

# Introdução a Veículos Híbridos e Elétricos

---

Prof. Dr. Eduardo Lorenzetti Pellini

[elpellini@usp.br](mailto:elpellini@usp.br)

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Departamento de Eng. De Energia e Automação Elétricas

Grupo de Eletrônica Automotiva

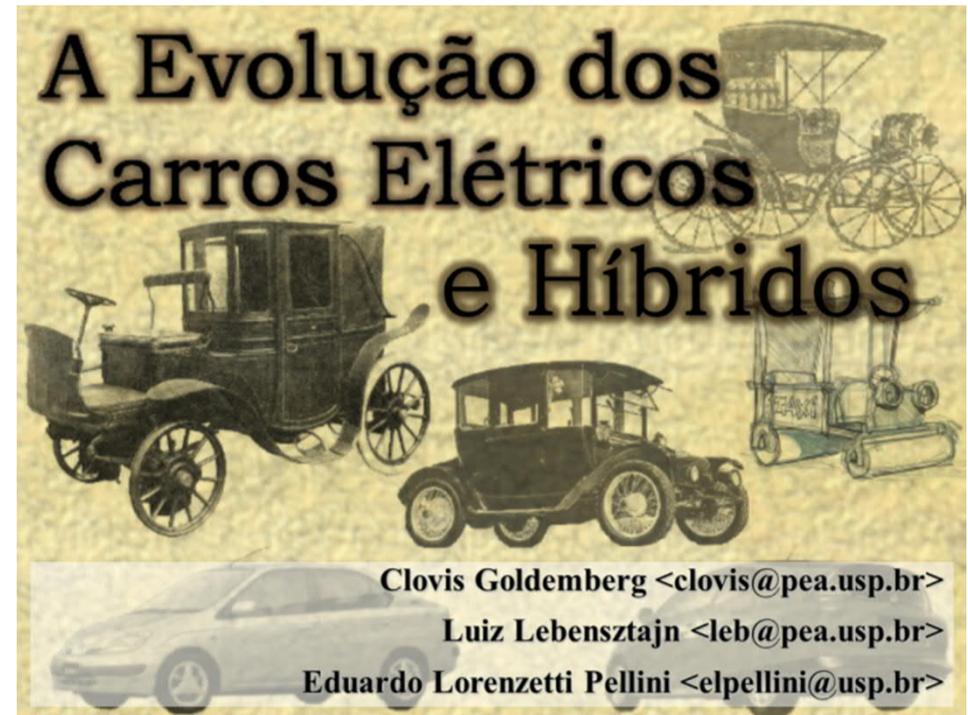
Outubro/2020





## Sumário

- Breves aspectos históricos
- Exemplos e fundamentos
- Tipos, topologias, ideias
- Presente e futuro



(c) 2001 – 2019, PEA – EPUSP, Material baseado na “História e evolução de veículos elétricos e híbridos”, por Goldemberg, C., Lebensztajn, L. e Pellini, E. L. Direitos autorais liberados desde que mantidas as referências aos autores e a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.



## 1830/1870 - Princípio triunfante

- Vendas em 1890: 10 elétricos para cada 1 a gasolina!
- Em 1900: haviam 1575 elétricos contra 936 a gasolina
- Scientific American
  - *"A Eletricidade preenche melhor requisitos de um sistema de tração do que as máquinas a vapor ou mesmo os motores a explosão."*
  - *"A eletricidade é ideal para veículos."*
- Veículo elegante e silencioso.
- Veículos a gasolina são para os fortes e brutos!





## Competitivo e requintado

Entre 1895 -1910

- Autonomia similar
  - Gasolina: ~100 km
  - Elétrico: 50~80 km
- Preços
  - Gasolina: US\$ 1000 - 2000
  - Elétrico: US\$ 1250 – 3500

Primeira multa por excesso de velocidade foi de um EV!!





# Vasta concorrência

- Mais de 50 empresas
- Fabricação artesanal

*Utility*

Life knows no greater charm than luxurious utility—available on the instant and under all conditions. Every conception achieved in the Rauch & Lang Electric makes it also "The Social Necessity." It is undeniably first in the thought of people of taste, judgment and means to satisfy every desire.

*Rauch & Lang Electric*  
"The Social Necessity"  
THE RAZER B & L CO., CLEVELAND, O.

## For a Dozen Conclusive Reasons You'll Decide Upon

### THE Detroit ELECTRIC

It is not going to be so difficult as you might think to decide which electric carriage you want.

In the gasoline field scores of good cars make a confusing chain upon your consideration. But when you come to choose an electric, a little inquiry will soon satisfy you which carriage is in the ascendant.

This is what you'll find—  
That communities which have perhaps shown partiality to other cars in previous seasons are rapidly transferring their allegiance to the *Detroit Electric*.

That in many cities—for instance in home town, Detroit, the center of the automobile industry—the *Detroit Electric* is almost alone.

Everywhere it is gaining ground; rendering other types, as we said in a recent announcement, obsolete; and enjoying, invariably, the highest social prestige attainable.

These are concrete conditions as you will find them. They are due to the simple fact that the *Detroit Electric* incorporates features previously unknown in electric carriages.

As it stands today it is unique in the extraordinary number of fine points contributing to efficiency, elegance and comfort possessed by no other electric.

There are fully fifty of these features.

Here are some of the more important—

Greater mileage, higher speed than any other electric ever given.

Even forward speed, three forward gears.

Control of all speeds, motor brake and steering controlled in one lever.

Customized fender and door hangers.

Epitomizing and perfecting of the highest grade.

Close-fitting metal trimmings throughout.

Large doors and windows in the strongest type.

Doors which open inward instead of back.



What long runs, instead of sponges with damp corners—

Large steel Palace roof trim.

Your feet and hands warm, wearing a *Detroit Electric* in the winter.

And the liberating action of the motor control which leaves as much for generous acceleration.

The battery system, the *Detroit Electric* is made for long life.

Large doors and windows in the strongest type.

Doors which open inward instead of back.

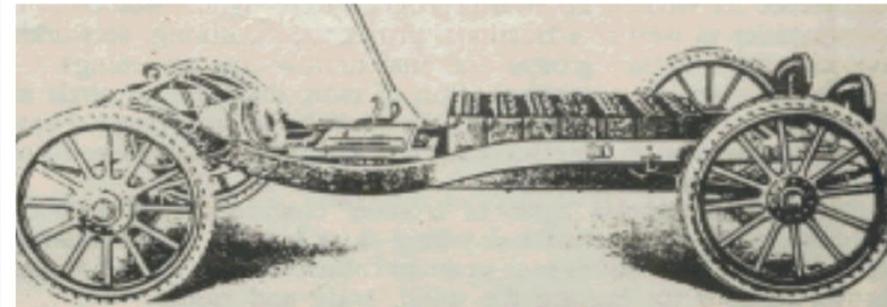
Doors which open inward instead of back.



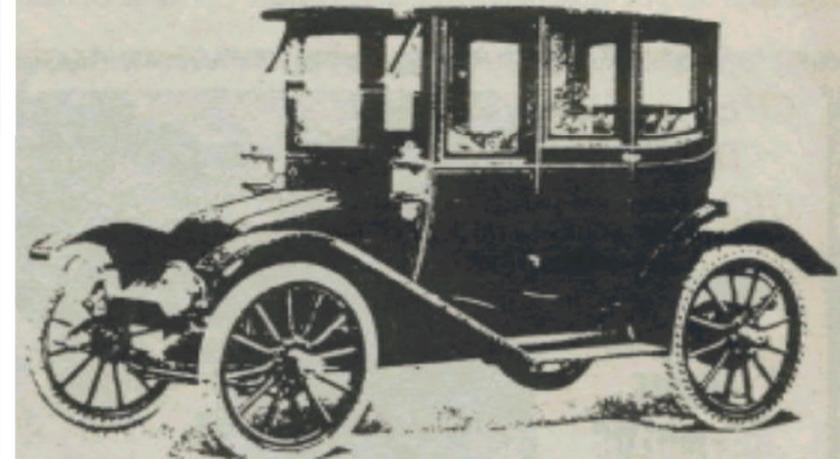
ANDERSON CARRIAGE COMPANY, Dept. F, Detroit, Mich.



# Simplicidade



This rare picture shows what the underside of an electric car really looked like. There is a huge bank of storage batteries connected by heavy cables to a powerful driving motor mounted just in front of the rear axle. Since the car went slowly and usually travelled on paved city streets, the tires could be solid so the female driver never had to contend with a flat or blowout. The car is illustrated below





## Eléctricos e... híbridos



**1900 Lohner/Porsche  
*Semper Vivus***

Motor elétrico nas rodas,  
híbrido, gasolina + baterias,  
versão 4x4



## Princípio do fim (até 1925)

- Novas tecnologias de baterias de maior capacidade (Níquel-Ferro)
- Apesar de haver algumas boas perspectivas de vendas e popularização prox. da 1ª Guerra Mundial, ocorre amplo declínio em vendas
- 1913: 13% de caminhões elétricos
- 1925: 3,5% de caminhões elétricos
- Menor autonomia frente a motores a combustão
- Abastecimento vs. Carregamento
- Invenção do motor de arranque





## Assunto encerrado ?

- Desde 1926 até 1966 – apenas algumas aplicações específicas
- Nada substancial ou notável na área



## (A) Discussões / *Brainstorming* / Elaboraões

De 1926 a 1966, absolutamente nenhum carro ou veículo elétrico foi criado em 40 anos (!?)

- Verdadeiro
- Falso

Veículos elétricos não dão certo (!?)

- Verdadeiro
- Falso





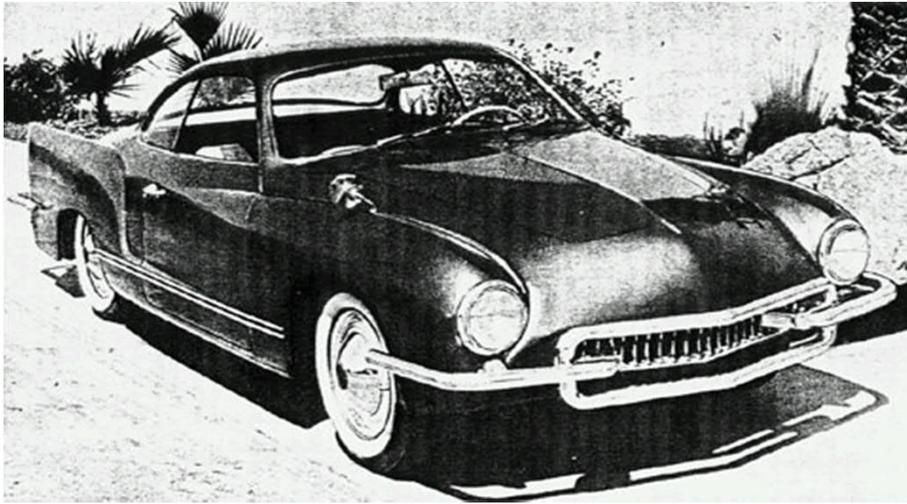
## Argumentações sob a mesa

- 1967 a 1972 – Poluição!!!
- Novas regulamentações nos EUA e Europa
- Surgem alguns protótipos
  - GM 512: autonomia 60km, 0-50km/h - 12s
  - Ford Comuta: autonomia de 38km na cidade
  - Renault: protótipo de 1860kg, autonomia de 107km
- Mas, comercialização inexpressiva
- Poluição não foi motivação suficiente





## Personagens da época



1960 Charles Townabout

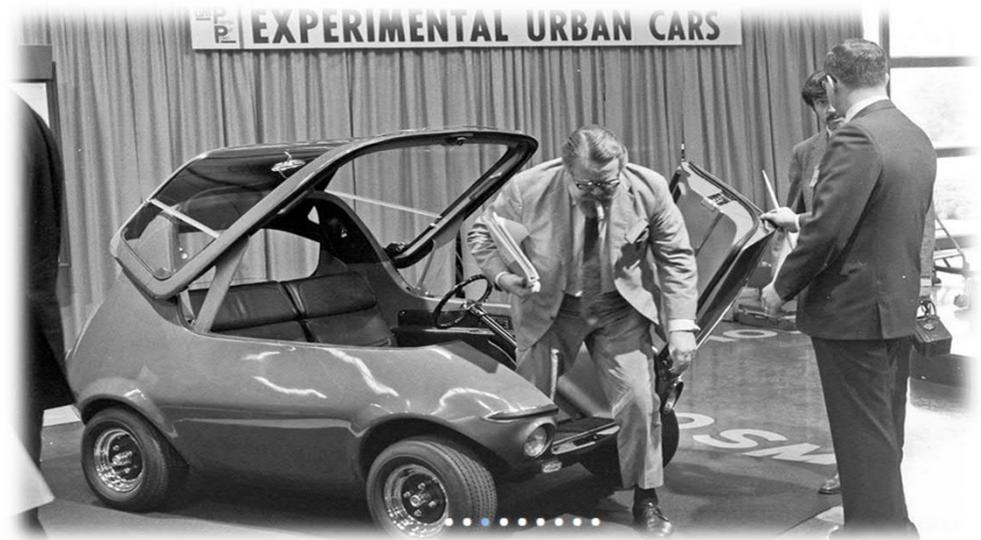




# Mais personagens



1960 Ford Comuta



1969 GM 512



# Novos argumentos

- 1973 a 1980 – Crise do petróleo!
- Embargo da OPEP
- Programas de desenvolvimento para veículos elétricos e híbridos
  - Departamento de Energia nos EUA
- No mundo, programas de combustíveis alternativos
  - Proálcool no Brasil



## (B) Discussões / *Brainstorming* / Elaboraões

O preço do petróleo, por ser sazonal, definido por razões geopolíticas, econômicas e tecnológicas, não é um problema suficiente para motivar a procura por alternativas energéticas (?!)

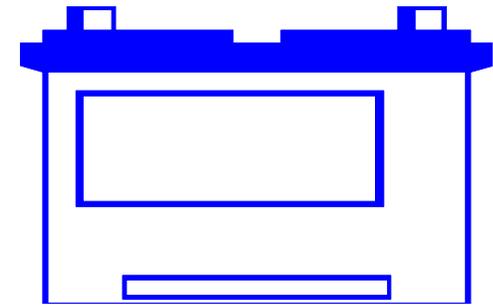
- Verdadeiro
- Falso





## Críticas no tópico de veículos elétricos

- A energia precisa ser produzida de qualquer forma
  - Troca-se a poluição do carro por poluição em usinas termoelétricas?
- E o custo das baterias?
- E qual seu tempo de vida?
- Consumidor: Porque eu compraria um veículo mais caro, de menor autonomia?





# Será que idéia emplaca agora?



1974 Citicar  
Sebring-Vanguard



Itaipu E150  
Gurgel



O Itaipu, movido a baterias, é uma solução brasileira para economizar petróleo.



BatTronic Truck



ELCar

## (C) Discussões / *Brainstorming* / Elaboraões

Qual a razão (ou razões) pela qual esses veículos não deram certo até a década de 80?

- Qual a desvantagem fundamental?
- Qual o problema fundamental?
- É devido ao custo/benefício?
- Alguma questão cultural?
- Alguma maldição?





