

Deep-Learning aplicado a dados sísmicos

4ª Oficina de Instrumentação e Inovação (O2I) - Cbpf

Ana Paula O Muller

16/11/2022



- 1 Para que serve o método sísmico?
- 2 Onde o Deep-learning tem potencial de aplicação
- 3 Kaggle salt challenge

Como o petróleo se acumula



Como o petróleo se acumula

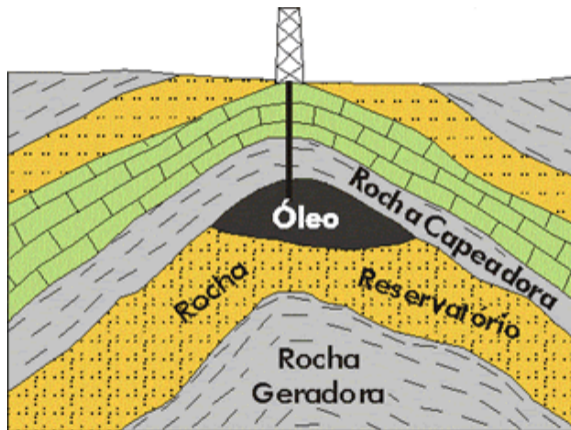


Figura modificada de Decifrando a Terra
(W. Teixeira et al. 2000)

- Rocha geradora - matéria orgânica
- Rocha reservatório - porosa
- Trapa - rocha capeadora - selo
- Sincronia

Como o petróleo se acumula

Bacias da costa brasileira

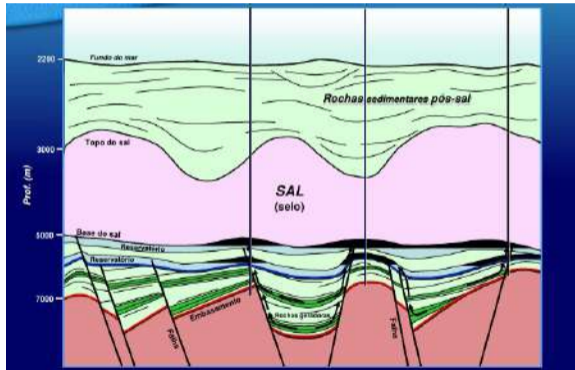


Como o petróleo se acumula



Como o petróleo se acumula

O famoso pré-sal



Manual do Mundo - [▶ Pré-sal](#)

Como encontrar petróleo?

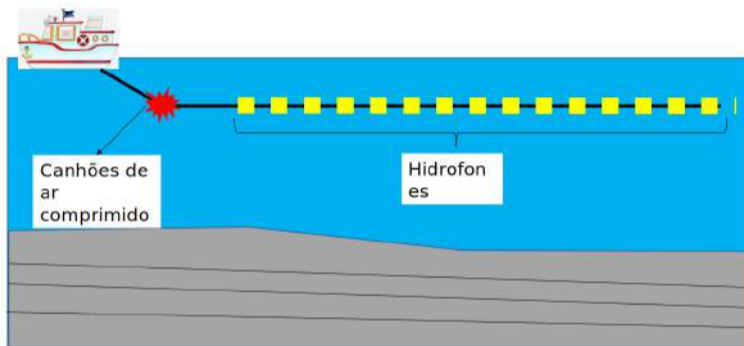
Método sísmico

Análogo ao exame de ultrassonografia



“Alvo” próximo, alto conteúdo de frequência, pouca variação de velocidade entre os tecidos

Método sísmico



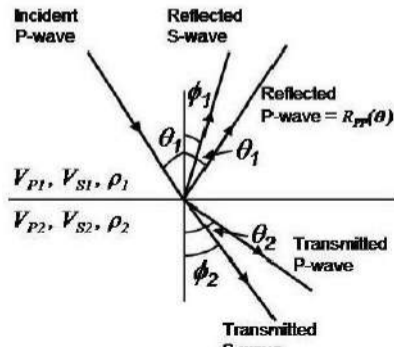
Fonte - pulso sísmico - canhões de ar comprimido

