

Sistema Inteligente de Comparação de Emissões

Combustão vs Elétrico: Utilizando Redes LSTM para Predição de
Emissões Equivalentes



Veículo a Combustão

VS



Veículo Elétrico

V2Lab: Centro de Pesquisa e inovação da DMTIC em veículos automotivos e mobilidade urbana

CONFIANÇA É A
NOSSA MARCA.
gov.br/inmetro



Projetos:



MobiCrowd



CONNECT2AI



Cientistas brasileiros criam sistema que recompensa motoristas por reduzir CO₂ nas cidades

Projeto realizado em Niterói (RJ) criou plataforma de monetização de dados, onde motoristas podem compartilhar informações em troca de recompensas financeiras

3 minutos, 2 segundos de leitura • 30/06/2025



Case: Estimação de Emissão de CO2 Equivalente

- **Transição Energética:** A indústria automotiva está em processo de eletrificação, mas como avaliar objetivamente o impacto ambiental real?
- **Necessidade de Comparação:** Consumidores, fabricantes e formuladores de políticas precisam comparar emissões entre tecnologias diferentes.
- **Condições Reais:** As comparações devem refletir condições reais de uso, considerando padrões específicos de condução.
- **Pergunta Central:** "Se um veículo a combustão fizesse exatamente o mesmo trajeto que um veículo elétrico, qual seria a diferença real nas emissões?"

Cenário Típico de Comparação

Um consumidor quer saber o impacto ambiental de trocar seu carro a combustão por um elétrico, considerando seu padrão específico de condução



Veículo Atual

Dados disponíveis:

Velocidade, Torque, Throttle



Veículo Elétrico

Dados desconhecidos:

Como se comportaria?

Desafio

Impossível testar ambos os veículos simultaneamente no mesmo trajeto para comparação direta

O Problema

CONFIANÇA É A
NOSSA MARCA.
gov.br/inmetro



- **Comparação Justa:** Como comparar emissões de veículos com tecnologias fundamentalmente diferentes?
- **Desafio Técnico:** Mesmo perfil de condução (velocidade), mas comportamentos mecânicos distintos (torque, posição do pedal).
- **Dados Limitados:** Impossibilidade de testar o mesmo trajeto com ambos os veículos simultaneamente.
- **Necessidade:** Estimativa equivalente que permita comparação justa sob as mesmas condições de uso.