## Argumentação consistente



### • De 1980 a 1993 – Primeiro renascimento

- Controle de emissões é melhor em grandes usinas
- Consórcio de fabricantes de baterias → padrões e pesquisas
- Novas tecnologias de baterias (NiCd, NiMh)
- Legislações de emissão zero (Califórnia) → ZEV
- Busca por eficiência e baixo consumo de combustível
- Novas fontes energéticas (gás natural)
- Matrizes energéticas limpas (hidroelétrica)
- Busca pelo veículo do futuro pela Toyota (G21) e Honda – Japão

Seu professor não bate bem.  
Que figuras são essas?

Seu professor não bate bem.  
Que figuras são essas?





## E o Japão sai na frente...

- 1997 a 2001 – carros comerciais, sucesso de vendas
- Honda Insight – dois lugares, 850 kg
- Toyota Prius – 4/5 lugares, 1500 kg
- Baterias de NiMh com 44 [kg]



O que isso tem a ver com a aula, meu?



Professor endoidou!  
A aula não é de VEH?



## (D) Discussões / *Brainstorming* / Elaborações

O que fundamentalmente permitiu “sonhar” novamente com veículos mais “eletrificados” a partir da década de 90?

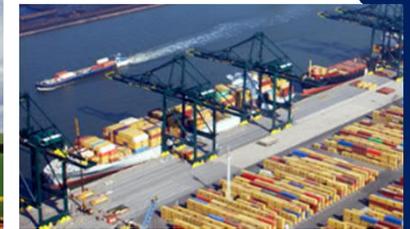
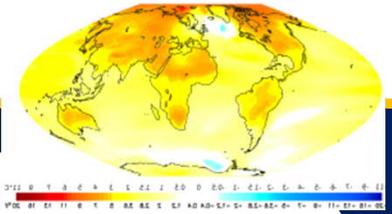
- Alguma tecnologia nova?
- Alguma revolução tecnológica?
- Algum incentivo direto?
- Alguma conjunção astral?





# Argumentos e perspectivas para o novo século

- Aquecimento global, poluição, emissões CO<sub>2</sub>, crescimento populacional (2050 ≈ 10 bilhões de pessoas), megacidades
- Escassez de recursos naturais, problemas com preço e disponibilidade de petróleo, alta demanda por industrialização
- Difícil mobilidade urbana, transporte complexo, problemas na cadeia logística de suprimentos e insumos
- Diminuição da disponibilidade de fontes limpas
- Buscar uso de energias renováveis: solar, eólica, biomassa, etanol, hidrogênio
- Requisitos vitais: eficiência energética e sustentabilidade





## Segundo renascimento – reboot da franquia!

- De 2001 a 2019 – Além de Toyota, Honda, outras grandes se mobilizam para veículos elétricos e híbridos (Nissan, Mitsubishi, Ford, GM, VW, Renault, BMW, Mercedes, Audi, Citroen, FCA, Volvo, Porsche, Hyundai, Kia, ...)
- Destaque para novas montadoras: ACPropulsion (GM EV1, Tzero - 1997), Tesla Motors (Roadster – 2003), Fisker (Karma – 2005)
- Em 2019, muitas marcas e personagens, desde luxo até populares: Aston Martin, Lagonda, Tata, Seat, Skoda, Smart, Kangaroo, Subaru, Bentayga, BYD, Faraday Future, Nicola, NextEV, SAIC Motors, Beijing Electric Vehicle
- Salões de automóveis dedicados ao tema de elétricos e híbridos



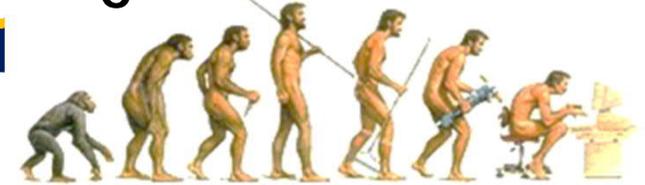


# Razões do renascimento estão na nova era “inteligente”



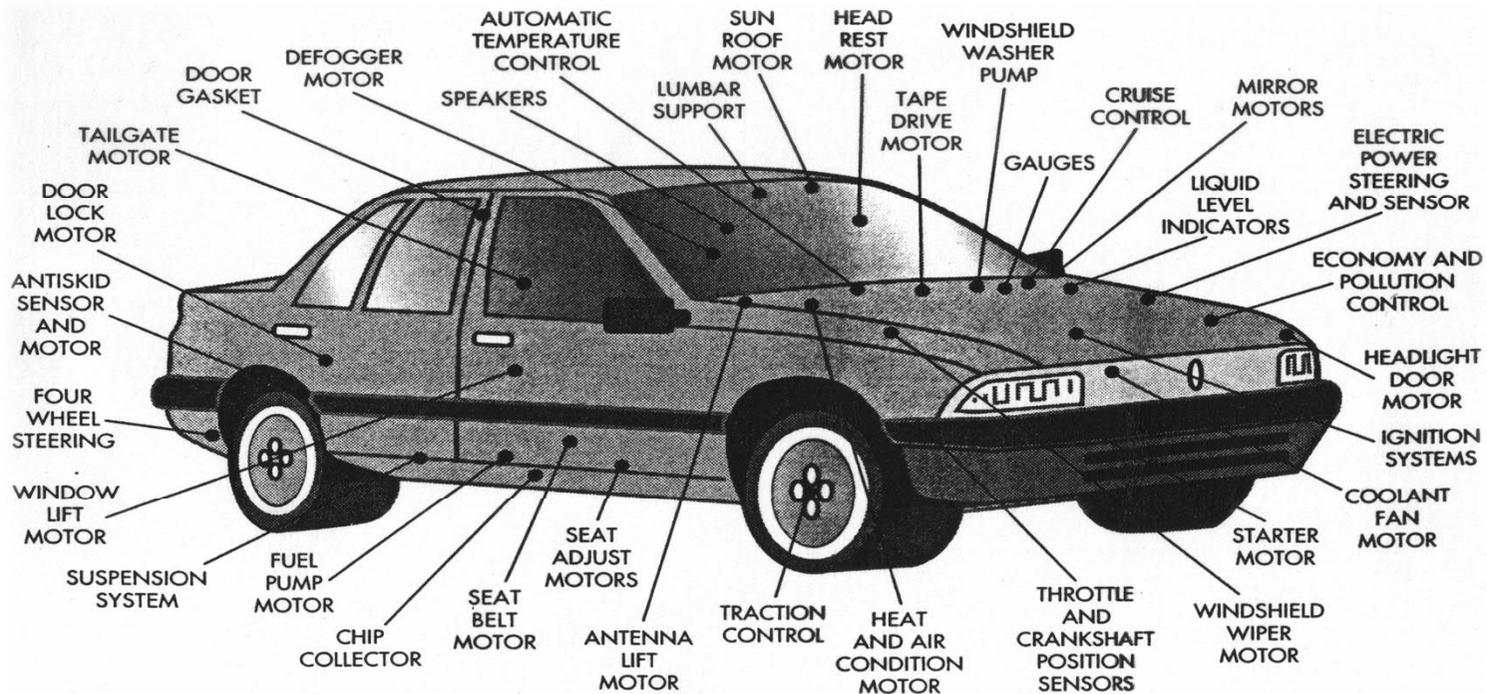
## Avanços e rupturas tecnológicas

- Computação pessoal → “boom” nas pesquisas por semicondutores e sistemas com altíssima integração e baixo consumo.
- INTERNET → “boom” nas pesquisas de telecomunicações por novos meios e protocolos com altíssima velocidade e ampla banda
- Recursos são MÓVEIS → “boom” nas pesquisas por baterias e métodos de carregamento
- Sistemas inteligentes e conectados: redes elétricas, indústria 4.0, gadgets, IoT, computação em nuvem, inteligência artificial, ...
- Novos materiais, nanotecnologia, sistemas eletrônicos integrados, programáveis e portáteis (embarcados), novas tecnologias de armazenamento de energia, semicondutores, conversores eletrônicos de alta eficiência, acionamentos para motores elétricos, motores elétricos de alto rendimento e potência, ...



## (E) Discussões / *Brainstorming* / Elaboraões

Mas o nosso carro ATUAL já não é elétrico?!

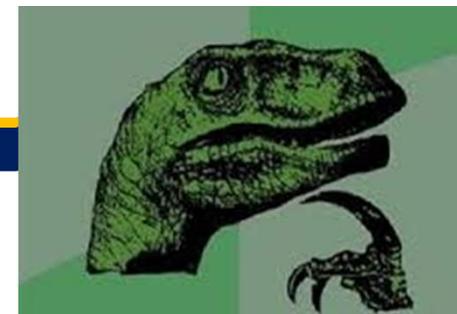




## Sumarizando a primeira parte...

### Mobilidade elétrica

- Razões
  - Climáticas, ambientais e ergonômicas
  - Energéticas, de eficiência, sustentabilidade
  - Sócio-políticas, estratégicas
  - Econômicas
- Tecnologias
  - Novos desenvolvimentos
  - Convergências
  - Cadeias de fornecimento
  - Ruptura
- Conhecimentos e experiências
  - Compartilhamento
  - Massa crítica!





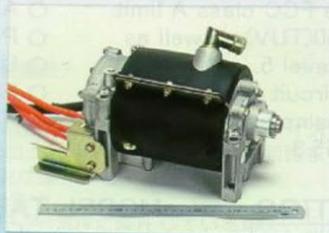
# Motores, muitos motores, e seus acionamentos!

## Hybrid Electric Vehicle

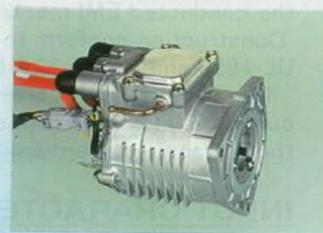
Motor for Driving & Regenerating



Motor for Starting & Generating



Motor for Oil Pump



Inverter for Driving Three Motors

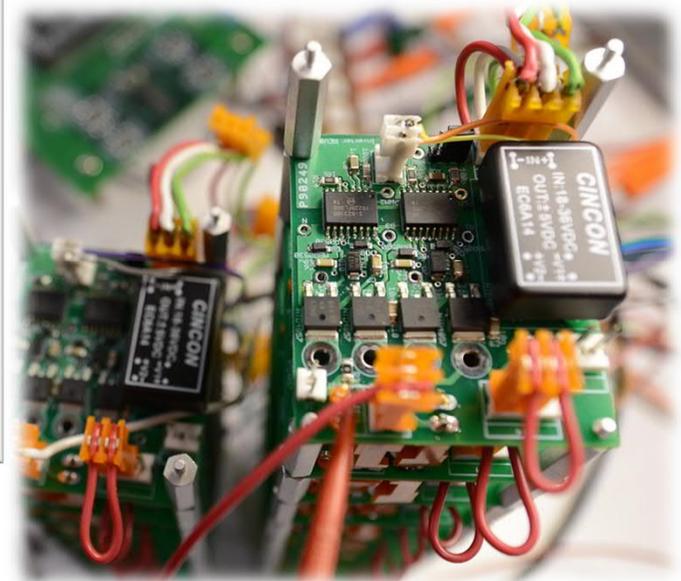


### Features

- Permanent Magnet Synchronous Motor
- Water Cooling
- IPM(IGBT)
- All Digital Control

- Compact, High Efficiency & Reliability -

Conversores, conversores,  
eletrônica de potência,  
embarcados em  
TODO O LUGAR!!!



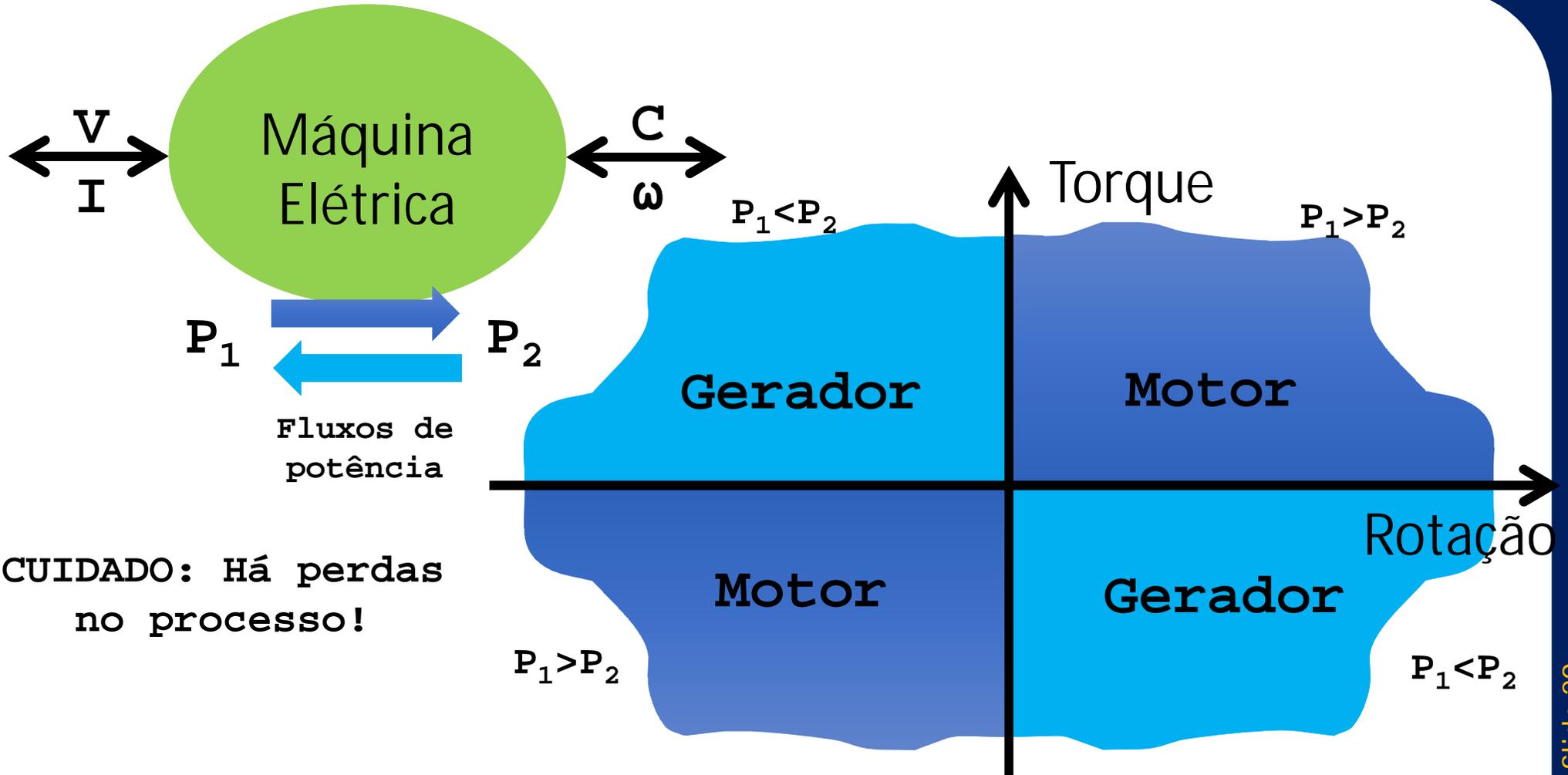
## Considerações sobre motores e seus rendimentos



- Qual a potência de entrada?
- Qual a potência de saída?
- Entrada? Saída?
- Qual o rendimento?
- Impactos de baixo rendimento?
  - Perdas
  - Calor
  - Temperatura
  - Limitação das condições operativas
- Estado da arte: motores polifásicos de ímãs permanentes (?)