Receptores - detectam variação na pressão Reflexões da onda sísmica - contrastes de propriedades

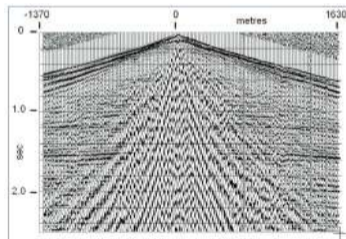
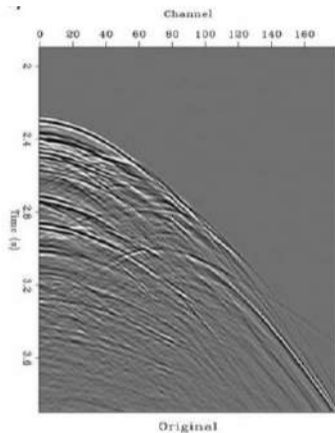
$$\nabla^2 P - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} = F \quad (1)$$

$F \rightarrow$ termo de fonte

Velocidade está diretamente ligada com as características do meio e estruturas que estou investigando.



Dado de campo - Tiros sísmicos

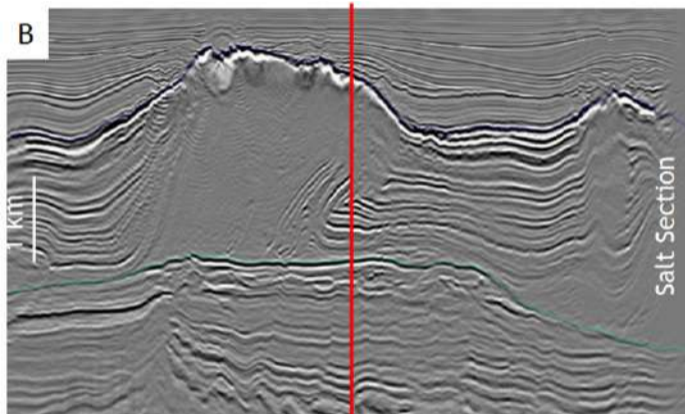


Ruidos + eventos indesejáveis + dados brutos maiores que 1Tb

Produto final - Imagem

Alguns Gb, carregável na estação de trabalho

Revela as estruturas indicativas da presença de reservatórios



Fonte: "IMPROVING PRE-SALT RESERVOIRS SEISMIC IMAGES WHEN CONSIDERING THE STRATIFIED EVAPORITES INSERTION IN THE INITIAL MODEL FOR THE VELOCITY UPDATING PROCESSES PRIOR TO THE SEISMIC MIGRATION" Rbgf,2019.

- 1 Aquisição
- 2 Processamento
 - 1 Atenuação de ruídos
 - 2 Construção do modelo de velocidades
 - 3 Imageamento
- 3 Interpretação


Onde o Deep-learning tem potencial de aplicação

- 1 Aquisição
- 2 Processamento
 - 1 Atenuação de ruídos
 - 2 Construção do modelo de velocidades
 - 3 Imageamento
- 3 **Interpretação**

Machine learning e processos interpretativos

Segmentação de sal em imagens sísmicas

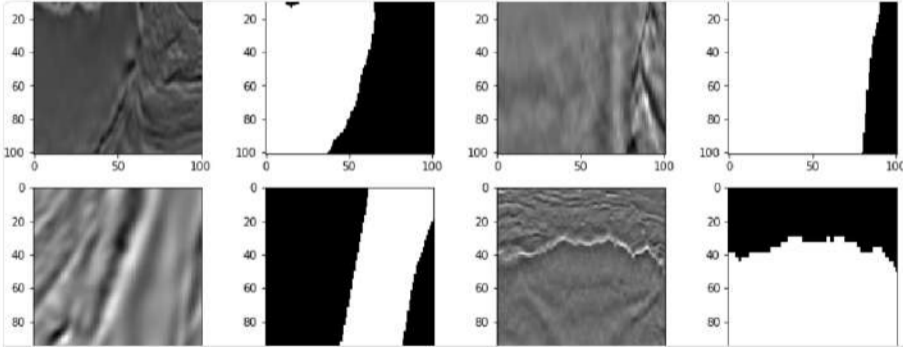
Volumes muito grandes de dados + agilidade na indústria + trabalho tedioso

