

# 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

Projetos:



*MobiCrowd*

**CONNECT2AI**

**Cientistas brasileiros criam sistema que recompensa motoristas por reduzir CO<sub>2</sub> nas cidades**

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

**mobilidade**  
ESTADÃO



Instituto de  
Computação

40  
ANOS  
UFF  
1974-2014  
TELECOM UFF

INMETRO

*mover*

*FAPERJ*



# Case: Estimação de Emissão de CO<sub>2</sub> 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

- **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

CONFIANÇA É A  
NOSSA MARCA.  
[gov.br/inmetro](http://gov.br/inmetro)



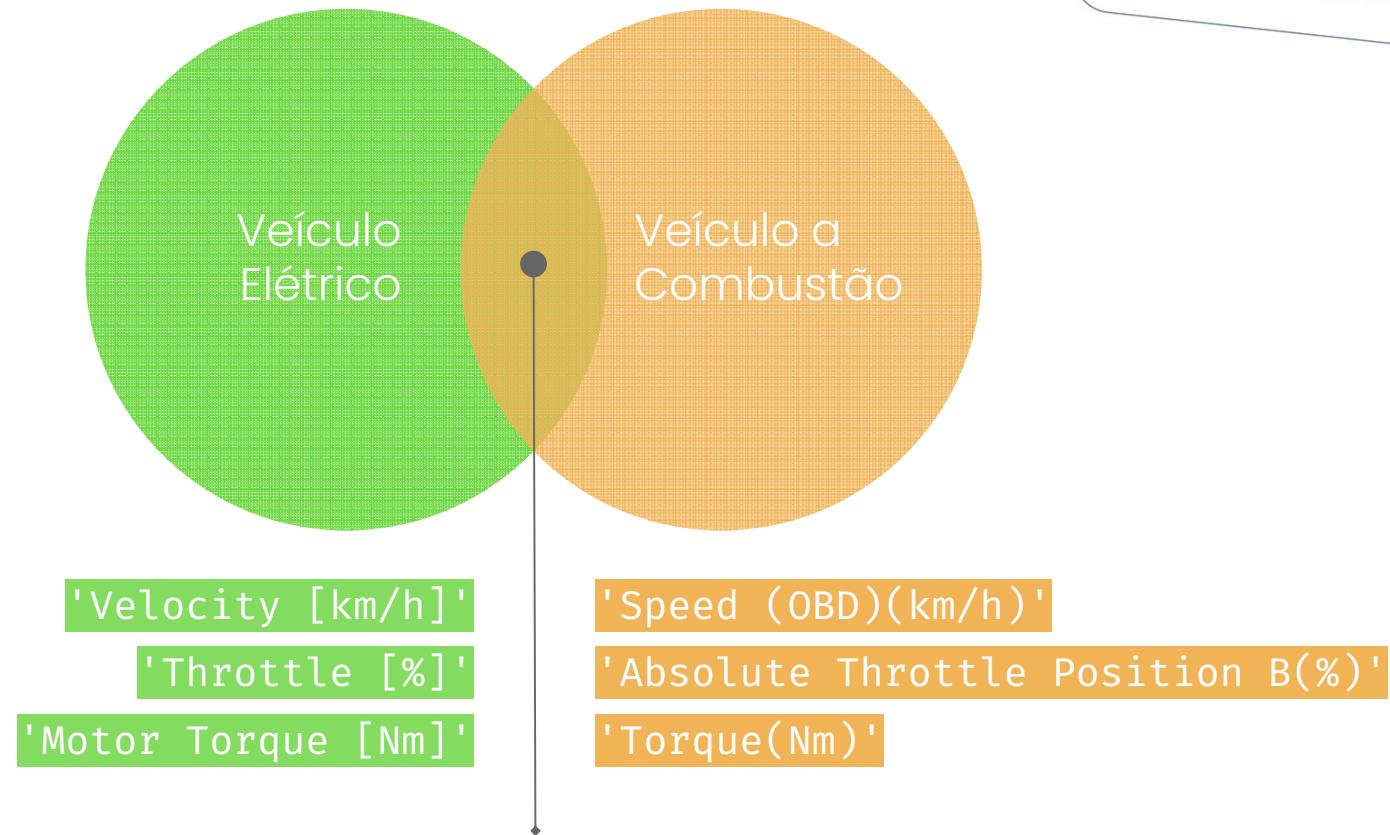
## Modelo de IA para Equivalência de Emissões de CO<sub>2</sub>