# Flexibilidade na operação de motores





# Tipos de máquinas elétricas

- Construção
  - Rotativa
  - Linear
- Natureza da alimentação
  - Corrente contínua
  - Corrente alternada
- CC – Corrente contínua com escovas
- IM – Corrente alternada, assíncrono, de indução
- SM – Corrente alternada síncrono
- BLDC – Corrente contínua, sem escovas, com ímãs permanentes, fluxo trapezoidal
- PMSM – Corrente alternada, sem escovas, com ímãs permanentes, fluxo senoidal
- SRM – Síncrono de relutância



## (F) Discussões / *Brainstorming* / Elaboraões

Corrente contínua ou corrente alternada?

Qual máquina? Motor ou gerador?

Forma de ligação à fonte?

Rendimento?

Controle?

Faixa de velocidade e torque?

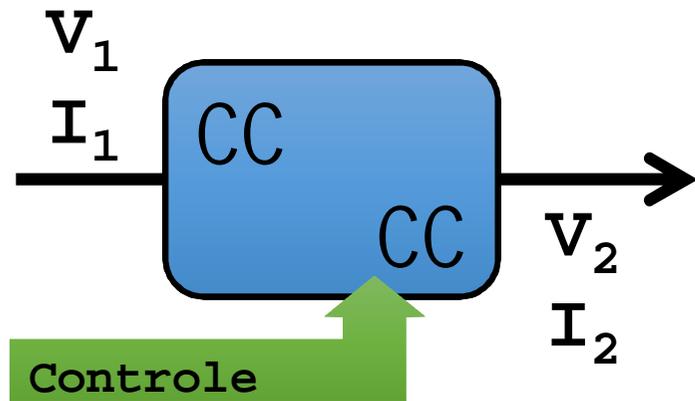
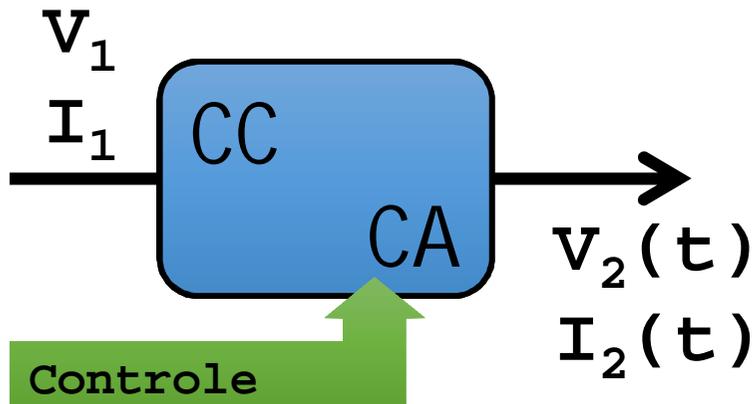
Faixa de tensão e corrente?

Densidade de potência?

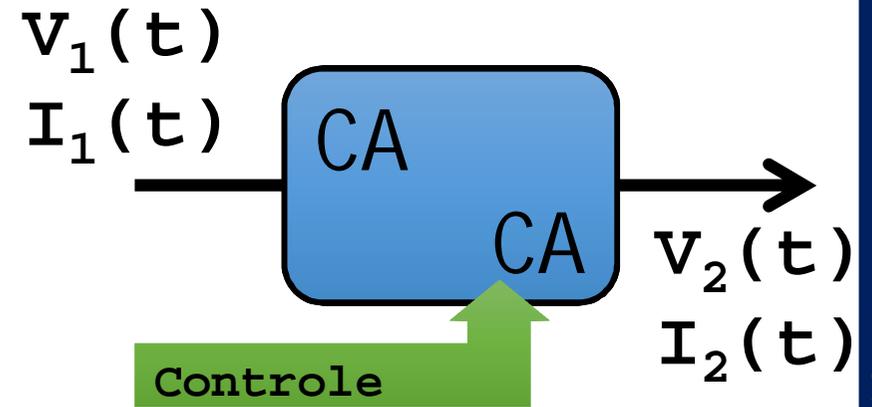
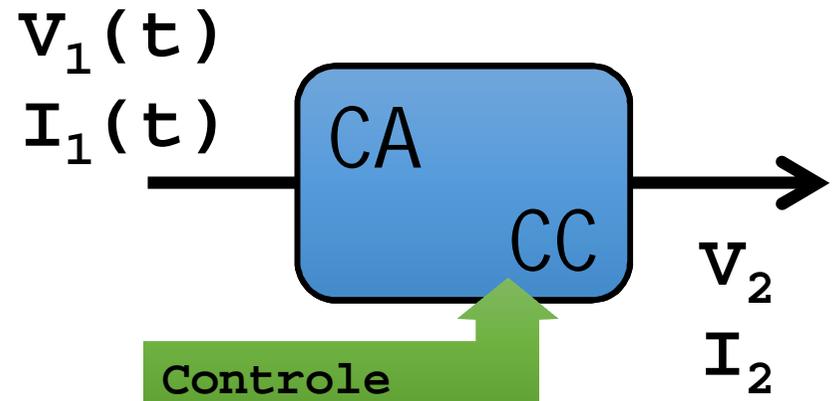




# Conversores eletrônicos



- ...
- Driver
- Inversor
- Retificador
- Carregador
- Amplificador
- Buck
- Boost
- Buck-Boost
- Dois níveis
- NPC
- Multinível
- ...



## (G) Discussões / *Brainstorming* / Elaboraões

Conversores eletrônicos existem desde a época das válvulas eletrônicas. Por exemplo: Amplificadores e Retificadores.

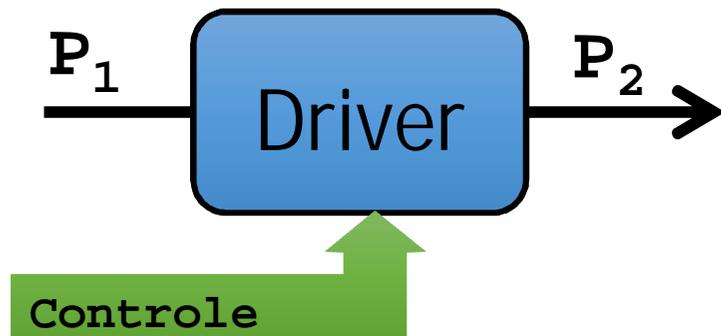
O que mudou nos conversores modernos?

- Alguma mudança conceitual?
- Alguma vantagem?
- Preço, tamanho, capacidades?
- Preferência divina?





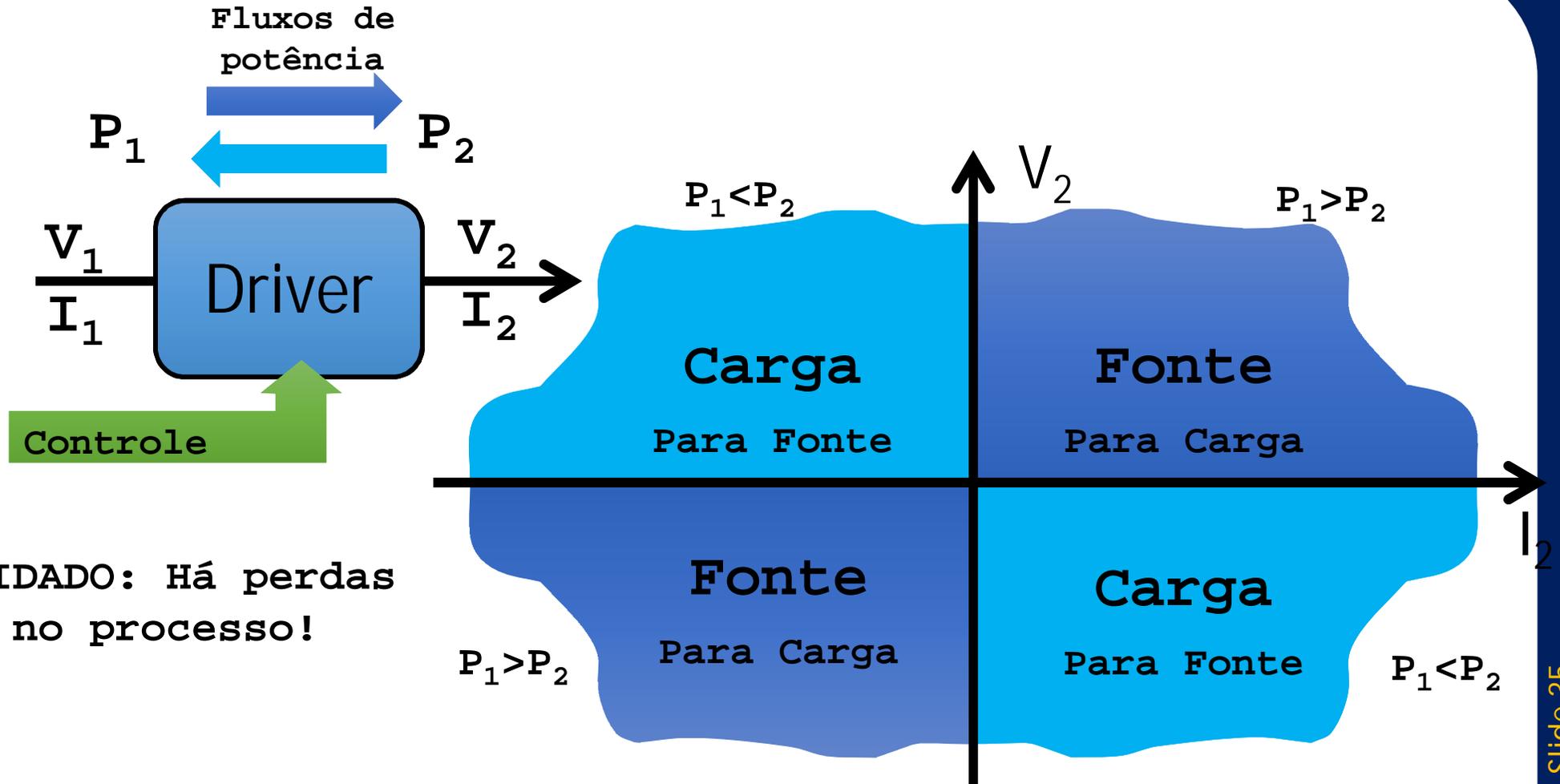
# Rendimento de conversores



- Qual a potência de entrada?
- Qual a potência de saída?
- Qual o rendimento?
- Impactos de baixo rendimento?
  - Perdas
  - Calor
  - Temperatura
  - Limitação das condições operativas
- Estado da arte: conversores chaveados



# Operação de conversores



CUIDADO: Há perdas no processo!

## (H) Discussões / *Brainstorming* / Elaboraões

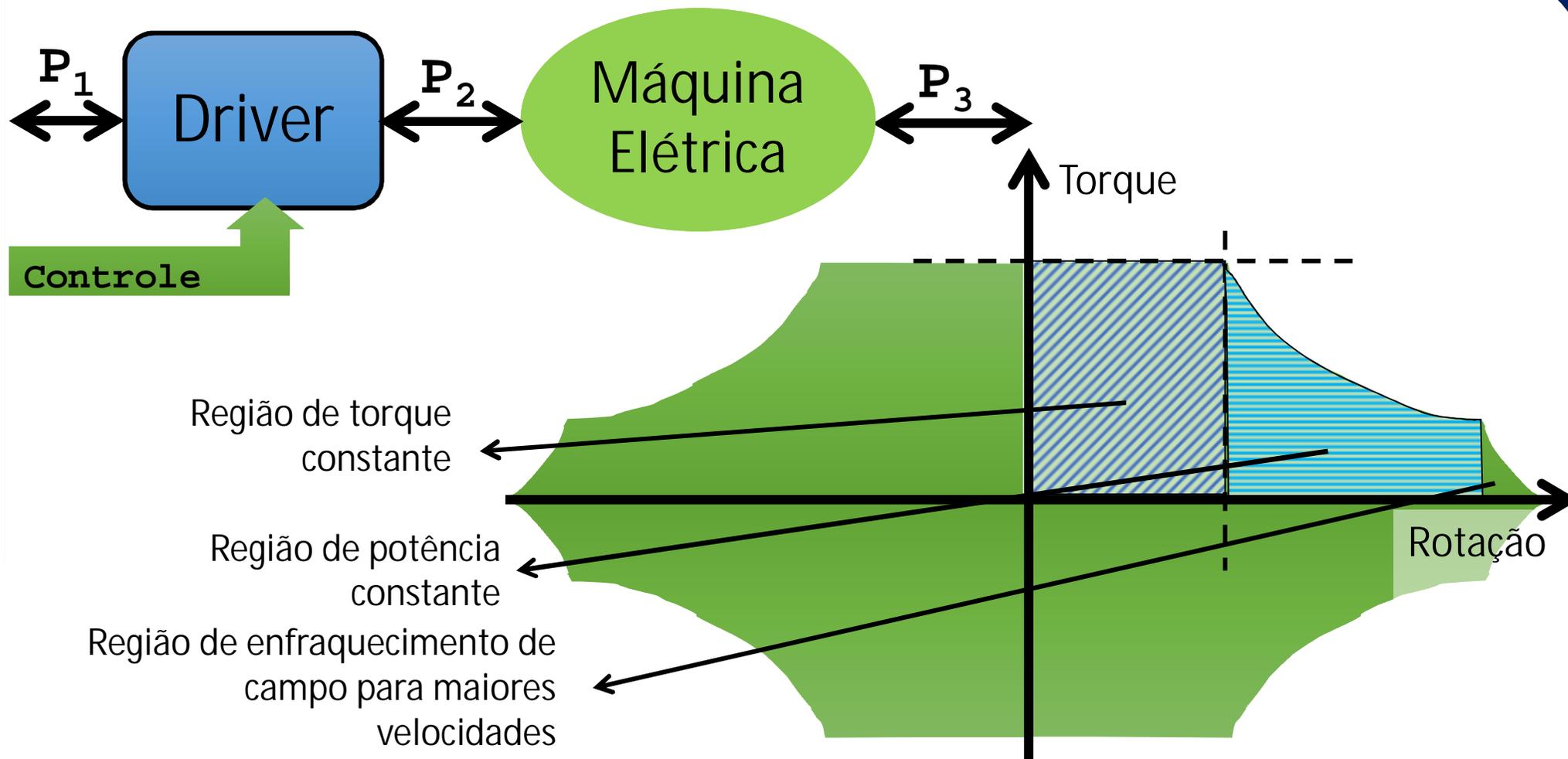
Como funciona o conversor para aplicação no controle máquinas elétricas rotativas?

Quais as funções de um conversor?

- Automação?
- Controle?
- Proteção?
- Eficiência?