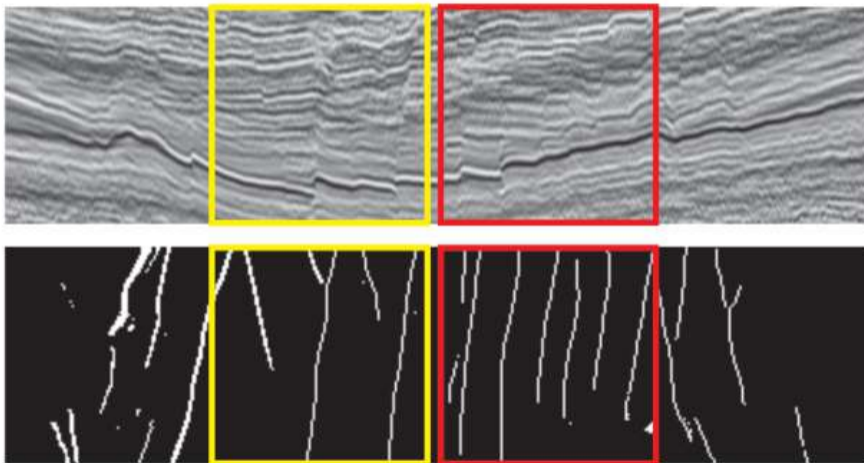


The image shows a screenshot of the Kaggle website. On the left is a navigation sidebar with the Kaggle logo and menu items: Create, Home, Competitions (highlighted), Datasets, Code, Discussions, Courses, and More. The main content area displays the 'TGS Salt Identification Challenge' as a featured prediction competition. It includes a search bar, 'Sign In' and 'Register' buttons, and a banner image of a seismic reflection image. The challenge title is 'TGS Salt Identification Challenge' with a subtitle 'Segment salt deposits beneath the Earth's surface' and a prize money of '\$100,000'. Below the banner are tabs for 'Overview', 'Data', 'Code', 'Discussion', 'Leaderboard', and 'Rules', along with a 'Join Competition' button. A 'Data Description' section is partially visible, starting with a 'Background' heading. The background text describes seismic data collection using reflection seismology, where a controlled seismic source (like compressed air or a vibrator) sends energy into the ground, and sensors record reflections from rock interfaces. The data is processed into a 3D view of the earth's interior. It notes that reflection seismology is similar to X-ray, sonar, and echolocation. The text also explains that seismic images are produced by imaging reflections from rock boundaries, showing boundaries between different rock types. In theory, reflection strength is proportional to the difference in physical properties on either side of the interface. The text is partially cut off at the bottom.

Segmentação do sal

Atividade após o intervalo.....





Onde o Deep-learning tem potencial de aplicação

- 1 Aquisição
- 2 Processamento
 - 1 Atenuação de ruídos
 - 2 Construção do modelo de velocidades
 - 3 Imageamento
- 3 Interpretação

Tipos de ruídos:

- Ambientais: aleatórios ou não
- Múltiplas (modeláveis)
- Falhas de cobertura

Aprendizagem supervisionada: preciso de dados!!!

