

Comparação de Arquiteturas de Redes Neurais

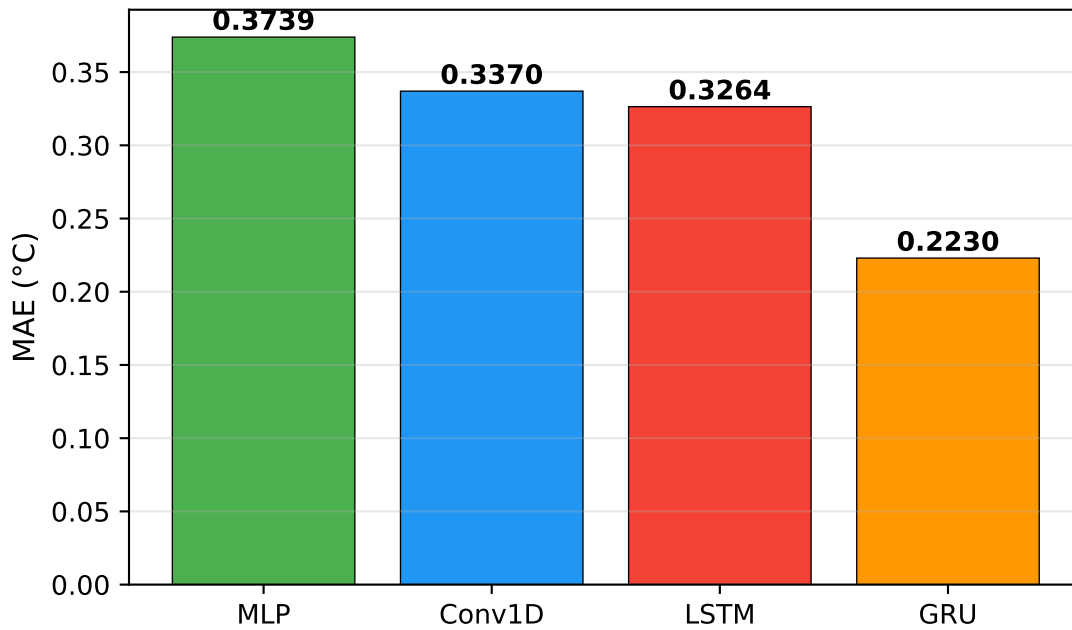
Predição de Temperatura - TinyML para Raspberry Pi Pico (RP2040)

Métrica	MLP	Conv1D	LSTM	GRU
Parâmetros	1.891	1.963	3.235	2.611
MAE Geral (°C)	0.3739	0.3370	0.3264	0.2230 ★
RMSE (°C)	0.4618	0.4404	0.3913	0.2978 ★
R²	0.9834	0.9849	0.9881	0.9931 ★
MAE 5 min (°C)	0.3535	0.2908	0.2987	0.1784 ★
MAE 10 min (°C)	0.3706	0.3314	0.3173	0.2164 ★
MAE 15 min (°C)	0.3976	0.3887	0.3634	0.2743 ★
TFLite (KB)	6.86	8.59	N/A	N/A
Deploy no Pico	SIM ✓	SIM ✓	NÃO ✗	NÃO ✗