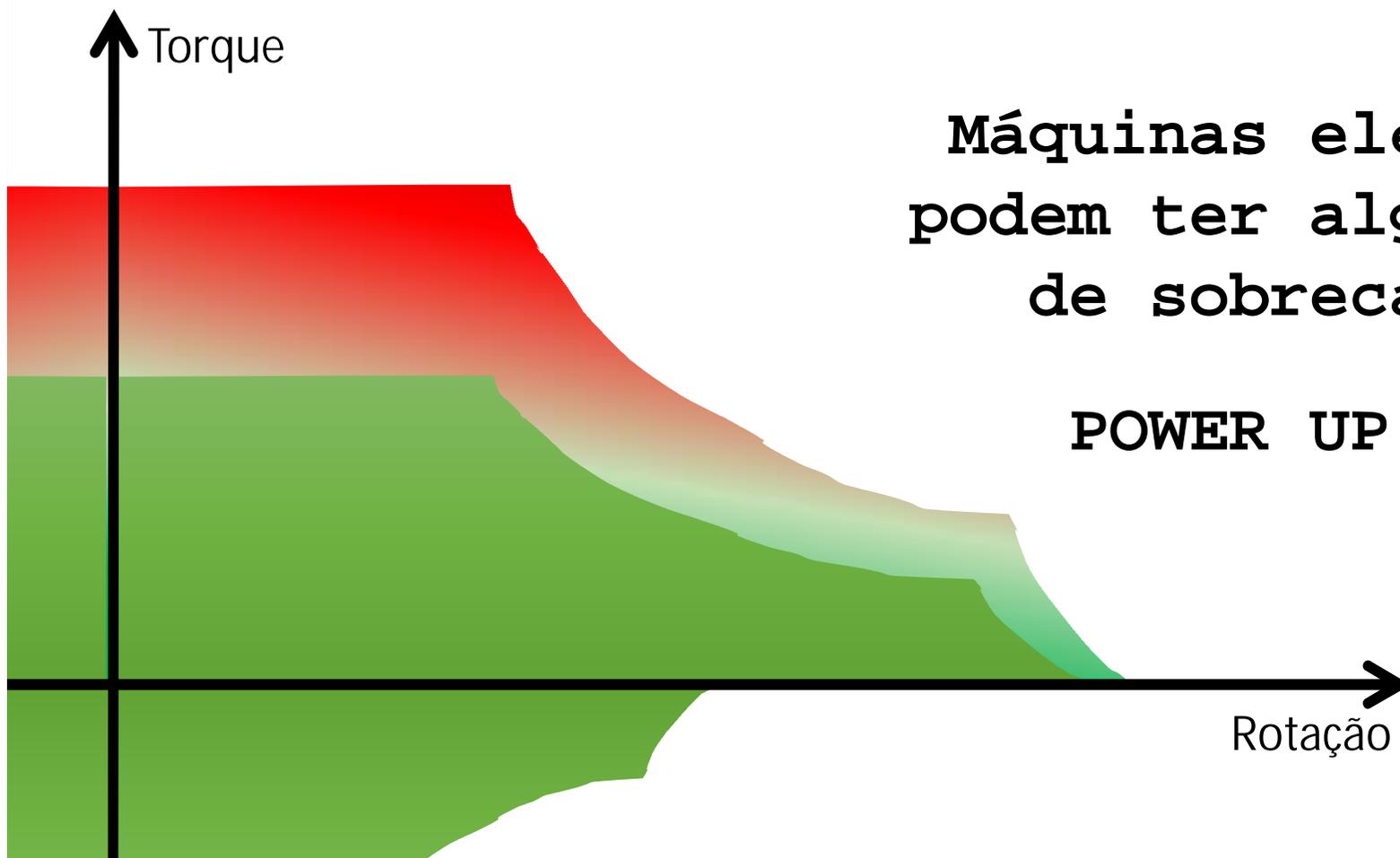


# Conversores para máquinas: acionamento de máquinas





# Máquinas e acionamentos



Máquinas elétricas  
podem ter algum grau  
de sobrecarga!

**POWER UP!!!!**

## (I) Discussões / *Brainstorming* / Elaboraões

O controle de máquinas elétricas requer a observação, o sensoriamento, de grandezas mecânicas (como rotação), mas principalmente grandezas elétricas (como fluxo e posição do rotor).

Como realizar a observação dessas grandezas?

Qual o impacto no projeto? Custo?  
Confiabilidade? Compatação?



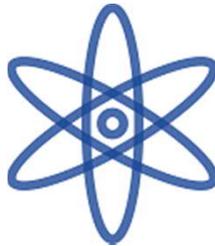


Questão principal de um carro elétrico ou híbrido

# Gerenciamento de energia !!!

- Mas qual fonte usar?
- Em que direção e sentido?
- Onde será armazenado?
- Como será reaproveitado?
- Como será abastecido, carregado?

Nuclear



Térmica



Cinética



Química



Elétrica



Solar





# Mas ainda falta uma boa bateria

- Contraste da densidade energética

• Gasolina:	12500	[Wh/kg]
• Bateria convencional:	25 a 40	[Wh/kg]
• Melhor bateria disponível comercialmente:	200 a 300	[Wh/kg]
• Bateria mais moderna $\text{LiCoO}_2$	600	[Wh/kg]

- Desdobramentos desse contraste

Densidade da gasolina é de 0,72 [kg/l]

1 tanque de 40 litros = 360 [kWh]

Encher tanque em 3min = potência de **10MW** ! (na prática 2MW)

Como fazer isso com baterias eletroquímicas?

## (J) Discussões / *Brainstorming* / Elaborações

Qual componente ou sistema é determinante:

- Para a obtenção da energia?
- Para o transporte, distribuição e aporte da energia?
- Para a conversão da energia?
- Para o armazenamento da energia?
- Para a proteção e a segurança da energia?
- Para o gerenciamento do uso da energia?

Quais os custos, capacidades, volumes, peso e as taxas de transferência?





## Melhor solução para o momento: Veículo híbrido!

- Motor elétrico

Excelente propulsor, alta eficiência, quatro quadrantes, alta disponibilidade de torque vs. velocidade, opera em sobrecarga, não poluidor, mas precisa das baterias e de seu acionamento eletrônico. A eletricidade tem cadeia produtiva e logística consagrada

- Motor a combustão

Álcool/Gasolina é um excelente combustível, mas é poluente, tem baixa eficiência, torque só em altas rotações. Hoje há alta tecnologia para controle de emissões e melhora da eficiência e a cadeia produtiva e logística consagrada

Como usar em conjunto as virtudes de cada um? Veículo híbrido!

É uma REALIDADE. Quase todas as marcas já possuem modelos híbridos!



## Mas e o veículo elétrico puro?

- Também é uma realidade!
- Desenvolvimentos progridem e custo cai conforme surgem novas tecnologias de armazenamento e carregamento
  - Baterias, células a combustível, células a hidrogênio, células fotovoltaicas, eletropostos, carregadores rápidos, sistemas de troca de baterias
- Aumento crescente em densidade de energia e potência
- Diminuição gradual de custos

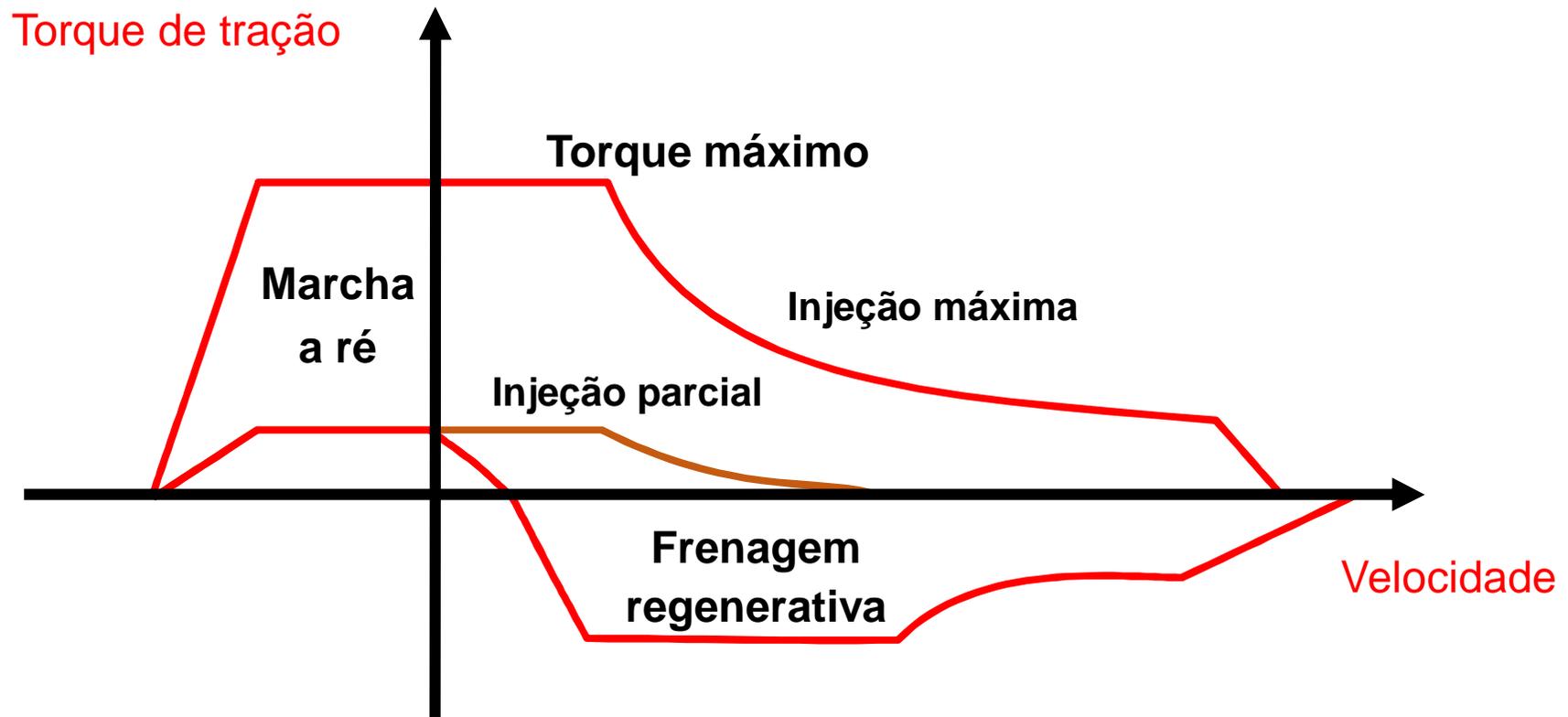


## Alguns híbridos e puramente elétricos em 2019

Toyota (Prius e Corolla (flex!), Yaris, C-HR), Honda (Insight, Civic, CR-V, NSX), VW (E-Golf, Golf GTE, Passat GTE, e-Up!, ID Buggy), GM (Volt, Bolt), BMW (Series 5 – 540E, I3, I8), Hyundai (Ioniq, Infinity, Kona), Nissan (Leaf e Pathfinder), Volvo (S60, V60, XC90, One Polestar), Mercedes (S560e e EQV), Renault (Zoe, Clio, Megane, Fluence, Captur, Scenic, Twizy), Ford (Fusion e Focus), Mitsubishi (Outlander 4x4, MiEV), Subaru (Xtrek 4x4), Porsch (Panamera e Cayene), Audi (A8, ETron), Kia (Nero e Soul), Citroen (C-Zero, Berlingo), Seat (Cupra), Tata (Tigor EV), Smart (Brabus), Skoda, Lagonda, Ferrari (LaFerrari), JAC (J3e), BYD (e5, e6), Tesla (S, 3, X, Y, Roadster)