Dois caminhos possíveis:

- 1 Gerar dados sintéticos: controle da saída esperada
Rede treinada pode não funcionar com dados reais
- 2 Usar dados reais: domínio do dado sobre o qual vou aplicar a metodologia
 - “Contaminar” dado não ruidoso;
Ruídos podem não ser tão reais
 - “Limpar” dado ruidoso;
Limito a capacidade da rede aos métodos convencionais
- 3 Abordagens híbridas: treino sintético, transfiro para dados reais

Classificação:

Machine Learning applied in Swell Noise classification

Almeida I.N.¹, Vargas M.¹, Neto C.S.¹, Nobre L.¹, Silva B.¹, Bulcão A.², Dias B. P.², Landau L.², Evsukoff A.¹
(1. UFRJ/COPPE/LAMCE/Lab2M - Multidisciplinary Modeling laboratory)
(2. PETROBRAS - CENPES)

Atenuação:

Swell-noise attenuation: A deep learning approach

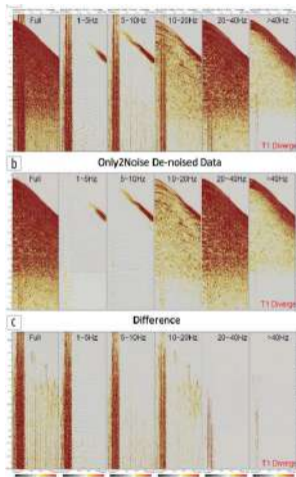
Xing Zhao¹, Ping Lu¹, Yanyan Zhang², Jianxiang Chen¹, and Xiaoyang Li¹
<https://doi.org/10.11999/tno2021041>

An innovative strategy for seismic swell noise removal using deep neural networks

Olga Brusova^{*}, Sean Poche, Sriharath Kainkaryam, Alejandro Valenciano, Arvind Sharma, TGS

Entre muitos outros

Resultados

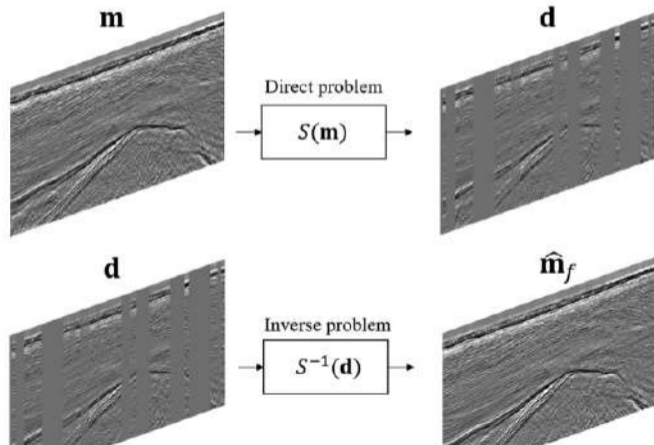


Problemas:

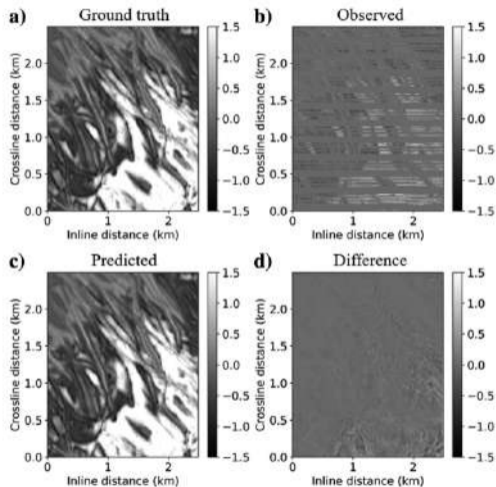
- Com qual dado treinar a rede supervisionada?
- Dado ruidoso : temos!!!
- Dado limpo: queremos!!!
- Como fazer a rede ser robusta para dados obtidos com diferentes equipamentos

Unsupervised deep learning with higher-order total-variation regularization
for multidimensional seismic data reconstruction

Thomas André Larsen Grøne¹, Jan Erik Lie², Odd Kobbjæren², Andreas Kjelrud Eiverson²,
Espen Harris Nilsen², Hao Zhao³, Vasily Demyanov⁴, and Leiv-J. Gelius⁵



Offset = 12.5 m, Time = 0.45 s



Onde o Deep-learning tem potencial de aplicação

- 1 Aquisição
- 2 Processamento
 - 1 Atenuação de ruídos
 - 2 Construção do modelo de velocidades
 - 3 Imageamento
- 3 Interpretação