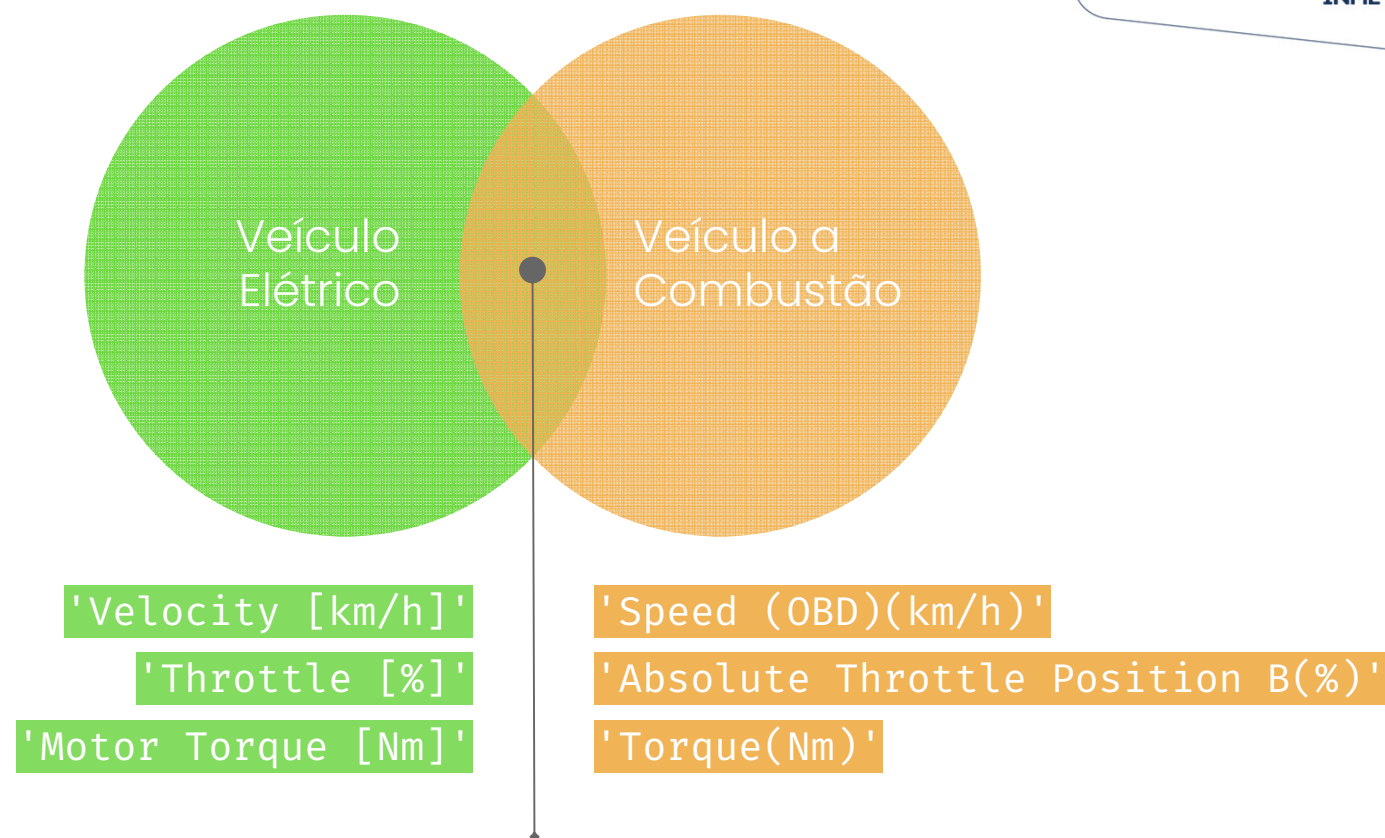
Mesmo perfil de velocidade
Diferentes emissões

Modelo de IA para Equivalência de Emissões de CO2

**CONFIANÇA É A
NOSSA MARCA.**
gov.br/inmetro



- **É possível utilizar modelos de ML embarcados para determinar a quantidade de CO2 emitida ou evitada em veículos?**
- **Qual a intersecção entre os parâmetros de um veículo elétrico e um a combustão?**



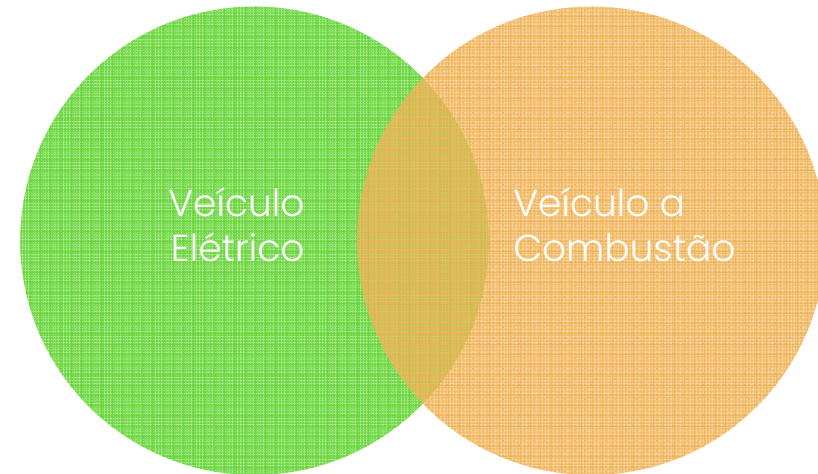
Quais dos dados que podem ser usados para calcular as emissões de CO₂?

$$E_{CO_2} = \frac{|I \times V|}{1000 \times V_{km/h}} \times 38.5$$

- E_{CO_2} é a emissão estimada de CO₂ em g/km.
- I é a corrente da bateria em A.
- V é a tensão da bateria em V.
- $V_{km/h}$ é a velocidade do veículo em km/h.
- 38.5 gCO₂/kWh é o fator médio de emissão de CO₂

$$E_{CO_2} = \frac{1}{K} \times \left(\frac{(100 - P)}{100} \times F_g + \frac{P}{100} \times F_e \right)$$

- E_{CO_2} é a emissão de CO₂ em g/km.
- K é a eficiência instantânea do veículo em km/L.
- P é a porcentagem de etanol no combustível (%).
- $F_g = 2310$ g/L é o fator de emissão da gasolina.
- $F_e = 1510$ g/L é o fator de emissão do etanol.