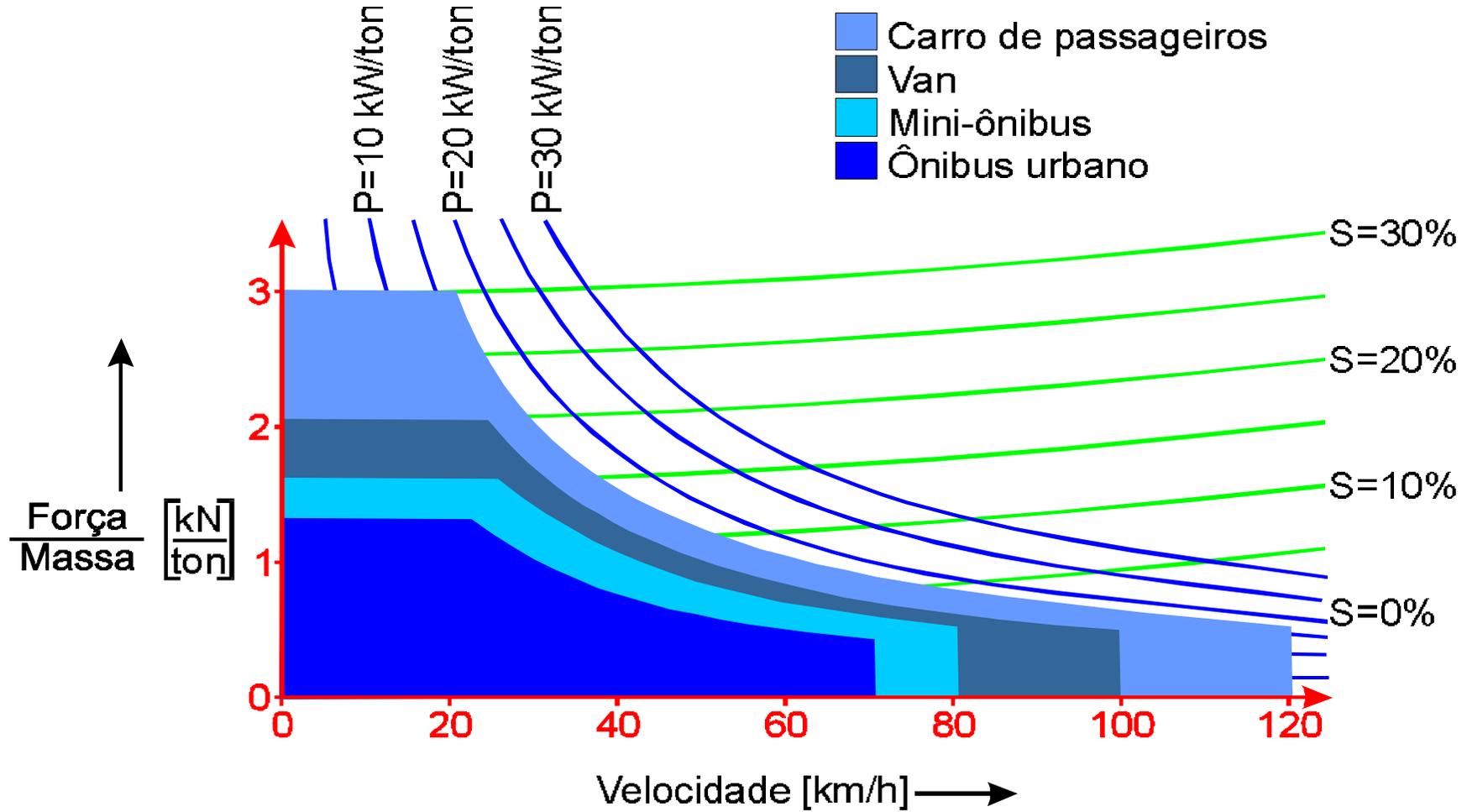


# Projeto: requisitos teóricos de um veículo





# Requisitos de desempenho do carro elétrico

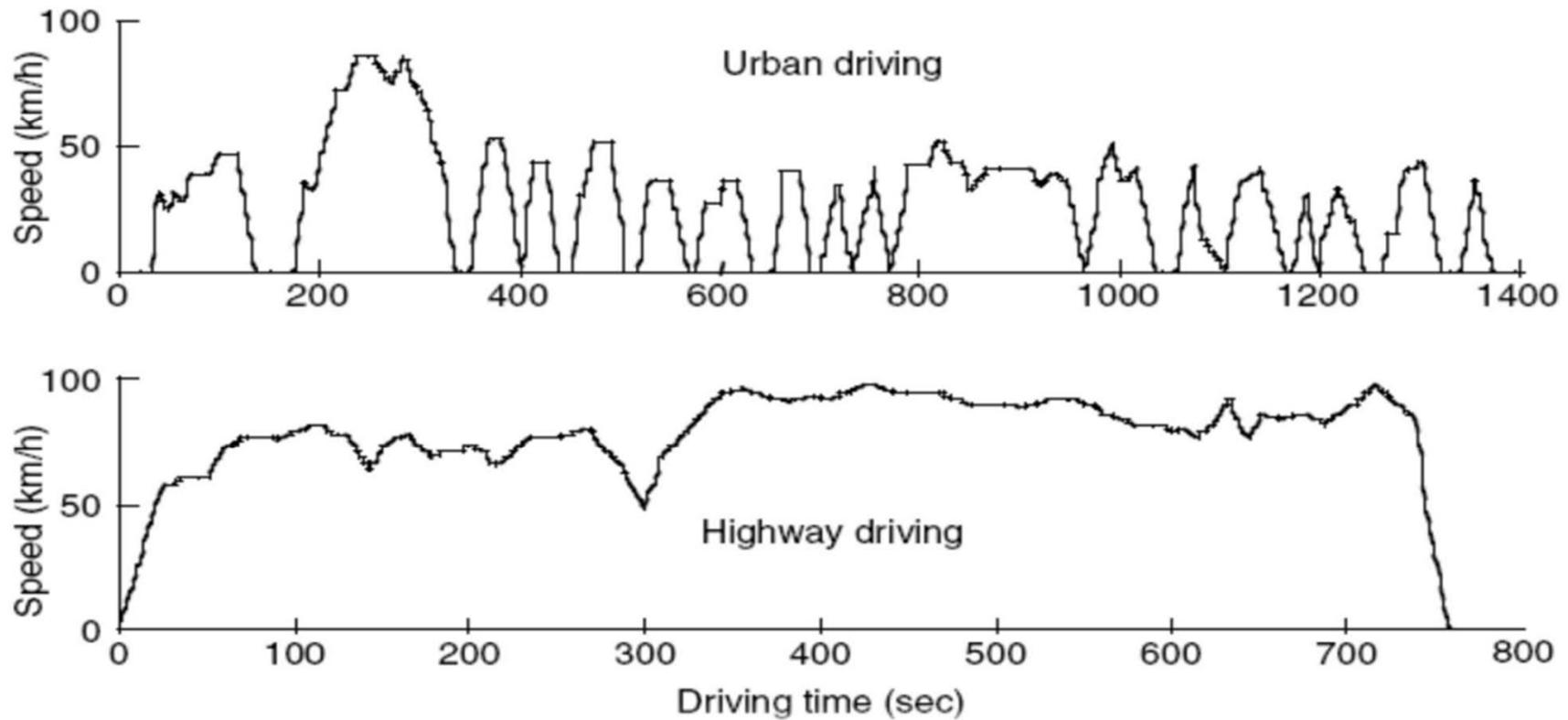


 Exemplos de especificação para veículos elétricos

	Carro de passageiro (Peugeot 106)	Van (Peugeot Berlingo)	Mini-ônibus	Ônibus urbano
Autonomia [km]	120-250	100-150	140-200	150-300
Velocidade máxima [km/h]	100-120	80-120	80	70
Velocidade contínua [km/h]	100	80	60	60
Rampa máxima [%]	30	20-25	15-20	12-15
Aceleração de 0 a 50 km/h [s]	7-10	10-15	12-18	15-20

 Perfil de uso urbano e perfil de uso em estradas

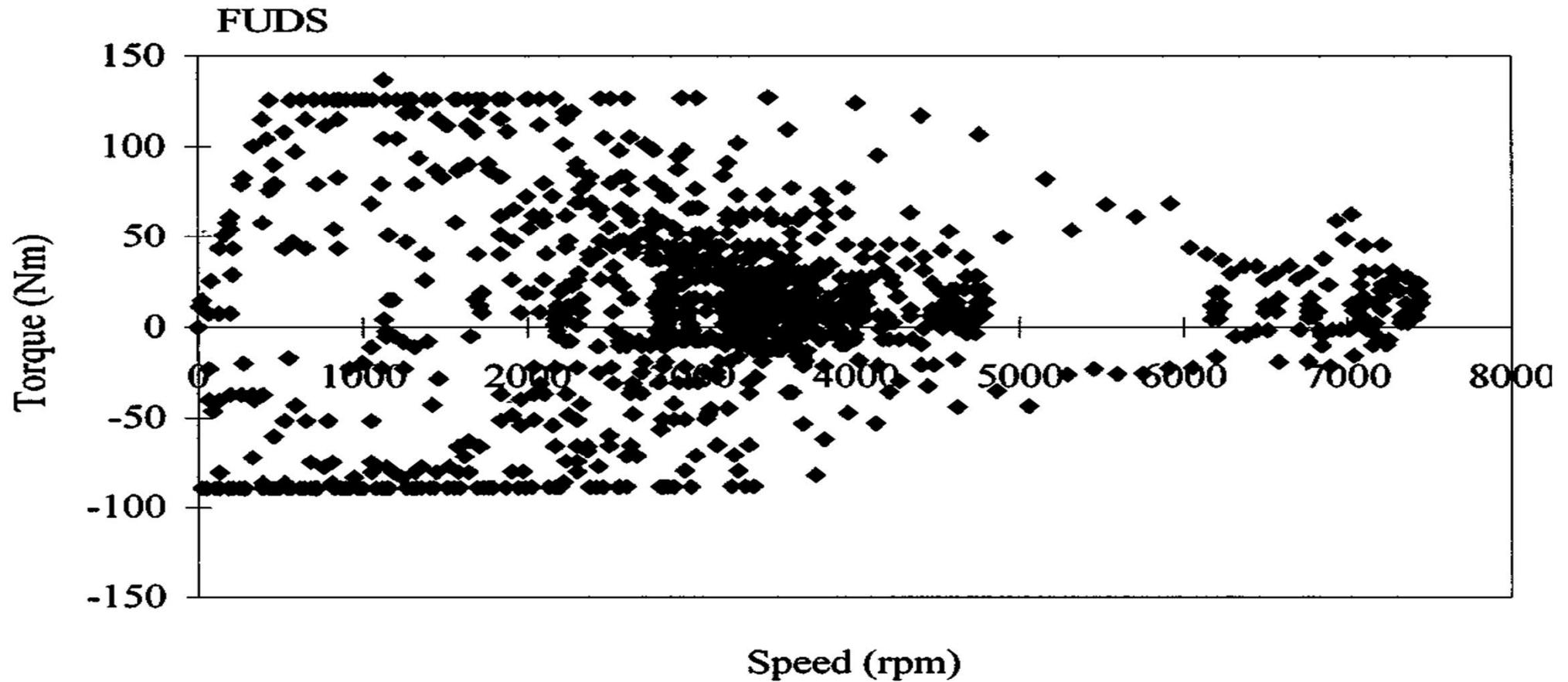
# Urban and Highways drive cycles





# Desempenho real de um carro

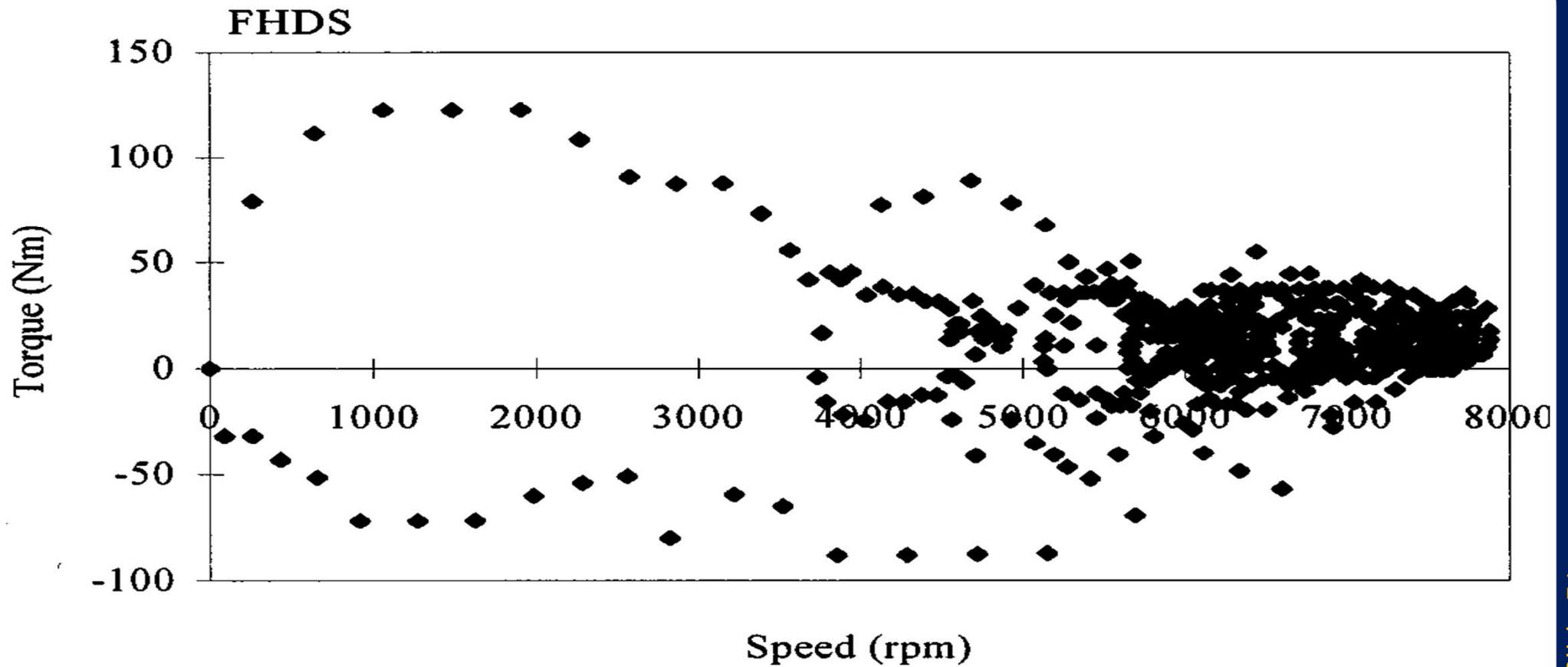
FUDS = Federal Urban Driving Schedule





# Desempenho real de um carro

FHDS = Federal Highway Driving Schedule





## Dados os parâmetros de projeto...

- Como escolher seus componentes?
  - Motores elétricos (tamanho? quais? quantos?)
  - Motores a combustão (tamanho?)
  - Baterias e elementos de armazenamento (quanto? Autonomia?)
  - Conversores e acionamentos (capacidades?)
  - Carregadores e forma de abastecimento (quais?)
- Como acoplá-los? → cadeia cinemática e energética
- Como gerenciá-los? → cadeia de controle
- Como carregá-los? → cadeia de abastecimento
- Como fazer sua manutenção, pós-venda, descomissionamento? → cadeia produtiva!

## (K) Discussões / *Brainstorming* / Elaboraões

Há alguma mudança nos critérios de seleção de motores, desempenho, autonomia, capacidade de rampa, por conta do retorno dos veículos de tração elétrica pura/híbrida?

O projeto de veículos muda/mudou por conta da tração elétrica? Em que pontos?





## (L) Discussões / *Brainstorming* / Elaboraões

Curiosidade: alguns dados de autonomia de carros puramente elétricos em 2018, com seus custos...

- 58 milhas / US\$ 24k
- 84, 115, 124, 125, 151 milhas / US\$ 30k a 35k
- 111, 114, 238 milhas / US\$ 36k a 45k
- 310 milhas / US\$ 49k
- 295 milhas / US\$ 96k
- 335 milhas / US\$ 94k

MAS QUEM SÃO ESSES CARROS?

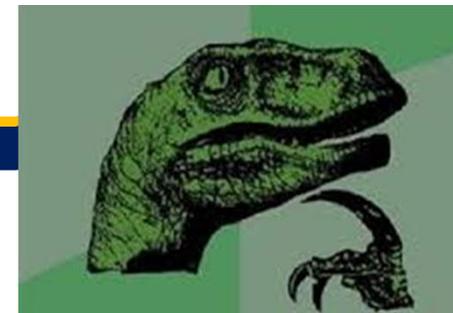




## Sumarizando a segunda parte...

### Projeto de veículos elétricos e híbridos

- Especificações
  - Capacidades
  - Peso x Potência
  - Capacidade de rampa
  - Autonomia
- Partes e peças
  - Mecânicas
  - Hidráulicas
  - Pneumáticas
  - Químicas (lubrificantes, refrigerantes, combustíveis e eletrólitos)
  - Elétricas, Eletrônicas e Computacionais (SW)



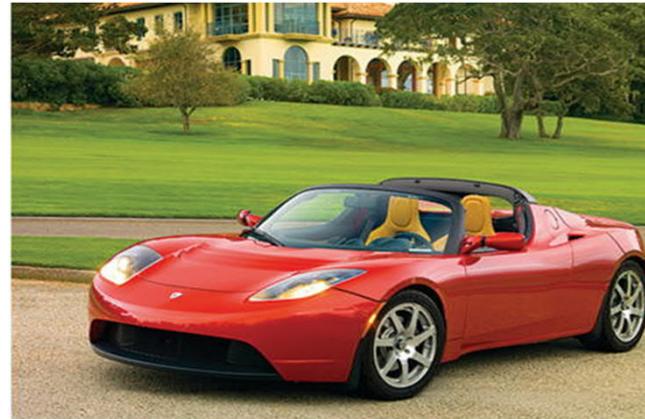


## Diversas configurações

- Vários tipos de veículos
  - ICE – Internal Combustion Engines (tradicional)
  - HEV – Hybrid Electric Vehicle (híbrido)
  - PHEV – Plug-In Hybrid Electric Vehicle (híbrido plug-in)
  - FCEV – Fuel Cell Electric Vehicle
  - BEV – Battery Electric Vehicle
  - BEV-REX – Battery Electric Vehicle with Range Extender (Hybrid)
- Veículos ICE atuais podem se tornar HEV por meio de um aumento de sua eletrificação veicular
- Diversos arranjos dos motores, baterias, conversores, acomplamentos, etc... → TOPOLOGIAS DE VEÍCULOS



# Carro elétrico - motor único



Roda #1

Embreagem diferencial

Roda #2



# Carro elétrico - dois motores



## (M) Discussões / *Brainstorming* / Elaboraões

Quais as vantagens de múltiplos motores elétricos?