Problema direto x problema inverso **Problema direto:**

$$d_{sim} = F(\hat{m}) \quad (2)$$

Conheço as propriedades do meio, a Física do fenômeno, desconheço o dado

Problema inverso:

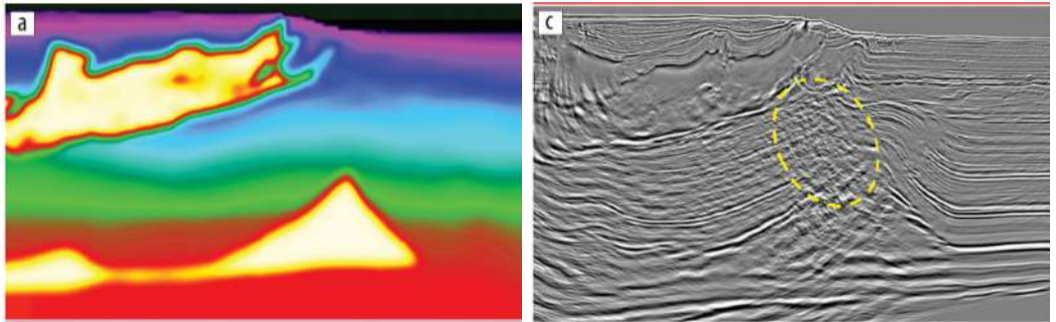
$$d_{sim} = F(\hat{m}) \quad (3)$$

Conheço o dado, a Física do fenômeno, desconheço o modelo \hat{m}

Falta dado, falta conteúdo de frequência, infinitas soluções possíveis....

Construção do modelo de velocidades

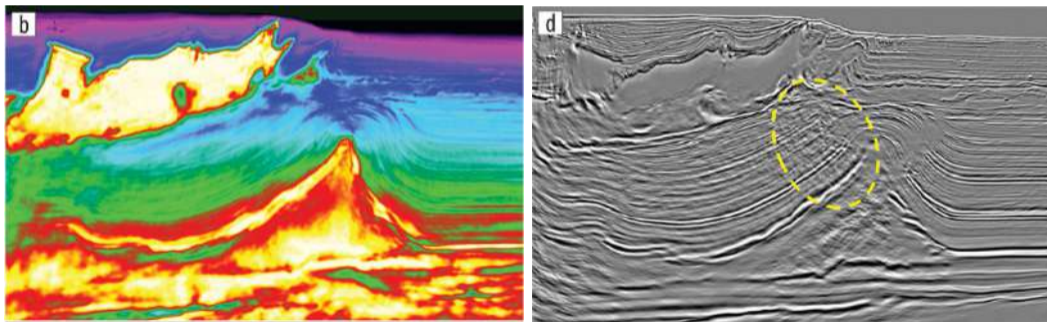
É o processo mais caro de todo o processamento sísmico
A qualidade da imagem depende de um bom modelo



"Full-waveform inversion for full-wavefield imaging: Decades in the making" Huang et al, The Leading Edge (2021).

Construção do modelo de velocidades

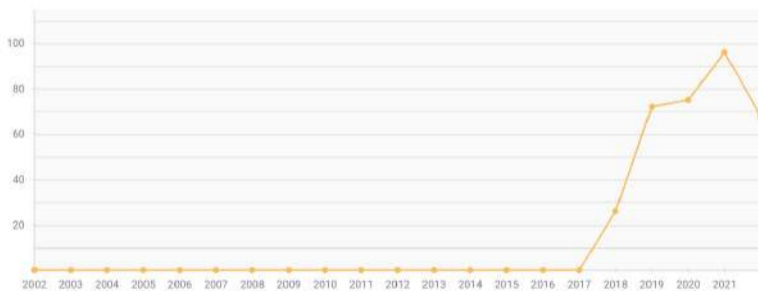
É o processo mais caro de todo o processamento sísmico
A qualidade da imagem depende de um bom modelo



"Full-waveform inversion for full-wavefield imaging: Decades in the making" Huang et al, The Leading Edge (2021).