Battery Current [A]

Battery Voltage [V]

Kilometers Per

Litre(Instant)(kpl)

Ethanol Fuel %(%)

Construindo um Modelo



Problema: Carro Elétrico e Carro a Combustão tem perfil de condução distintos

A Solução Proposta

CONFIANÇA É A
NOSSA MARCA.
gov.br/inmetro



- **Sistema de Modelos em Cascata:** Três redes neurais LSTM (**Long Short-Term Memory**) especializados trabalhando em conjunto para uma predição precisa.
- **Aprendizado de Padrões Temporais:** Uso de LSTM para capturar relações complexas entre variáveis ao longo do tempo.
- **Transferência de Conhecimento:** Predição de comportamento de veículo elétrico a partir de dados de veículo a combustão.
- **Comparação Equivalente:** Estimativa de emissões sob o mesmo perfil de condução para comparação justa.

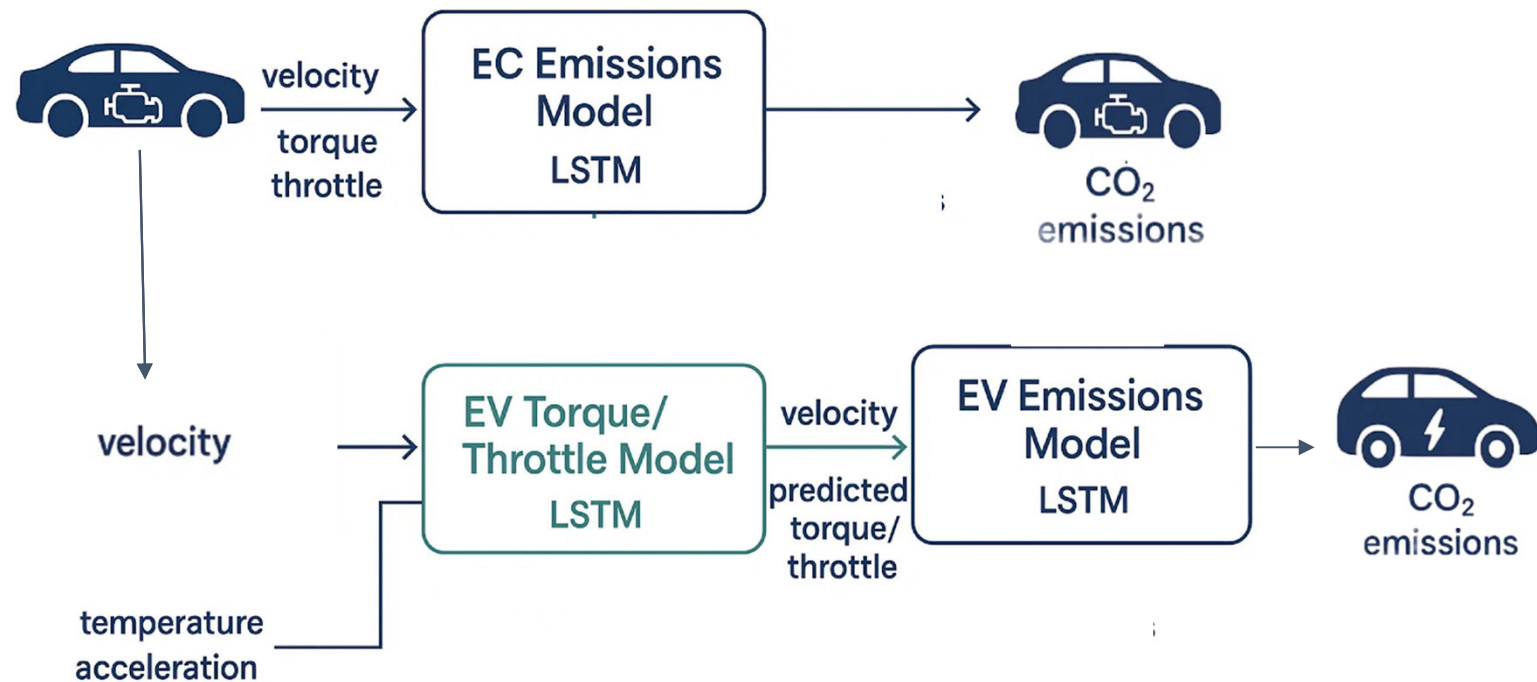


Arquitetura do Sistema - Visão Geral

CONFIANÇA É A
NOSSA MARCA.
gov.br/inmetro



VEHICLE EMISSIONS COMPARISON