Novas funcionalidade de segurança, dirigibilidade?

Simplificações mecânicas?





# Carro elétrico com motores acoplados às rodas



## (N) Discussões / *Brainstorming* / Elaboraões

Qual a implicação de se colocar motores elétricos nas rodas?

Alguém já ouviu falar de massa não suspensa?

Será que muda a dinâmica veicular?





# Motores acoplados diretamente às rodas



60,0 [kW] por roda



## (O) Discussões / *Brainstorming* / Elaborações

Com várias rodas com motores próprios, pode-se:

- Explorar controle de tração?
- Máxima aderência de pneus?
- Serviços de monitoramento dos pneus (raio de giro, calibragem)?





## Carro elétrico híbrido - série

BMW i3



## (P) Discussões / *Brainstorming* / Elaborações

Veículos série e outros tipos de elétricos por vezes não usam seu motor a combustão.

E se não for ativado o modo de segurança (motor a combustão) por muito tempo?

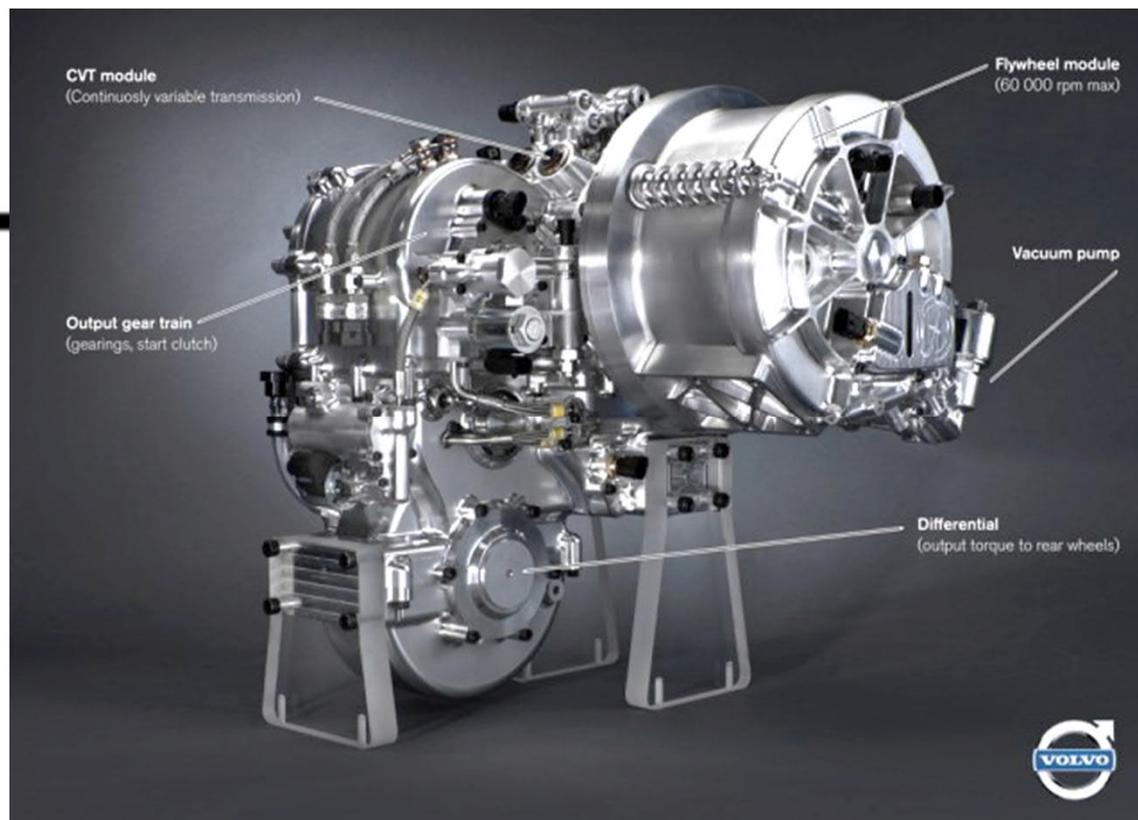
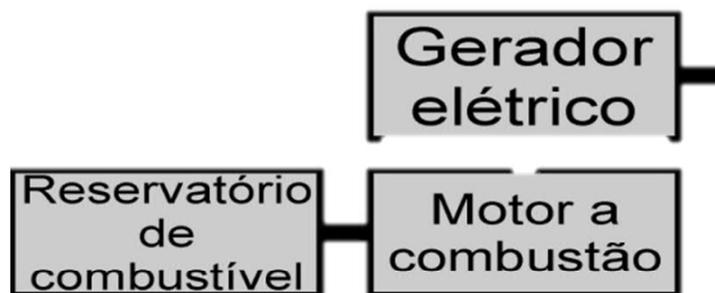
Alguém alguma vez se preocupava com o envelhecimento do combustível?

Alguém alguma vez se preocupava com o envelhecimento do lubrificante?





# Carro híbrido - série com armazenamento de energia diferente



Motor experimental do Volvo S60



## (Q) Discussões / *Brainstorming* / Elaborações

Quais as limitações da densidade de energia e de potência das baterias e outros elementos de armazenamento?

Você já ouviu falar de:

SOC, SOH, BMS, Número de ciclos, Potência máxima, Energia máxima, tensão mínima, capacidade mínima?





## Carro elétrico híbrido - paralelo

Bateria

Reservatório  
de  
combustível

Honda Insight



## (R) Discussões / *Brainstorming* / Elaborações

Nos carros elétricos paralelos e série-paralelos, o motor a combustão se liga com alguma frequência, mas nem sempre.

- E quem gerencia?
- E o lubrificante?
- E o ar condicionado?
- E a direção hidráulica?
- E os freios servoassistidos?
- E o câmbio?





## Carro híbrido – série/paralelo

GM Volt

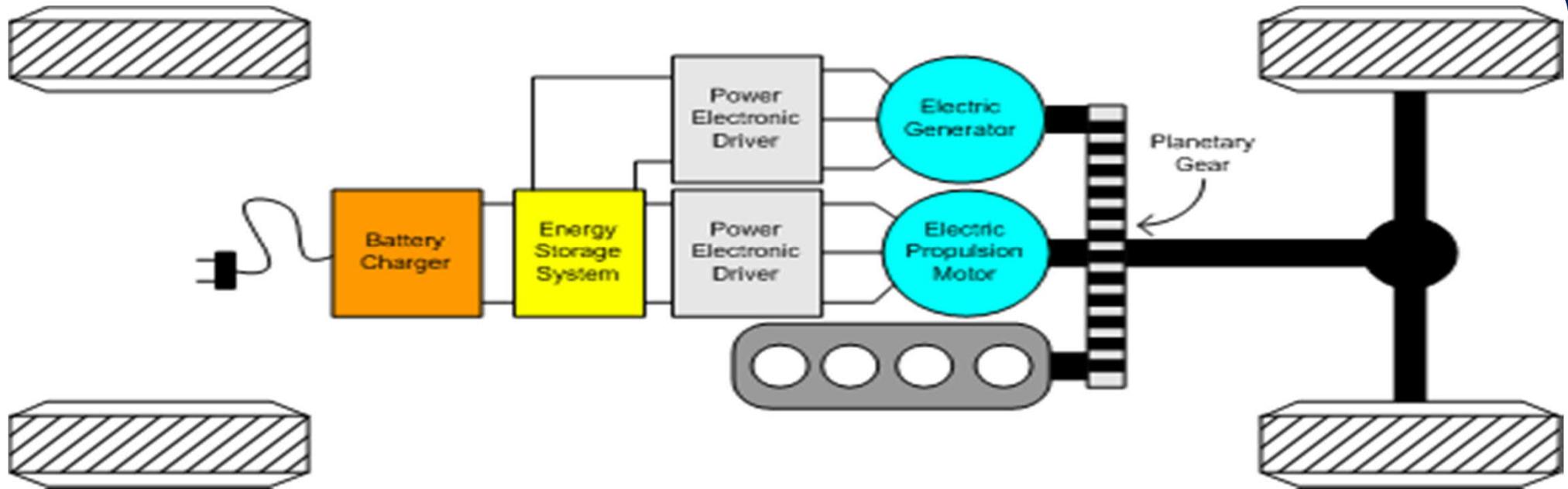


Toyota Prius  
4ª Geração





## Exemplo de Série – Paralelo Plug-In



Consagrada pelo Prius

Usada hoje também no Fusion, Volt, Spark, ...

## (S) Discussões / *Brainstorming* / Elaboraões

Você deve conhecer a diferença entre HEV e PHEV. Mas o carro é muito mais que um veículo no cenário moderno!

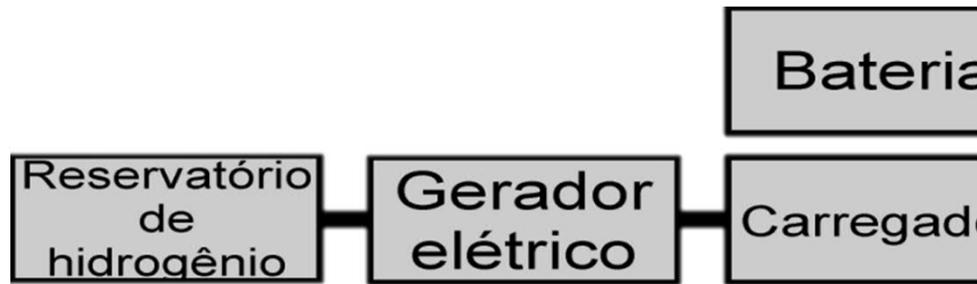
- Já ouviu falar de V2G, G2V nas Smart Grids?
- Já pensou na sobrecarga da rede? E sobre scheduling? E sobre a tarifação?
- E quais os padrões de plugues?



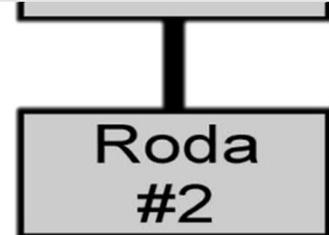


# Carro híbrido - série movido a Hidrogênio

Honda Clarity



Toyota Mirai



## (T) Discussões / *Brainstorming* / Elaboraões

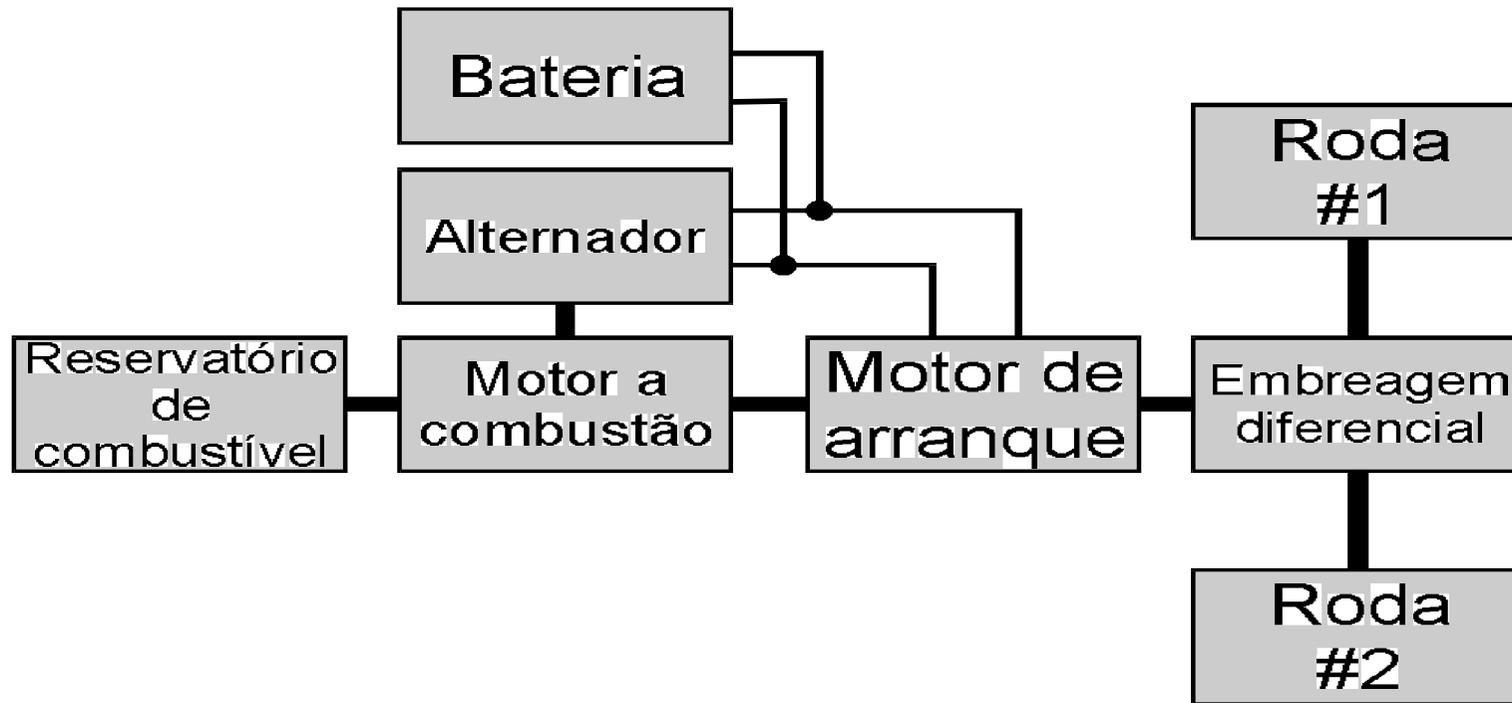
Células a combustível? Quais as capacidades?  
Tamanhos? Custos? Pesos? Volumes?  
Requisitos?

E qual o combustível?





## Discussão: O veículo a combustão interna é um carro híbrido ?



## (U) Discussões / *Brainstorming* / Elaboraões

Carros elétricos são muito mais que BEV, PHEV, etc.

Pense no que significa “eletrificação veicular”: sistemas elétricos em toda a cadeia cinemática e de sistemas auxiliares.

Serviços possíveis: start/stop, frenagem regenerativa, coasting, assistência elétrica em rampas, propulsão elétrica em pequenas distâncias, estacionamento assistido, micro/mild/full-hybrids.

Como realizar testes de emissões em veículos desse tipo? O que medir? Como? E a etiqueta de eficiência energética? Seria a mesma dos carros de hoje?





# Prius da Toyota



## (V) Discussões / *Brainstorming* / Elaborações

Algumas questões em um VEH série-paralelo:

- Como compatibilizar eletrônica e mecânica num mesmo conjunto?
- Como compactar?
- Como obter sinergia de componentes?
- Como resfriá-los? Precisa?
- Como lubrificá-los? Precisa?
- O que ocorre com a garantia? O que ocorre com a vida útil?