CONFIANÇA É A  
NOSSA MARCA.  
[gov.br/inmetro](http://gov.br/inmetro)



- É possível utilizar modelos de ML embarcados para determinar a quantidade de CO<sub>2</sub> emitida ou evitada em veículos?
- Qual a intersecção entre os parâmetros de um veículo elétrico e um a combustão?

**CONFIANÇA É A  
NOSSA MARCA.**  
[gov.br/inmetro](http://gov.br/inmetro)



## Quais dos dados que podem ser usados para calcular as emissões de CO<sub>2</sub>?

CONFIANÇA É A  
NOSSA MARCA.  
[gov.br/inmetro](http://gov.br/inmetro)

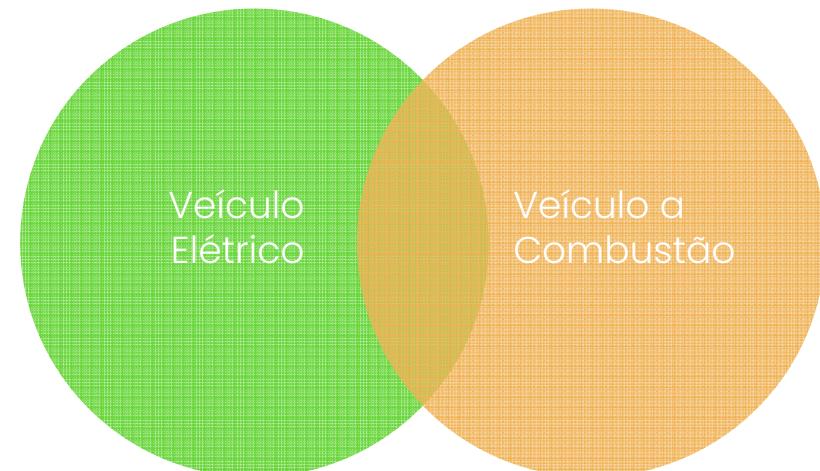


$$E_{CO2} = \frac{|I \times V|}{1000 \times V_{km/h}} \times 38.5$$

- $E_{CO2}$  é a emissão estimada de CO<sub>2</sub> 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 gCO<sub>2</sub>/kWh é o fator médio de emissão de CO<sub>2</sub>.

$$E_{CO2} = \frac{1}{K} \times \left( \frac{(100 - P)}{100} \times F_g + \frac{P}{100} \times F_e \right)$$

- $E_{CO2}$  é a emissão de CO<sub>2</sub> 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]

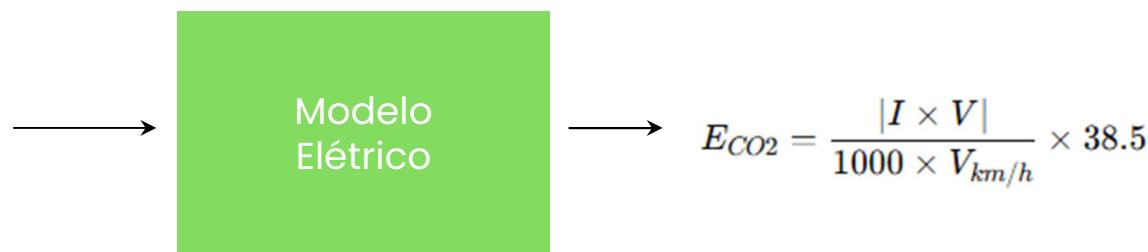
Kilometers Per

Litre(Instant)(kpl)