Modelo 1: Predição de Emissões (Combustão)

CONFIANÇA É A
NOSSA MARCA.
gov.br/inmetro



Entradas: Velocidade [km/h], Torque do Motor [Nm],
Posição do Acelerador [%]

Saída: Emissões de CO₂ [g/s]

Arquitetura: Rede LSTM com 32 unidades ocultas,
normalização de camada e dropout para evitar
overfitting

Treinamento: 200 épocas com otimizador Adam e
learning rate com warm-up e decaimento

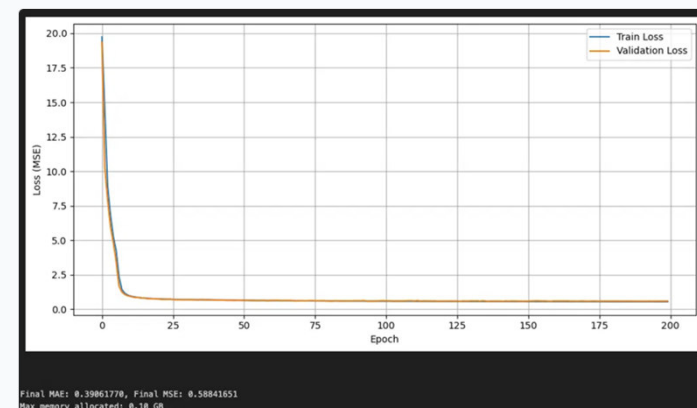
Métricas de Performance

MAE (Erro Médio Absoluto): **0.39**

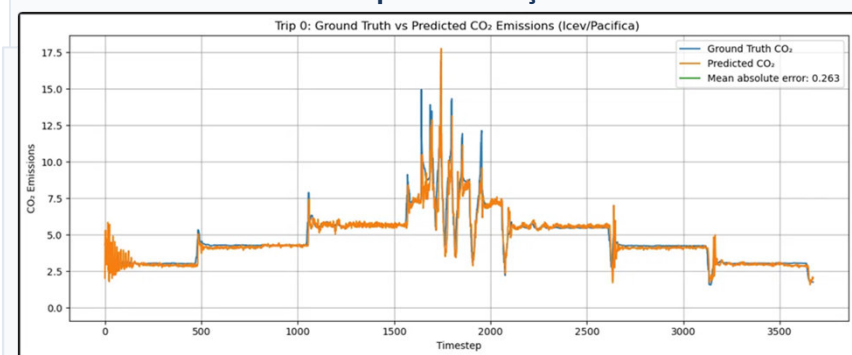
MSE (Erro Quadrático Médio): **0.59**

Memória Utilizada: **0.10 GB**

Curva de Treinamento



Exemplo de Predição



Modelo 2: Predição de Torque/Throttle(Elétrico)

CONFIANÇA É A
NOSSA MARCA.
gov.br/inmetro



Arquitetura do Modelo

LSTM(4, 32, batch_first=True)

Linear(32, 32) → ReLU → LayerNorm → Dropout(0.1)

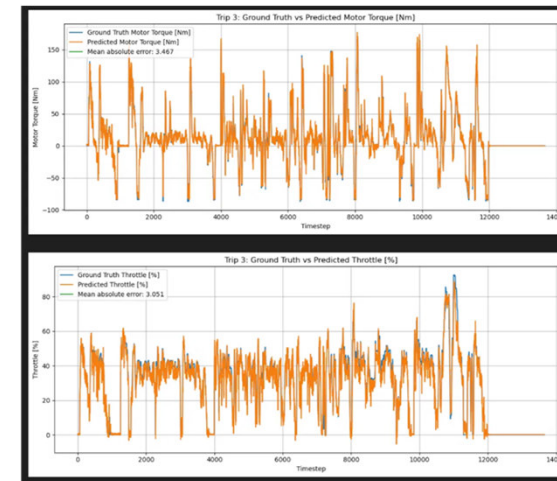
Linear(32, 2) → Saída: [Torque, Throttle]