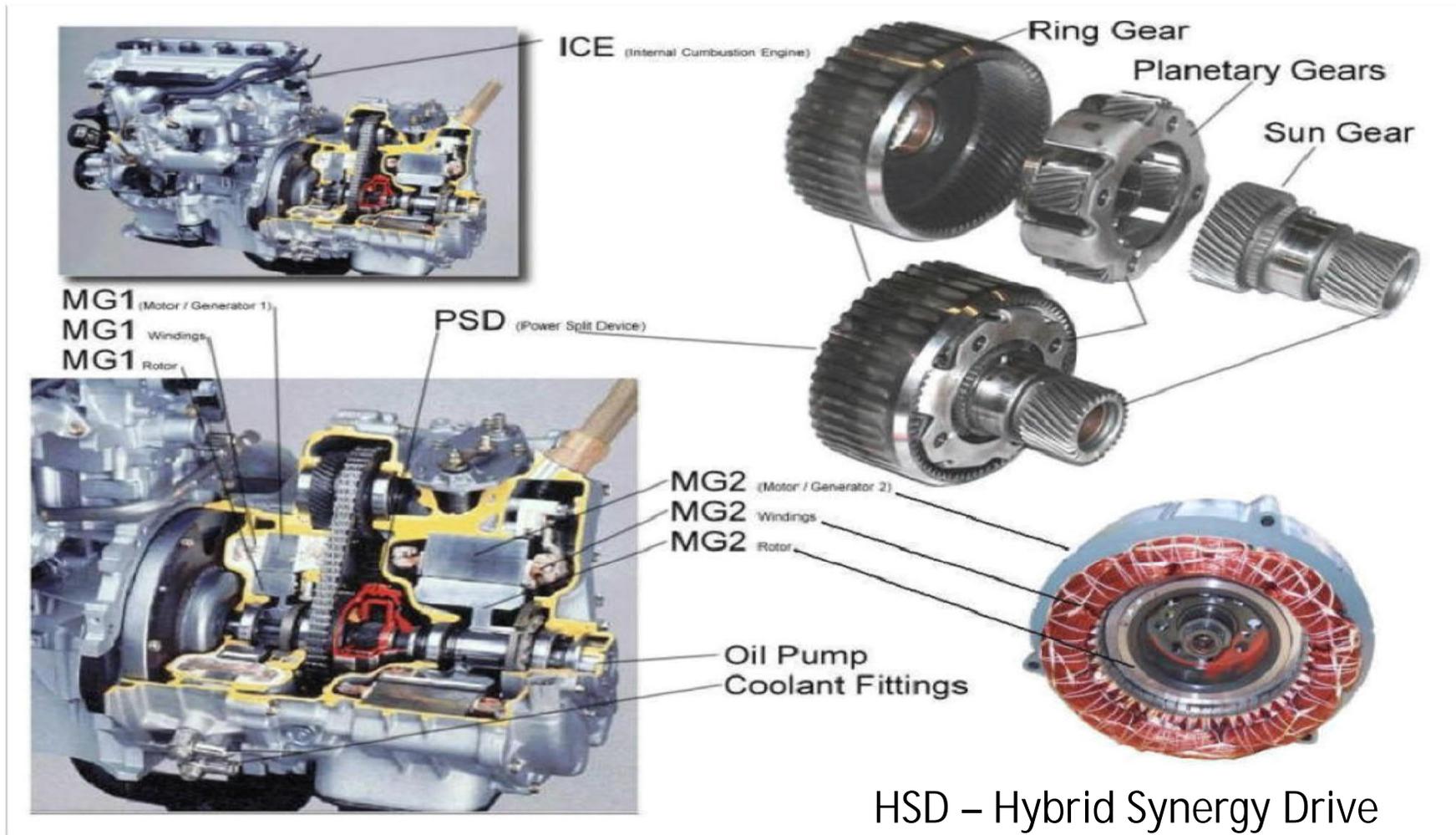


# Sob o capô do Prius



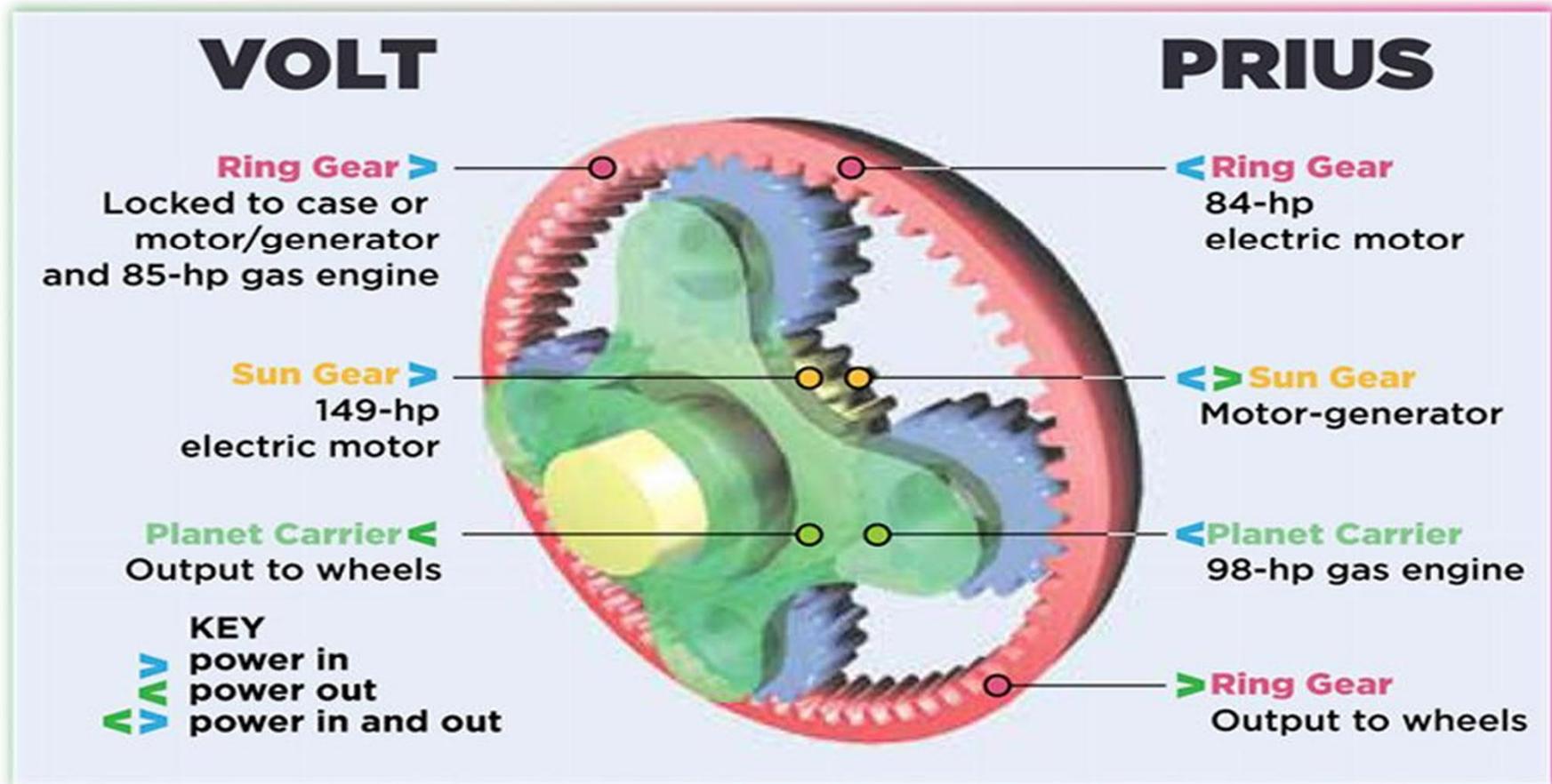


# Os motores do Prius





# PSD – Power Splitting Device





# Insight da Honda



Photo: 2011 Honda Insight Hybrid



# Os motores do Insight



# E que tal ônibus e mini-ônibus elétricos e híbridos

## NEW COASTER



新たに専用ボディカラーを新設定

ひとの住む町に、優しさを。「快適と環境」を両立します。

地球の町。慈しんでゆきたいみんなの町です。人に、環境に、やさしいクルマとして、ベストセラー小型バス「コースター」をベースに、小型ガソリンエンジンで、バッテリーを充電しながらモーターで走る電気バス。「人間優先設計」を根底に、室内空間だけではなく、環境をも考慮したトヨタのフルス

- 主要諸元
- 全長6990×全幅2070×全高2580mm
  - 乗車定員21名
  - 車両重量3930kg
  - 排気量1496cc
  - 発電用エンジン
  - 最大出力 49PS/3,100r/min
  - 最大トルク 11.3kg・m/3,100r/min
  - 駆動用モーター
  - 最大出力 70kW/1,650~4,500r.p.m
  - 最大トルク 405N・m





# Ônibus híbridos elétricos nacionais





## (W) Discussões / *Brainstorming* / Elaboraões

Mas para os carregáveis, qual o padrão para eletropostos?

- T1/T2 – 22,0 kW
- 62,5 kW (CHAdeMO) – carga rápida até 500V DC com 125 A
- SuperCharger Tesla, CCS

Como a rede elétrica irá comportar carregadores domésticos em massa? Capacidade de 10A ou 20A? Scheduling? Smart-Charging? G2V? V2X?

Como adaptar contextos atuais para permitir carregadores domésticos? Ex. Condomínios de apartamentos em São Paulo. Conta vai direto para condômino ou condomínio? Como fazer a instalação elétrica? Medidor intermediário? Cartão pré-pago?





## Sumarizando a terceira parte...

### Topologias de veículos elétricos e híbridos

- Elétrico puro
- Elétrico puro com range extender (híbrido série)
- Híbrido série
- Híbrido paralelo
- Híbrido série-paralelo
- Híbrido com célula a combustível
  
- Raio-X de veículo comercial híbrido





# Mais plugues para nossa vida. Vide: AWAY NILZER TOMADAS NO BRASIL



Tipos de carregadores veiculares presentes no Brasil  
Tipo 1 – SAE J1772, Tipo 2 – Mennekes, CCS Tipo 1 ou Tipo 2

## Modelos de plugue usados em carros elétricos

As montadoras inventaram diferentes padrões de plugue para a tomada de energia de seus modelos elétricos.

### PLUGUE TIPO 1



Plugue monofásico adotado por montadoras da Ásia.

### PLUGUE TIPO 2



Plugue trifásico considerado padrão na Europa.

### PLUGUE GB-T



Parecido com o plugue Tipo 2, porém com mais conectores macho.

### PLUGUES COMBINADOS



Versão aprimorada do plugue Tipo 2, com pinos adicionais para carga rápida.

### PLUGUES CHADEMO



Sistema de carga rápida desenvolvido no Japão.

### PLUGUE TESLA SC



Versão modificada do plugue Mennekes Tipo 2.

Fonte: *The Mobility House*.

G. Cabrera, 17/01/2018

REUTERS

little monsters

-chargepoint+

LITTLE MONSTERS!

<https://www.novacana.com/n/combate/carro-eletrico/guerra-plugues-luta-supremacia-carros-eletricos-300118>



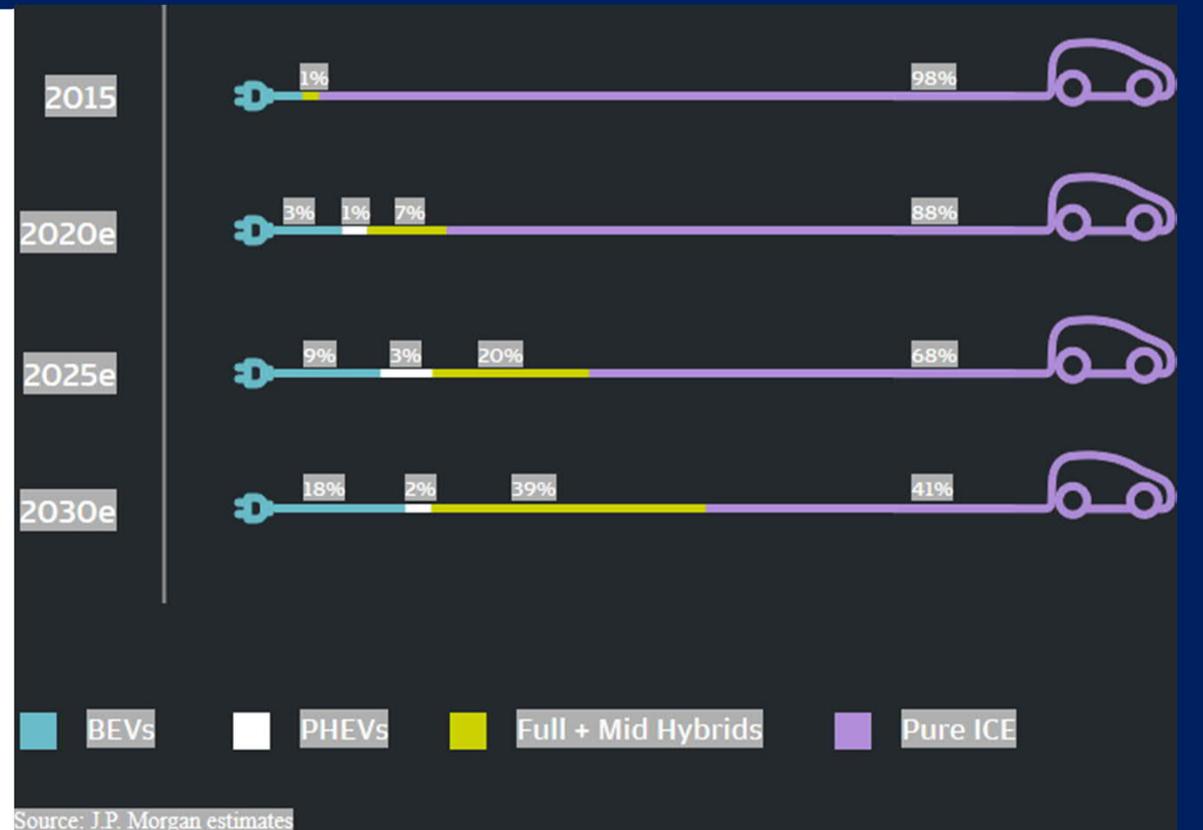
## E a capacidade de baterias?

- 10 a 20 kWh – pequenos veículos, empilhadeiras, montadores de carga, aplicações específicas, percurso com ciclo vicioso, rotas e tráfego conhecido, autonomia de 20 a 100km
- 20 a 60 kWh – veículos médios, autonomia de 100 a 400km
- Acima de 60 kWh – longas distâncias
- De 200 kWh a 1 MWh – ônibus e caminhões (Tesla, DAF ou Nicola)
- Alternativas: Planejamento de rota para recargas, Troca de baterias, Teto fotovoltaico para recarga



# Expectativas de mercado

- Várias pressões governamentais
- Cadeia produtiva não quer ruptura tecnológica
- Perspectivas sensatas segundo o J.P. Morgan → → → → → → → → → →
- Fabricantes de BEV para acompanhar de perto nos próximos anos: Tesla, BAIC, BYD, Zhidou
- Fabricantes de PHEV e FCEV para acompanhar de perto: Toyota, Renault, Honda, GM, VW
- Prestar atenção à nova sociedade do hidrogênio!!! Toyota/Japão!