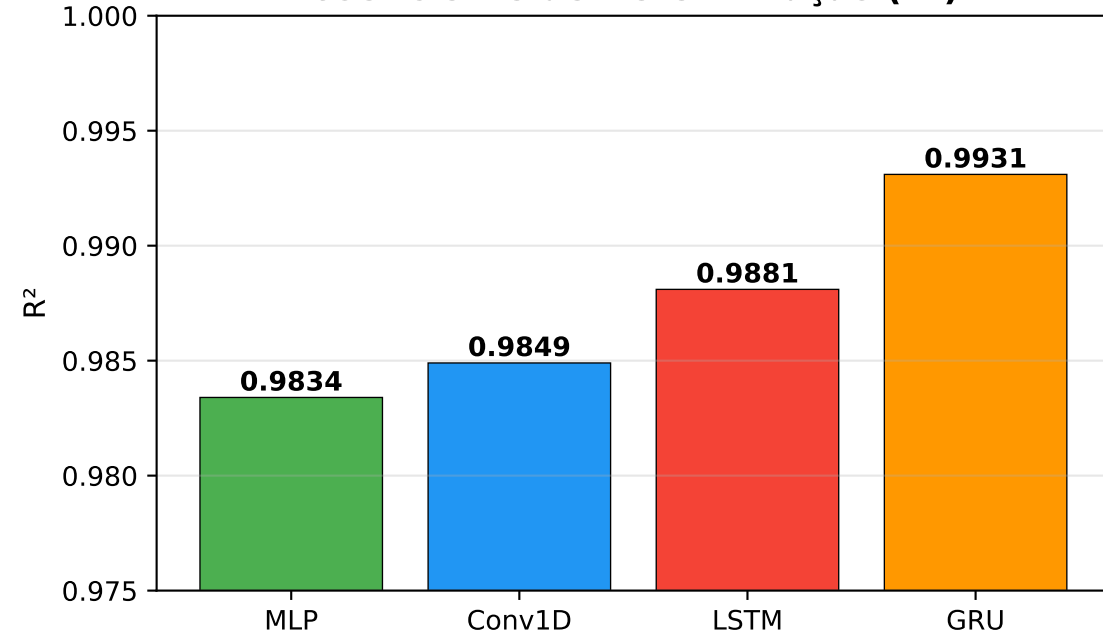
★ = Melhor métrica | ✓ = Compatível com TFLite Micro | ✗ = Incompatível (operações recorrentes)

