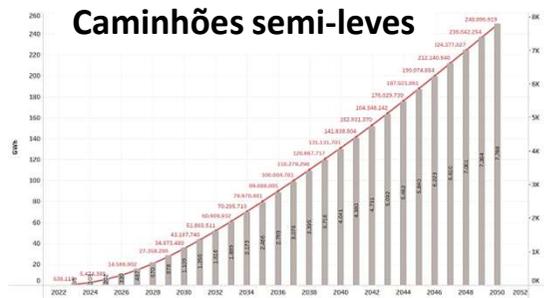
Caminhões médios



Caminhões pesados



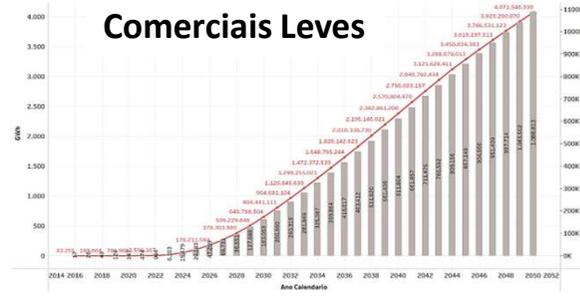
Caminhões semi-leves



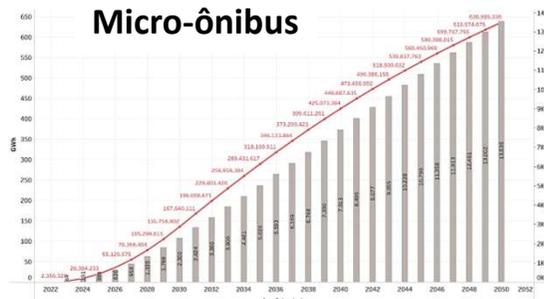
Caminhões semipesados



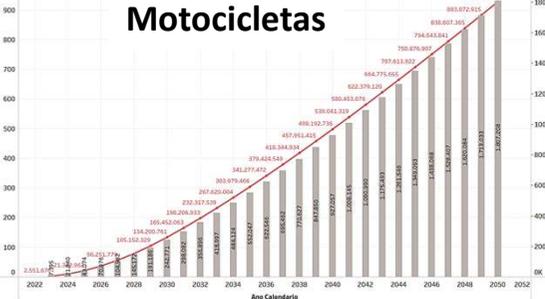
Comerciais Leves



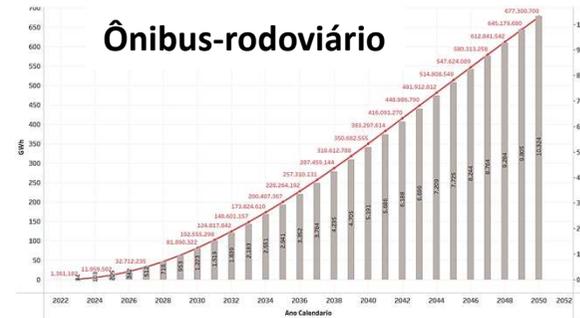
Micro-ônibus



Motocicletas



Ônibus-rodoviário



- Projeta-se a entrada da eletrificação em **todas as categorias de veículos**
- **Trajetos** curtos e longos
- **Metas de descarbonização** rigorosas
- **Compromissos ESG**
- **Infraestrutura** urbana e rodoviária de recarga
- **Investimentos** público e privado

AGENDA

1. CONTEXTO

2. METODOLOGIA, PREMISSAS E FONTES DE INFORMAÇÃO

3. RESULTADOS

- **Projeção do perfil tecnológico da motorização**
 - **Modal Rodoviário**
 - **Modais ferroviário, hidroviário e aeroviário**
- **Projeção da demanda de energéticos do setor de transportes**
 - **Eletricidade no modal rodoviário – detalhes**