Entradas: Velocidade, Temperatura Ambiente, Temperatura da Cabine, Aceleração Longitudinal

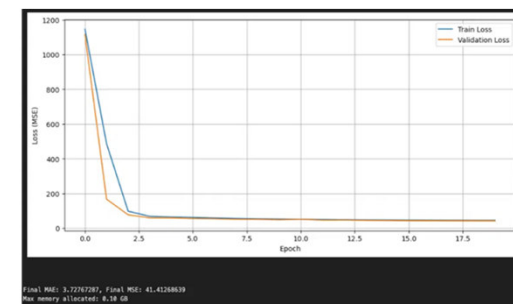
Saídas: Torque do Motor [Nm], Posição do Pedal [%]

Objetivo: Estimar como um veículo elétrico se comportaria (torque/throttle) sob o mesmo perfil de velocidade de um veículo a combustão

Desempenho: MAE Torque = 3.47 Nm, MAE Throttle = 3.05%



Predição vs. Ground Truth para Torque e Throttle



Convergência: Loss inicial ~1200, final ~41

Modelo 3: Predição de Emissões (Elétrico)

CONFIANÇA É A
NOSSA MARCA.
gov.br/inmetro



Entradas do Modelo: Velocidade do veículo, torque do motor e posição do acelerador (throttle) preditos pelo Modelo 2.

Saída do Modelo: Emissões de CO₂ estimadas para um veículo elétrico equivalente.

Arquitetura: Rede LSTM com 32 unidades ocultas, camadas de normalização e dropout para evitar overfitting.

Treinamento: 20 épocas com learning rate adaptativo (cosine annealing com warm-up), otimizador Adam.

Métricas de Performance

MSE (Erro Quadrático Médio):

0.0036

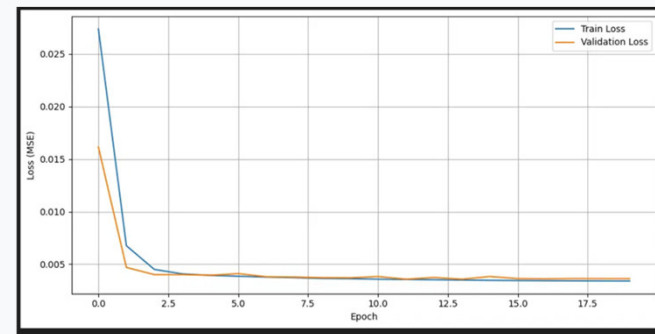
MAE (Erro Absoluto Médio):

0.019

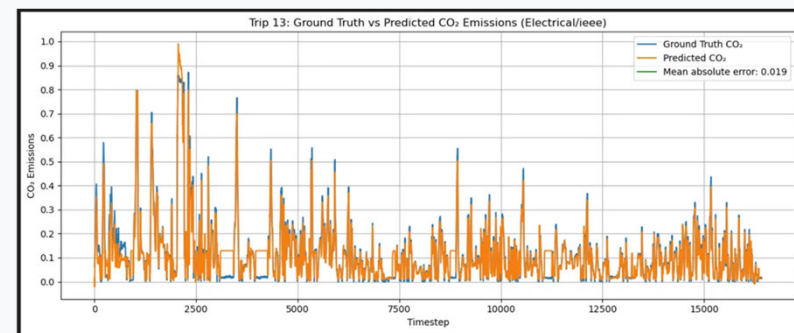
Tempo de Inferência:

< 5ms

Curva de Treinamento



Predição vs Valores Reais



Resultados do Sistema Completo

CONFIANÇA É A
NOSSA MARCA.
gov.br/inmetro



- **Validação da Premissa:** Comparação direta entre usar features estimadas (torque/throttle preditos) vs. features reais para predição de emissões EV.
- **Resultados Quase Idênticos:** MAE de 0.024 (features estimadas) vs. 0.030 (features reais), demonstrando que usar features estimadas funciona perfeitamente.
- **Prova de Conceito:** O sistema consegue estimar com alta precisão o comportamento de um veículo elétrico a partir de dados de combustão.
- **Aplicabilidade Real:** Diferença mínima entre usar features estimadas vs. reais confirma a viabilidade prática do sistema para comparações justas.