Comparação de Métricas entre Arquiteturas

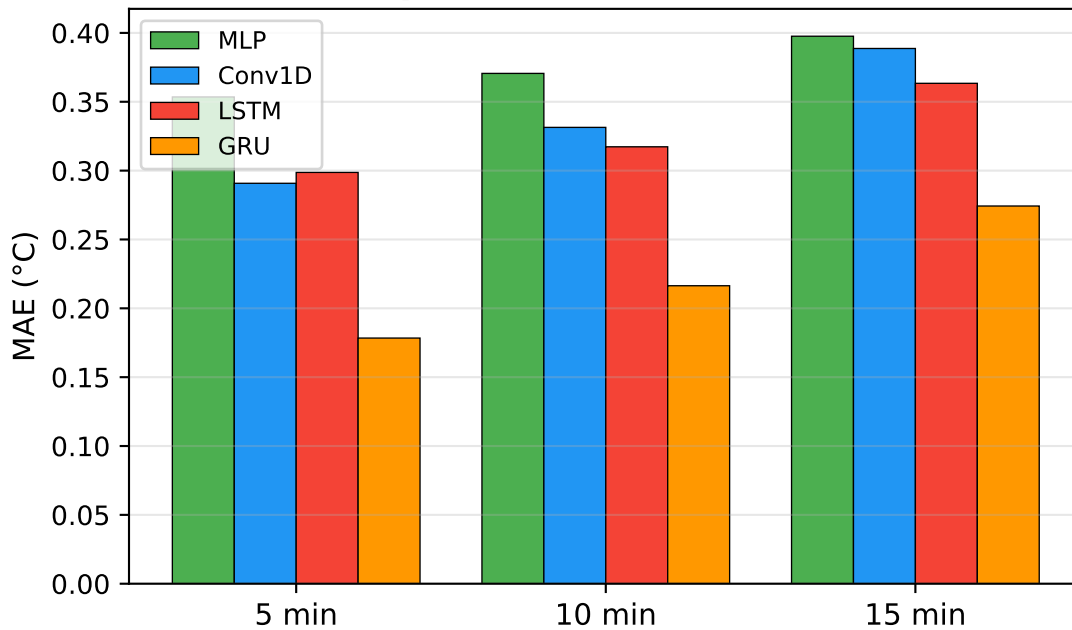
MAE Geral



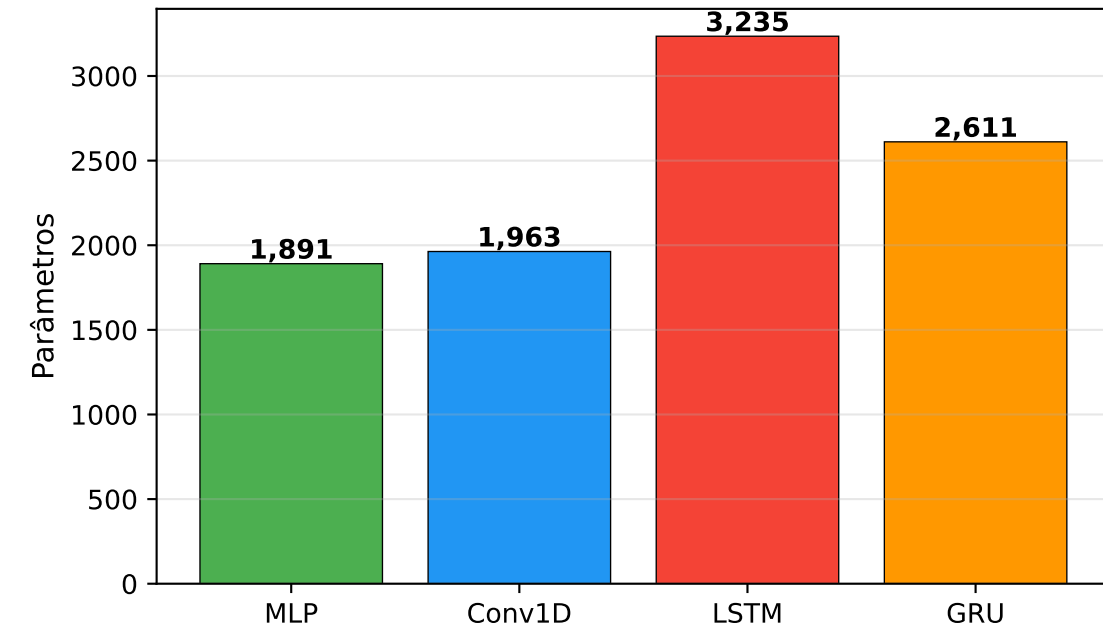
Coeficiente de Determinação (R^2)