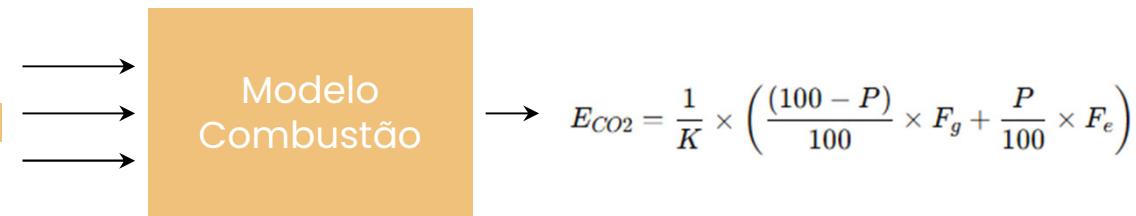
Ethanol Fuel %(%)

## Construindo um Modelo

'Velocity [km/h]'  
'Throttle [%]'  
'Motor Torque [Nm]'



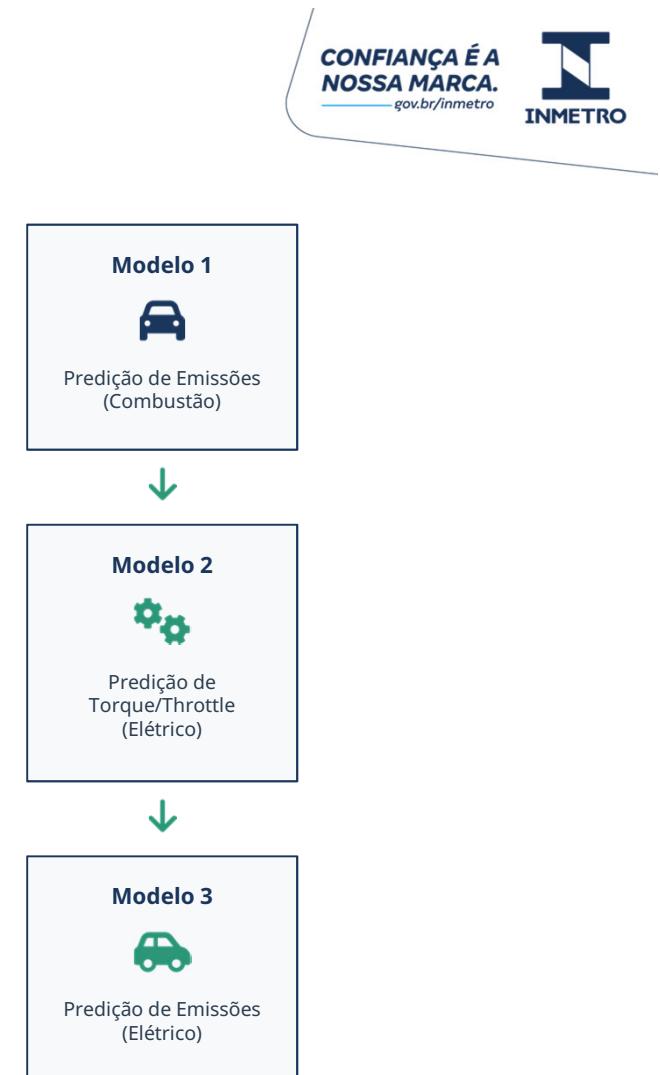
'Speed (OBD)(km/h)'  
'Absolute Throttle Position B(%)'  
'Torque(Nm)'



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

# A Solução Proposta

- 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.