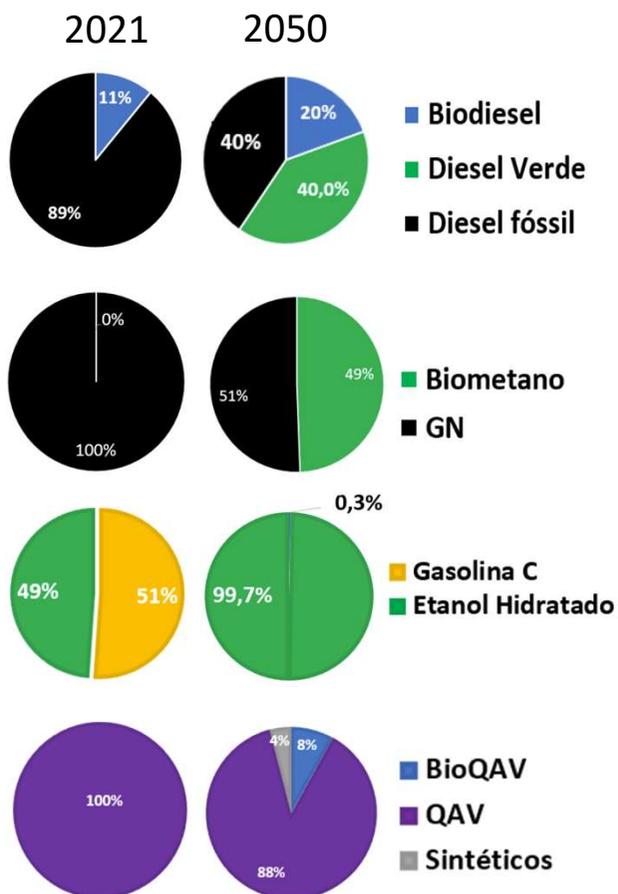
4. CONCLUSÕES



RESUMO DA DEMANDA DE ENERGÉTICOS PARA O SETOR DE TRANSPORTES NO ESTADO DE SP

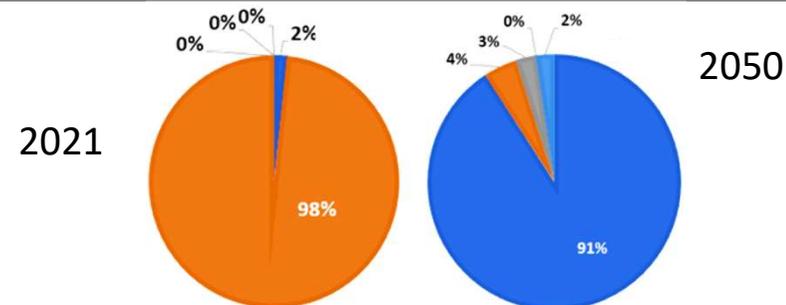


DEMANDA NÃO ELÉTRICA



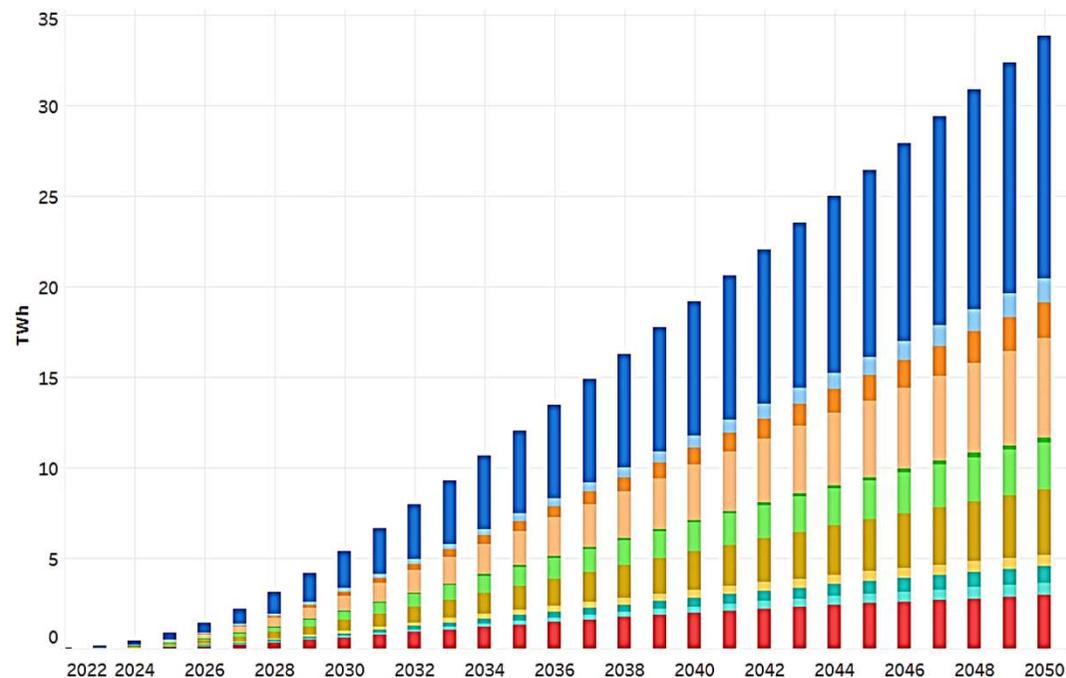
DEMANDA ELÉTRICA

- Rodoviário
- Ferrovário (Passageiro)
- Ferrovário (Carga)
- Hidroviário
- Aéreo



Modal Rodoviário - Consumo Energia ELTRICA vs Categoria

- Automóveis
- Caminhões leves
- Caminhões médios
- Caminhões pesados
- Caminhões semileves
- Caminhões semipesados
- Comerciais leves
- Microônibus
- Motocicletas
- Ônibus rodoviários
- Ônibus urbanos





PRINCIPAIS DESTAQUES

Cenário de Mitigação (2050) vs Cenário de Referência (2022)

- **Redução de 41% da parcela de diesel de petróleo** no mix do combustível no setor de transporte.
- **Eletrificação da frota de ônibus urbano** com participação relevante na descarbonização.
- **Redução da Gasolina C de mais de 99%** nos transportes leves
- **Demanda de biometano chega a 1,5 bilhões m³** para transição nas frotas de caminhões, ônibus e locomotivas de carga
- **Hidrogênio** participada de maneira complementar no **transporte rodoviário**
- **Aumento da demanda de etanol hidratado para 13 bilhões de litros** para automóveis de passageiro
- **O hidrogênio, combustíveis sintéticos, bioqav, SAF, LCAF e eletrificação**, contribuem com mais relevância na descarbonização dos modais **aéreo e hidroviário** na segunda metade do período.

Secretaria de  **SÃO PAULO**
Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística GOVERNO DO ESTADO



Fundação de Apoio à
Universidade de São Paulo