MAE por Horizonte de Previsão

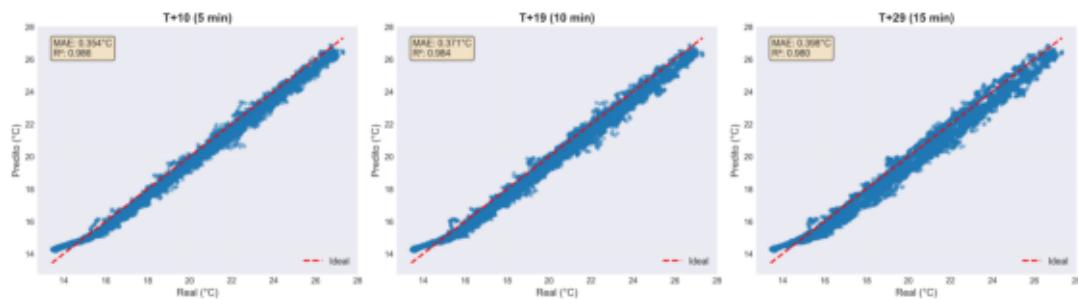


Total de Parâmetros

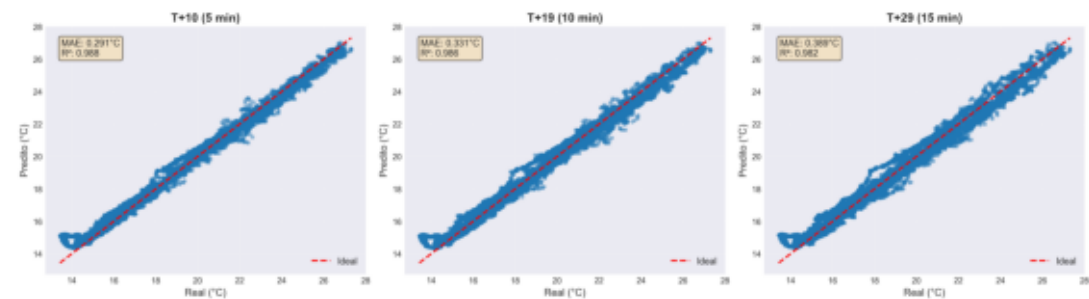


Predito vs Real - Comparação entre Arquiteturas

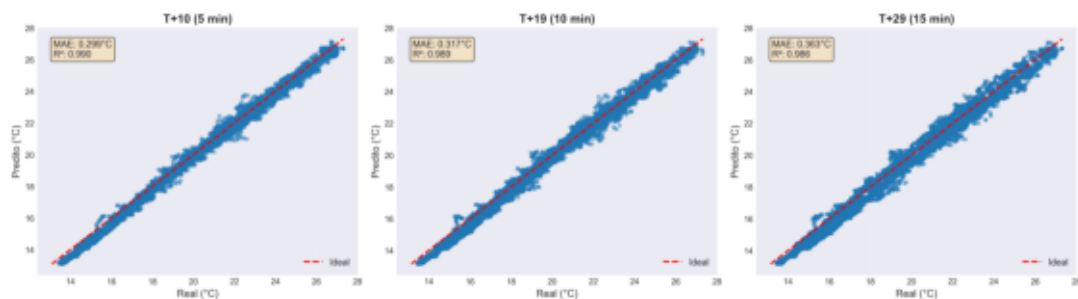
MLP (MAE: 0.3739°C, R²: 0.9834)



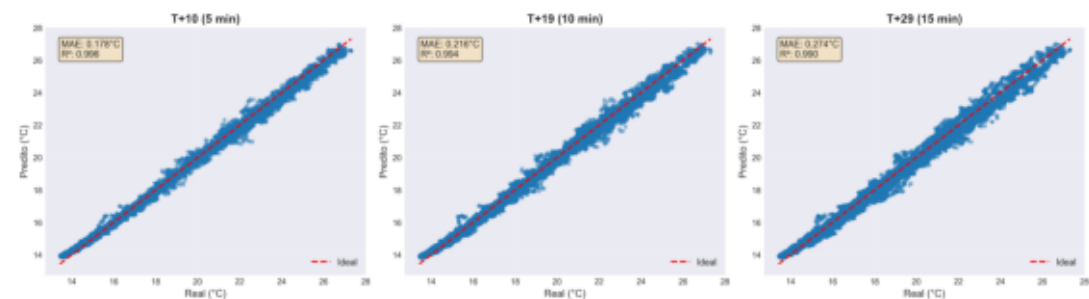
Conv1D (MAE: 0.3370°C, R²: 0.9849)



LSTM (MAE: 0.3264°C, R²: 0.9881)

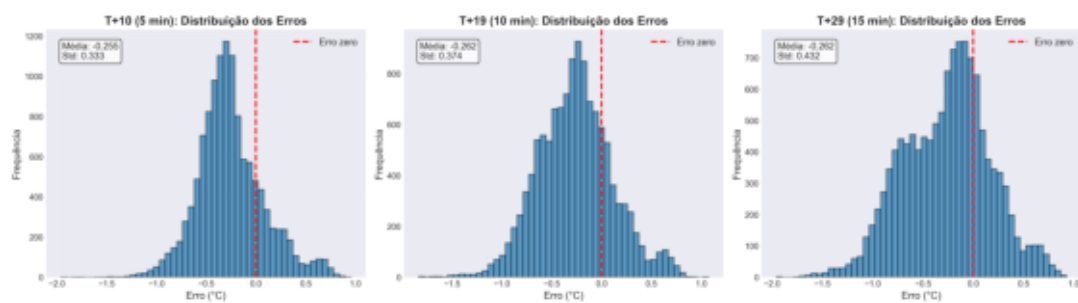


GRU (MAE: 0.2230°C, R²: 0.9931)