CONFIANÇA É A  
NOSSA MARCA.  
gov.br/inmetro

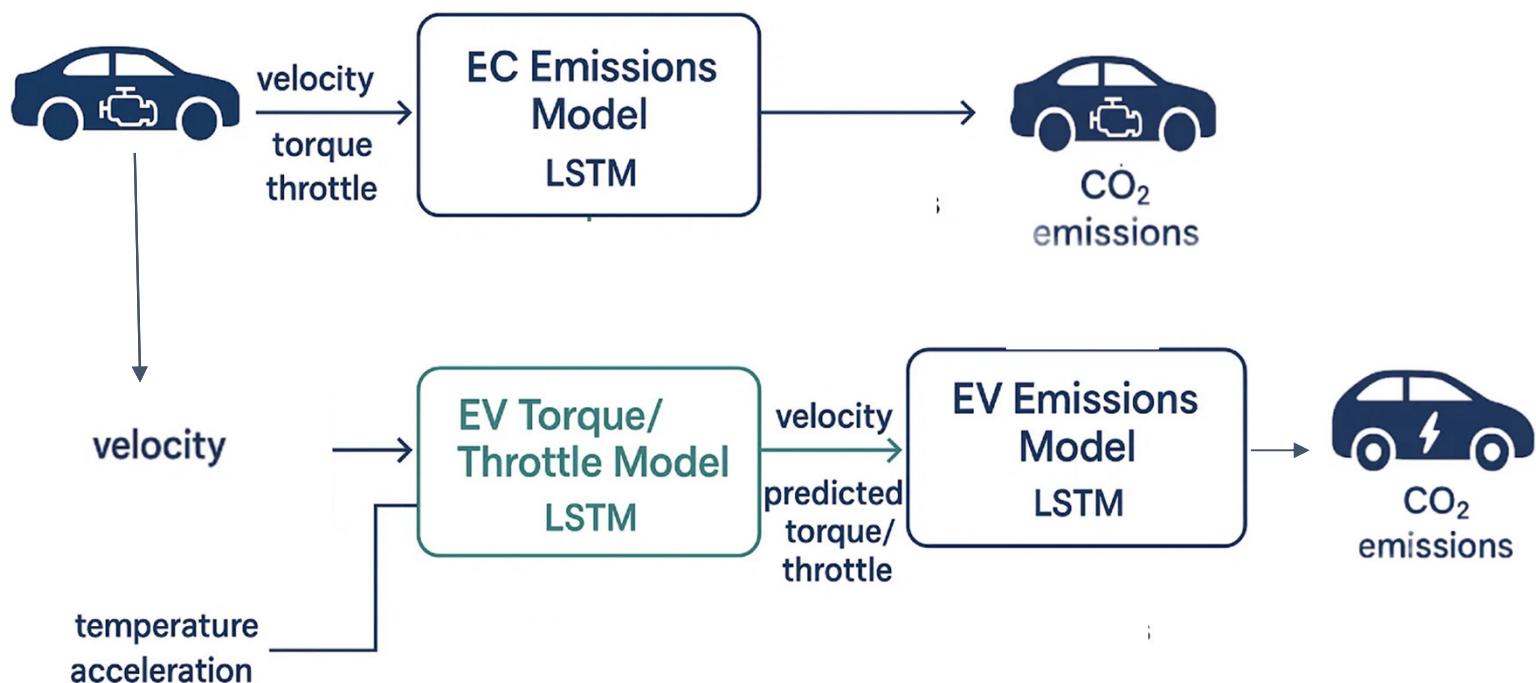


# Arquitetura do Sistema - Visão Geral

CONFIANÇA É A  
NOSSA MARCA.  
[gov.br/inmetro](http://gov.br/inmetro)



