

Inteligência Artificial Aplicada à Física

Fundamentos e Aplicações com Redes Neurais

AULA 5

Alexandre Suaide

Escola Jayme Tiomno
IFUSP 2025

Objetivos de hoje

- Entender redes neurais informadas por física (PINN)
 - Motivações
 - vantagens / desvantagens
 - Limitações
- Criar uma PINN para resolver a equação de Laplace para campo elétrico

Redes neurais informadas por física Physics Informed Neural Network (PINN)

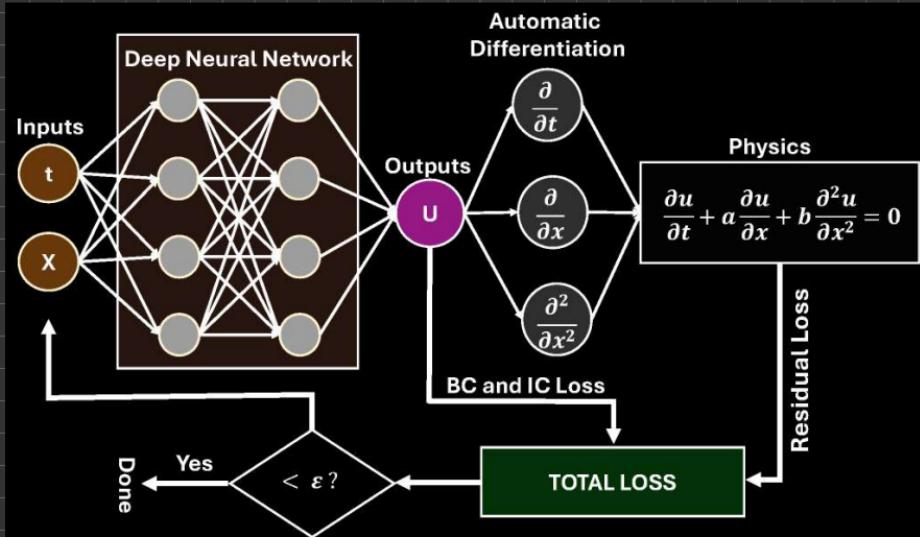
RAISSI et Al. (2019)

↳ ML + Modelagem em física (leis de conservação, EDO)

- Problemas físicos exigem modelagem precisa
- Métodos tradicionais podem ser custosos
 - Monte Carlo
 - Finite Elements (FEM)
 - etc
- Será que a incorporação de IA em modelagem computacional traz algum benefício?

O que são PINN?

- Redes neurais que resolvem EDO e EDP
 - Treinamento inclui restrições impostas por leis e condições de contorno
- Combinar dados observacionais e leis da física
 - Menor necessidade de dados



Arquitetura geral de uma PINN

- Vetor de entradas \vec{x}

Variáveis independentes do problema

Ex: tempo \rightarrow Eq. movimento, cinemática, etc

posição \rightarrow campos EM, eq. Laplace, etc

...

- Vetor de saídas \vec{y}

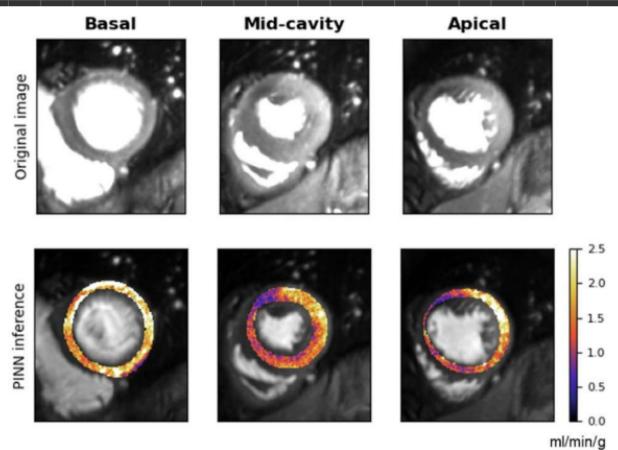
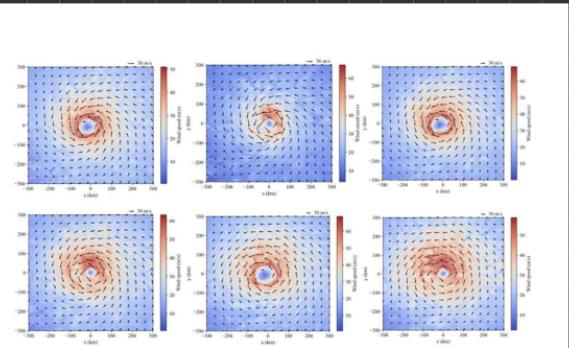
Variáveis dependentes calculadas a partir das independentes

Ex: posição do objeto em movimento após EDO
campo EM, potencial, temperatura

- Função de custo

Erro dos dados, erro da EDO, erro condicão de contorno, etc

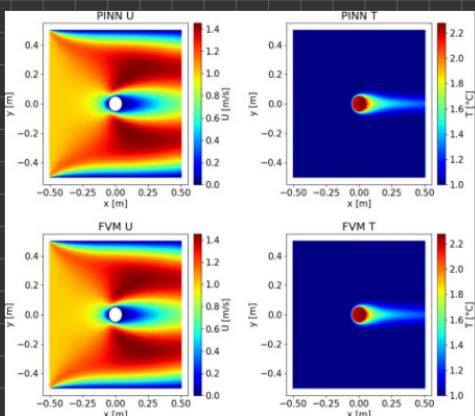
Onde PINN estão sendo usadas?



↑ Medicina diagnóstica

↑ Clima (estrutura de furacões)

DINÂMICA de fluidos em
geral



A função de custo em detalhe

- É o que diferencia de uma rede tradicional
- CUSTO

$$L = \alpha L_{\text{DADOS}} + \beta L_{\text{Phys}} + \gamma L_{\text{BC}}$$

L_{DADOS} → custo em relação à dados de trânsito

L_{Phys} → custo em relação às equações físicas

L_{BC} → custo em relação às condições contorno

α, β, γ → pesos para dar importância relativa
a cada um desses fatores

Vantagens e DESAFIOS

Prós

- Incorporam conhecimento físico
- Generalizam bem em regiões sem dados
- Soluções contínuas e diferenciáveis
- Mais interpretabilidade
- Integração com métodos tradicionais

DESAFIOS

- ~ treinamento pode ser difícil
- ESCALABILIDADE MAIS DESAFIDORA
- BALANCEAMENTO ENTRE DADOS E FÍSICA
- EQUAÇÕES MAIS NÃO-LINÉARES
- ÁREA MUITO NOVA e em constante evolução

Exemplo prático

- Montar uma PI NN para resolver a Eq. Laplace radial para o potencial elétrico de um cilindro de raio a na região externa

$$\nabla^2 V = 0 \rightarrow \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial V}{\partial r} \right) = 0$$



tem solução analítica que podemos comparar !