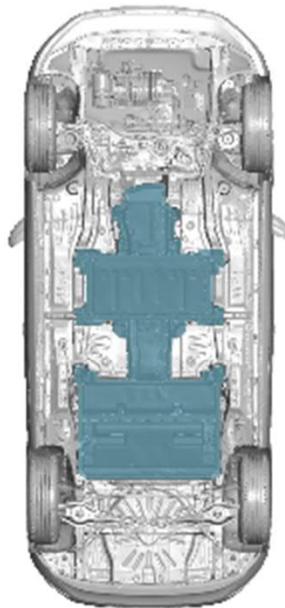


Fonte: J.P.Morgan [4].

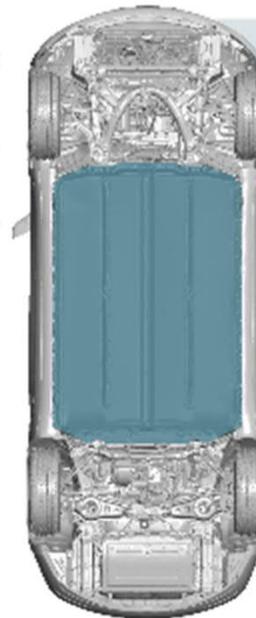
# Há muito projetos adaptados! Não são otimizados.

- Um veículo de motor de combustão é adaptado para se tornar um veículo elétrico ou híbrido! Não é um projeto otimizado! Muito menos econômico e eficiente!
- Ex: Baterias em veículos elétricos com projetos adaptados vs. projetos nativos

Non-native  
electric vehicle,  
battery-pack  
architecture  
example



Native  
electric vehicle,  
battery-pack  
architecture  
example



Benchmarked native  
electric vehicles offer  
**25%** larger battery packs,  
relative to vehicles'  
body-in-white volume

All **3 of 11** benchmarked  
electric vehicles to offer  
multiple range options are  
native electric vehicles

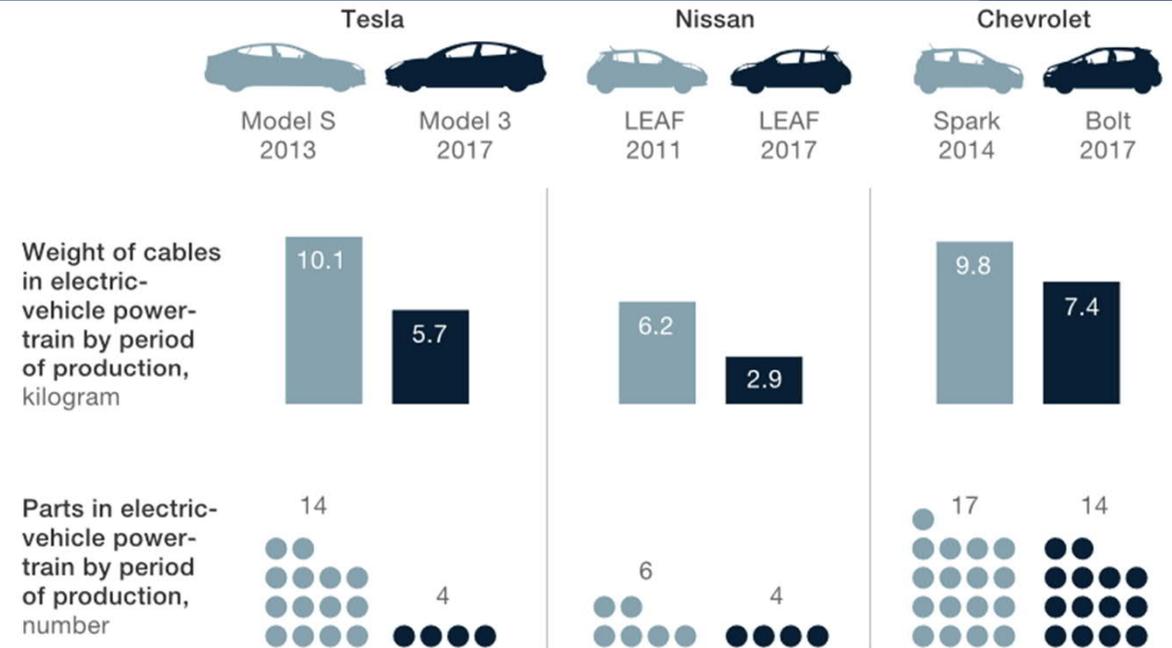
Fonte: McKinsey [3].

Source: A2Mac1; McKinsey Center for Future Mobility



# PHEV, HEV são complexos?

- Fato: o powertrain híbrido não é uma solução trivial
- Mas seu design resulta em uma cadeia cinemática mais SIMPLES que o conjunto tradicional de ICE + Câmbio + transmissão
- Custos de manutenção de PHEV são menores
- Gastam menos freios
- Projetos integrados resultam em blocos bastante compactos
- Alta integração → Menor quantidade de fiações e partes



Source: A2Mac1; McKinsey Center for Future Mobility

Fonte: McKinsey [3].

## (X) Discussões / *Brainstorming* / Elaboraões

Quais as partes e peças para uma nova era? Faça o seu!

- 1) Baterias (diversos arranjos série-paralelo) e baterias híbridas com supercaps
- 2) Conversor CC/CC boost, em quatro quadrantes
- 3) Sistema auxiliar de carregamento das baterias pela rede elétrica
- 4) Gerador elétrico
- 5) Motor de combustão interna
- 6) Motor ou motores de tração elétricos
- 7) Conversores CC/AC para acionamento dos motores de tração em 4 quadrantes
- 8) Resistores ou sistema auxiliar de descarga
- 9) Acoplamentos cinemáticos (reduções, diferenciais, planetárias, semi-eixos)
- 10) Sistemas diversos de gerenciamento (BMS, ICE, Energia, Carga, Tração)
- 11) VEÍCULO HÍBRIDO EM TOPOLOGIA SÉRIE OU PARALELA PLUGIN OU VEÍCULO PURAMENTE ELÉTRICO?





## Pergunta final

Você acha que os veículos elétricos e híbridos são alguma moda, hype, alternativa passageira?

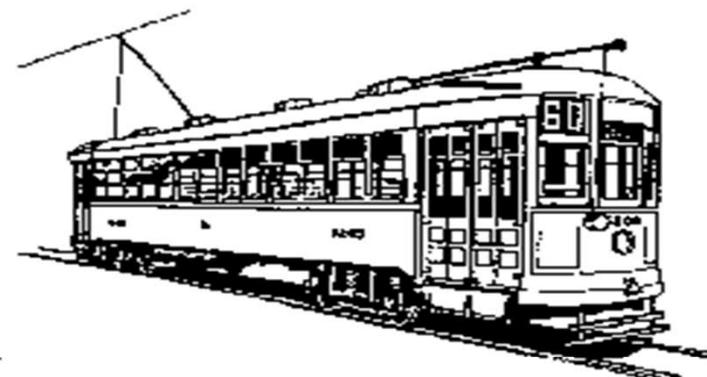
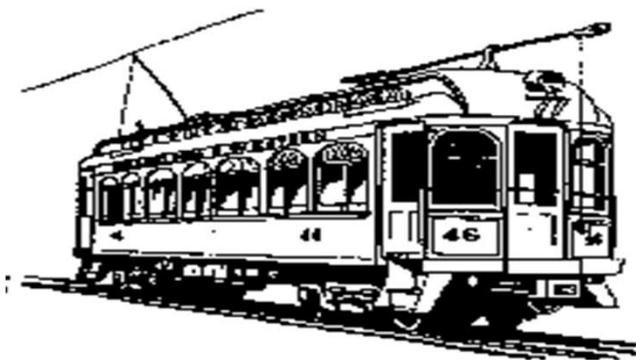
Alguém disse:

“Não existem evidências que esses veículos funcionam ou são a melhor forma de efetuar um aproveitamento energético para mobilidade.”

One moment... Hold my beer... (Vejamos...)



# Um veículo puramente elétrico que sempre deu certo...



De 0,7 a 3,0 [MW] de potência por composição



... e um veículo híbrido que definitivamente deu certo !

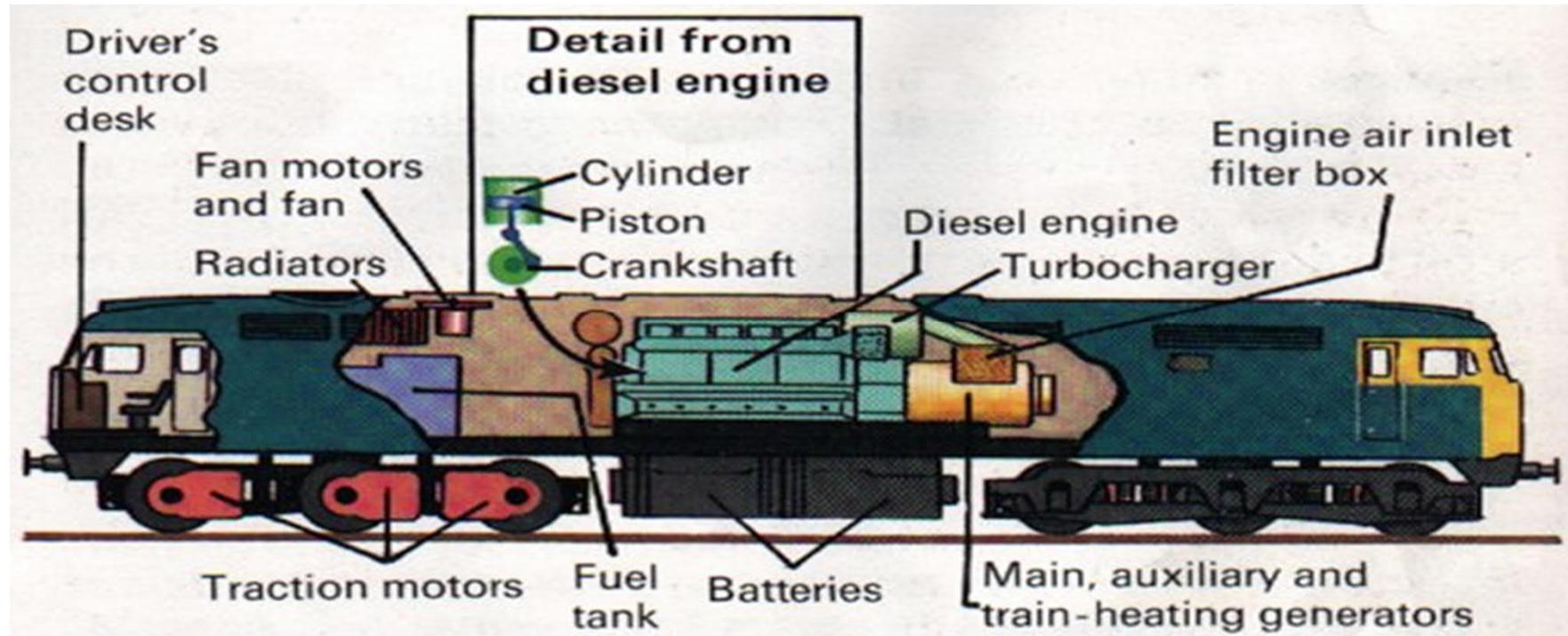


Copyright 2000 Brent Holt





# Uma locomotiva Diesel-Elétrica



De 2,0 a 6,0 [MW] de potência por locomotiva.

Algumas composições com 2 a 4 locomotivas em conjunto!



## Mas não pare por aí...

Navios e submarinos são elétricos e híbridos a mais de 70~80 anos. Instalações elétricas e híbridas consolidadas, com 2,5 a 20,0 [MW] de potência instalada.

E que tal um avião elétrico? Ou híbrido? Protótipos voaram em 2019! Em 2030 primeiro voo comercial de grande porte.





## Necessidades e reflexões: devemos...

- 1) Capacitar mão de obra no país para o setor de montadoras, sistemistas e fornecedores de peças e serviços
- 2) Nacionalizar engenharia e serviços, adaptar e fortalecer a indústria nacional, desenvolver peças e componentes
- 3) Analisar qual o melhor tipo de veículo, ou qual é o veículo ideal para cada panorama de cidade Brasileira: veículos de massa, uso compartilhado, veículos monopessoais, ...
- 4) Desenvolver kits de adaptação para veículos usados! Há mercado para o desenvolvimento de acessórios para conversão, manutenção, depuração, carregadores, medidores, ...
- 5) Preparar a sociedade para a cadeia reversa do veículo híbrido e elétrico. Qual a vida útil do veículo? O que fazer com baterias usadas?
- 6) Como integrar a matriz elétrica brasileira e a cadeia do Etanol? FCEV? HEV Flex?
- 7) Atenção: P&Ds ANEEL, Rota 20-30, Mobilidade Elétrica, ANM (lítio em MG)



# Fim? Perguntas?

Prof. Dr. Eduardo Lorenzetti Pellini

<elpellini@usp.br>

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Departamento de Eng. De Energia e Automação Elétricas



# Realidade eletrizante



By Steve Jurvetson - <https://www.flickr.com/photos/jurvetson/29201643830/>,  
CC BY 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=51187683>



## Algumas referências

[1] Westbrook, M.H, The Electric Car, IEE Power and Energy Series 38, The Institute of Electric Engineers, 2001.

[2] CNN Money, Fortune: America`s most admirable companies, Toyota: The Birth of the Prius, 2006. Disponível online em

[https://money.cnn.com/2006/02/17/news/companies/mostadmired\\_fortune\\_toyota/](https://money.cnn.com/2006/02/17/news/companies/mostadmired_fortune_toyota/).

Último acesso em março de 2019.

[3] Chatelain, V. A., Erriquez, M., Moulière P. e Schäfer P., Elektroautos: Trends in Electric Vehicle Design, McKinsey and Company, Março de 2018. Disponível em

<https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/what-a-teardown-of-the-latest-electric-vehicles-reveals-about-the-future-of-mass-market-evs/de-de>. Último acesso em março de 2019.



## Algumas referências

- [4] J.P. Morgan, Driving into 2025: The future of electric vehicles, Outubro de 2018. Disponível em <https://www.jpmorgan.com/global/research/electric-vehicles>. Último acesso em março de 2019.
- [5] Pressman, M., Forbes: Electric Cars = The future, gassmobile killers, EVANNEX, Setembro de 2018. Disponível em <https://cleantechnica.com/2018/09/28/forbes-electric-cars-the-future-gassmobile-killers/>. Último acesso em março de 2019.
- [6] Hart, E.A., Toyota Prius - Power Split Device (PSD), .Disponível em <http://eahart.com/prius/psd/>. Último acesso em março de 2019.
- [7] Matsubara, M. Page of Matsu, Prius Driving Simulator, 2002. Disponível em [https://www.mmatsubara.com/prius/ThsSimu/index\\_i18n.html?Language=en?Country=U3](https://www.mmatsubara.com/prius/ThsSimu/index_i18n.html?Language=en?Country=U3). Último acesso em março de 2019.
- [8] Habrador, Tesla Driving Simulator, 2012. Disponível em <https://habrador.itch.io/tesla-motors-simulator>. Último acesso em março de 2019.