## VEHICLE EMISSIONS COMPARISON



# Modelo 1: Predição de Emissões (Combustão)

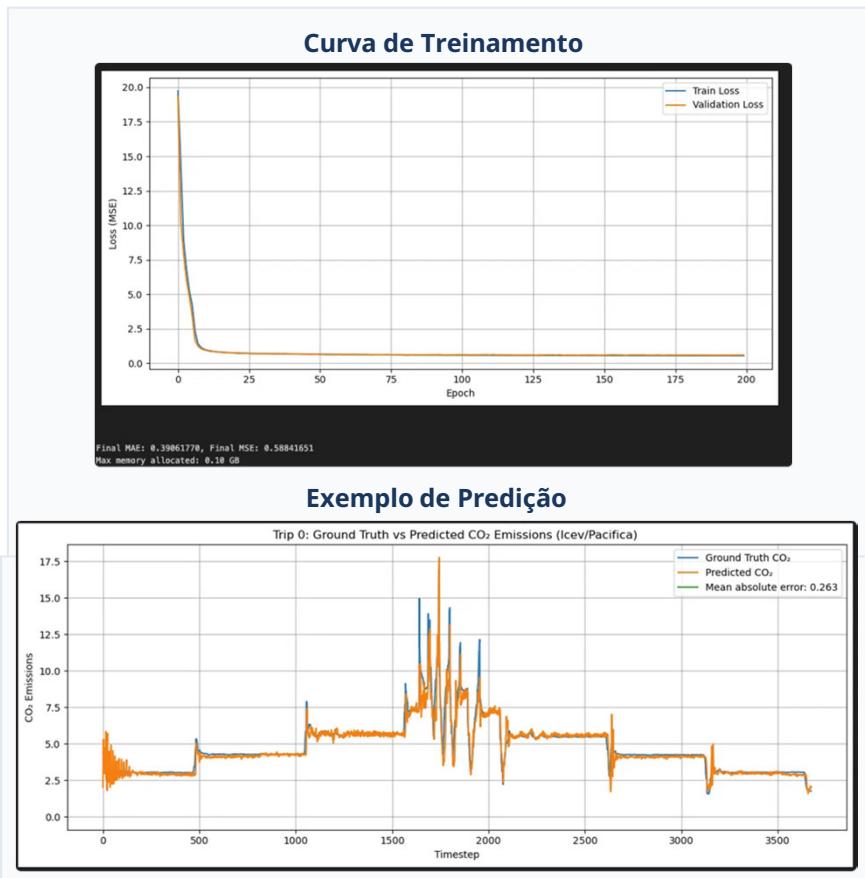
CONFIANÇA É A  
NOSSA MARCA.  
[gov.br/inmetro](http://gov.br/inmetro)



- Entradas:** Velocidade [km/h], Torque do Motor [Nm], Posição do Acelerador [%]
- Saída:** Emissões de CO<sub>2</sub> [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):   | <b>0.39</b>    |
| MSE (Erro Quadrático Médio): | <b>0.59</b>    |
| Memória Utilizada:           | <b>0.10 GB</b> |

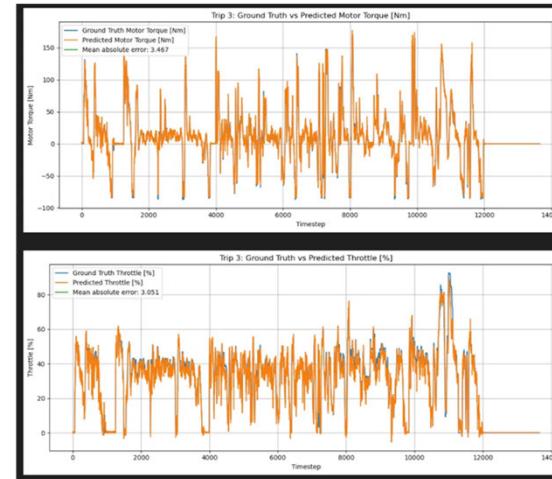


# Modelo 2: Predição de Torque/Throttle(Elétrico)

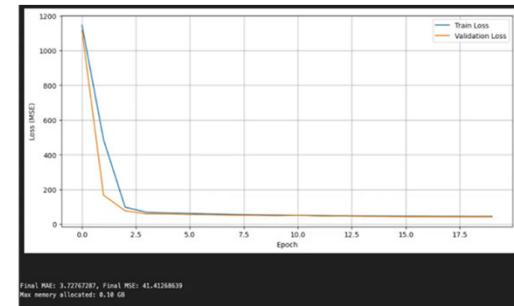
## Arquitetura do Modelo

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](http://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 CO<sub>2</sub> 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**

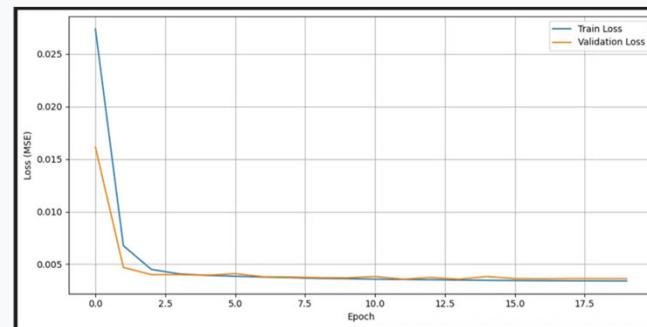
MAE (Erro Absoluto Médio):