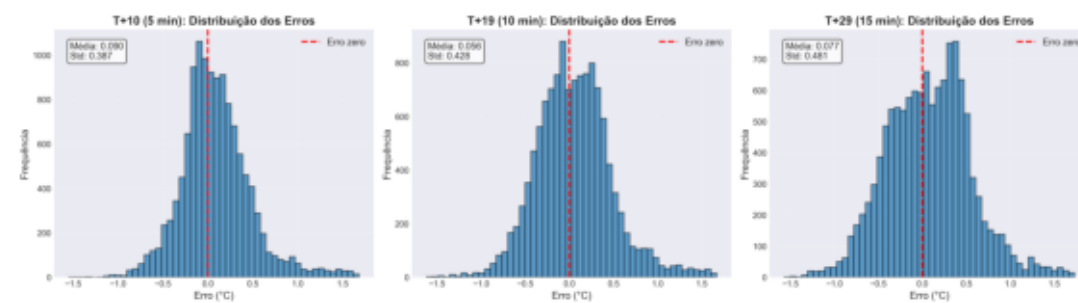


Distribuição dos Erros - Comparação entre Arquiteturas

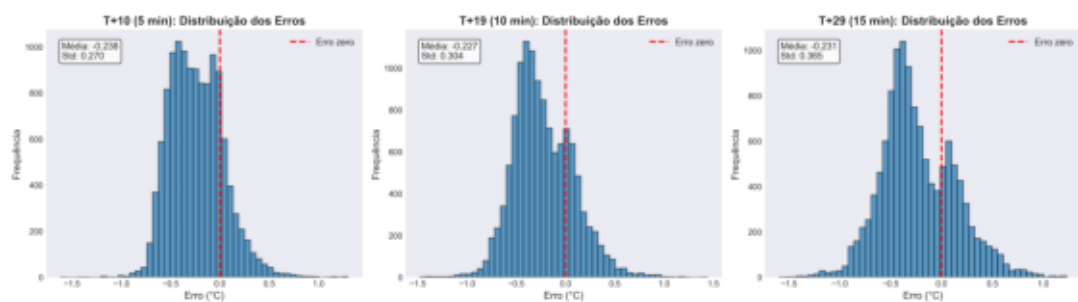
MLP (MAE: 0.3739°C)



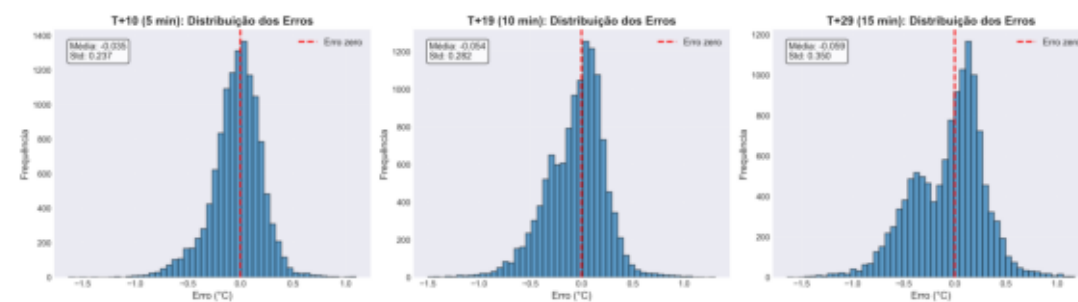
Conv1D (MAE: 0.3370°C)



LSTM (MAE: 0.3264°C)



GRU (MAE: 0.2230°C)



Análise Comparativa e Justificativa da Escolha

1. RANKING POR DESEMPENHO (MAE Geral)

- 1º GRU: 0.2230°C (melhor precisão, mas NÃO roda no Pico)
- 2º LSTM: 0.3264°C (boa precisão, mas NÃO roda no Pico)
- 3º Conv1D: 0.3370°C (roda no Pico via TFLite Micro)
- 4º MLP: 0.3739°C (roda no Pico via TFLite Micro)

2. POR QUE GRU E LSTM NÃO RODAM NO RASPBERRY PI PICO?

As redes recorrentes (GRU e LSTM) utilizam operações internas baseadas em `TensorListReserve` para gerenciar seus estados ocultos ao longo dos timesteps. Essas operações NÃO são suportadas pelo TensorFlow Lite Micro, impossibilitando a conversão do modelo .keras para .tflite. Ao tentar converter, o erro "failed to legalize operation 'tf.TensorListReserve'" é gerado. Portanto, apesar do melhor desempenho, GRU e LSTM são inviáveis para deploy.

3. POR QUE CONV1D FOI ESCOLHIDA (E NÃO MLP)?

Entre os dois modelos deployáveis (Conv1D e MLP), a Conv1D foi escolhida por:

- MAE 9.9% menor que MLP (0.3370 vs 0.3739°C)
- R^2 superior (0.9849 vs 0.9834)
- Melhor desempenho em TODOS os horizontes de previsão
- Apenas 72 parâmetros a mais que o MLP (1.963 vs 1.891)
- Modelo TFLite de apenas 8.59 KB (compatível com 2MB Flash do RP2040)
- Conv1D captura padrões temporais locais via filtros convolucionais, enquanto MLP trata features de forma independente (sem noção temporal)

4. CONCLUSÃO

A Conv1D apresenta o melhor equilíbrio entre precisão e viabilidade de deploy no RP2040. Com MAE de 0.34°C e apenas 1.963 parâmetros (8.59 KB em TFLite), é capaz de prever temperatura com erro inferior a 0.5°C em horizontes de até 15 minutos, sendo totalmente compatível com TensorFlow Lite Micro.