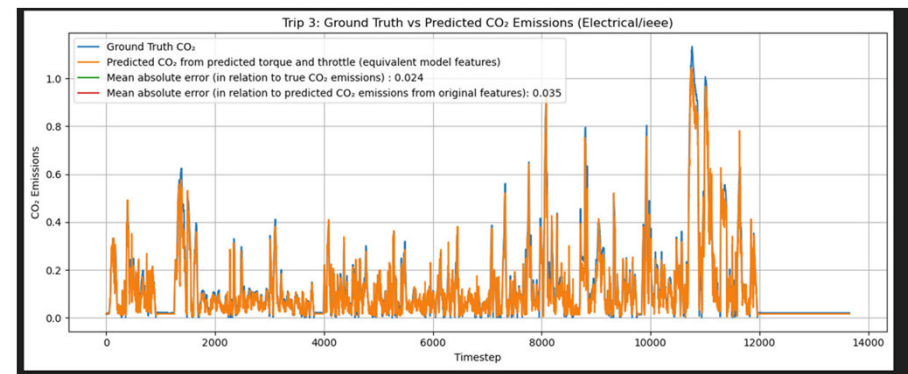
Métricas de Validação

MAE (Features Estimadas): 0.024

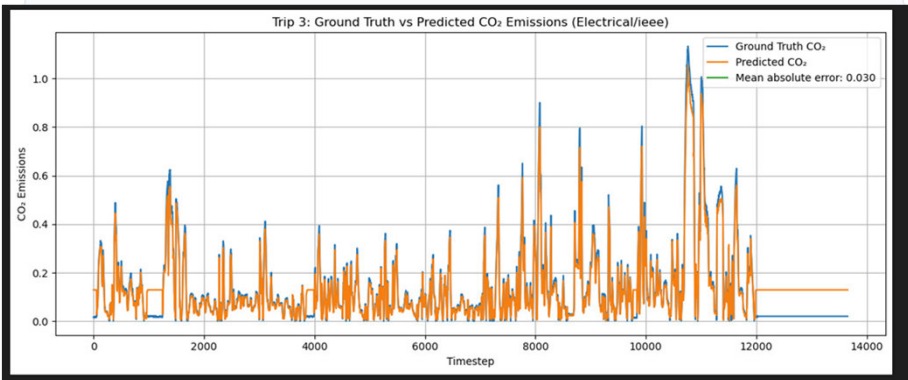
MAE (Features Reais): 0.030

Diferença: 0.006 (2%)

Features Estimadas: Predicted Torque and Throttle



Features Reais: Original Features



Conclusões e Impacto

CONFIANÇA É A
NOSSA MARCA.
gov.br/inmetro



Conclusões

- **Comparação Justa:** O sistema permite comparar emissões entre veículos com tecnologias diferentes sob o mesmo perfil de condução.
- **Precisão Comprovada:** Baixos valores de erro (MAE entre 0.025-0.041) demonstram a eficácia da abordagem em cascata.
- **Transferência de Conhecimento:** O sistema consegue estimar comportamentos de veículos elétricos a partir de dados de veículos a combustão.

Próximos Passos

- Refinamento dos modelos com mais dados de diferentes veículos
- Expansão para outros tipos de poluentes e métricas
- Implementação em sistemas embarcados para análise em tempo real

Impacto Potencial

- **Desenvolvimento de Veículos:** Auxilia fabricantes na otimização de veículos elétricos, identificando pontos de melhoria em comparação com modelos a combustão.
- **Políticas Ambientais:** Fornece dados concretos para formulação de políticas de incentivo à eletrificação da frota com base em comparações justas.
- **Decisão do Consumidor:** Permite que consumidores comparem o impacto ambiental real entre diferentes tecnologias para seus padrões específicos de condução.
- **Pesquisa Acadêmica:** Estabelece uma metodologia para comparação justa entre tecnologias automotivas, contribuindo para o avanço científico na área.

Obrigado!

Perguntas?