**0.019**

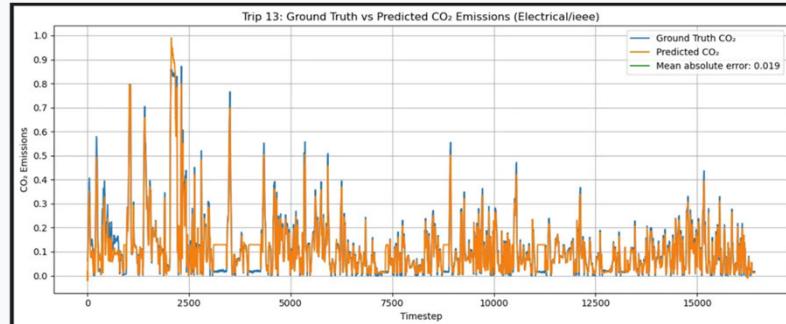
Tempo de Inferência:

**< 5ms**

Curva de Treinamento



Predição vs Valores Reais



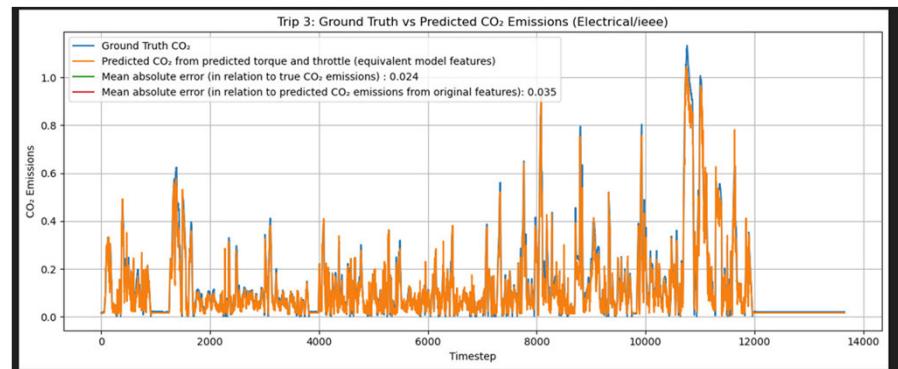
# Resultados do Sistema Completo

- 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.

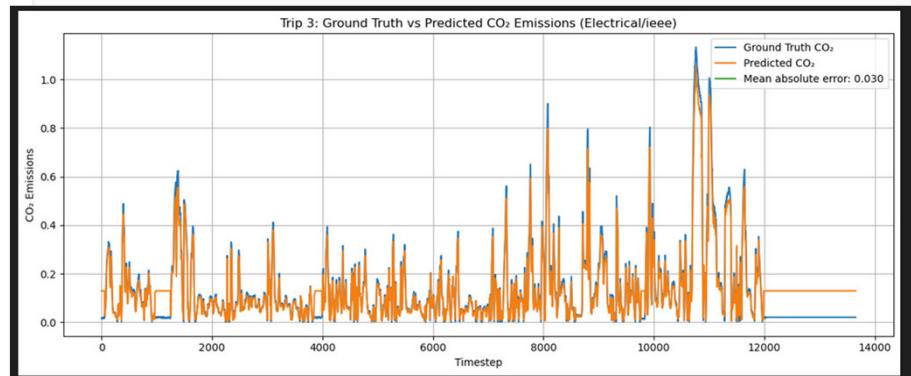
## Métricas de Validação

|                           |                   |
|---------------------------|-------------------|
| MAE (Features Estimadas): | <b>0.024</b>      |
| MAE (Features Reais):     | <b>0.030</b>      |
| Diferença:                | <b>0.006 (2%)</b> |

Features Estimadas: Predicted Torque and Throttle



Features Reais: Original Features



# Conclusões e Impacto

CONFIANÇA É A  
NOSSA MARCA.  
[gov.br/inmetro](http://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.

CONFIANÇA É A  
NOSSA MARCA.  
[gov.br/inmetro](http://gov.br/inmetro)



# Obrigado!

Perguntas?