Construção do modelo de velocidades + DL

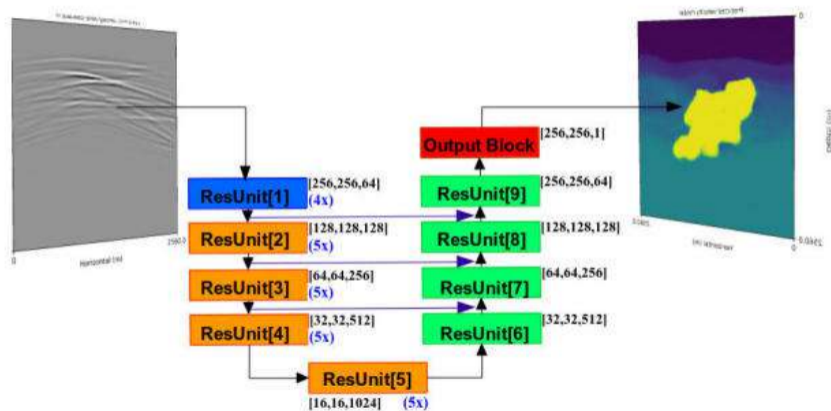
M. Araya et al. “Deep-learning tomography”, *The Leading Edge* 37(1):58-66 (2018)



► ResearchGate

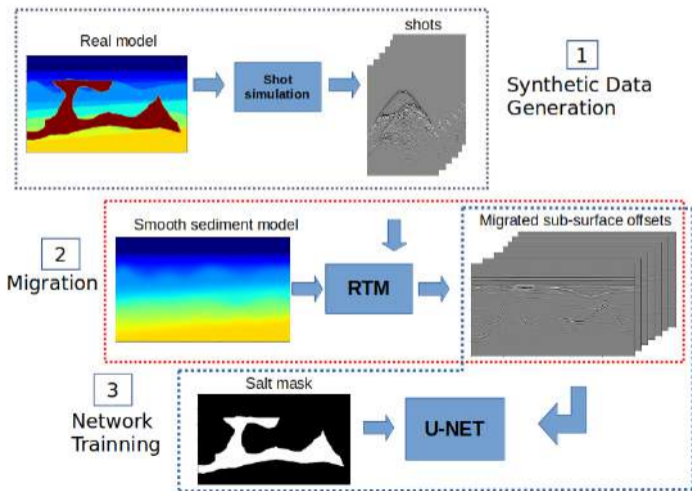
Construção do modelo de velocidades + DL

M. Klatt et al. "Deep learning strategy for salt model building", *Geophysics* 87(6) (2022)



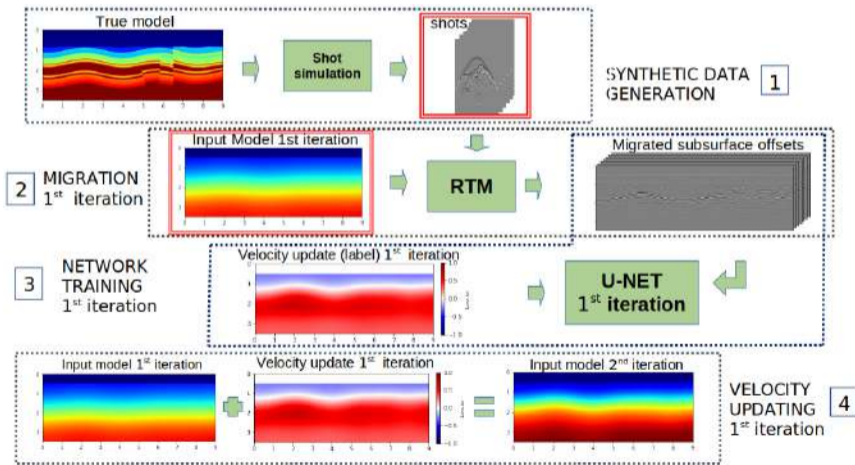
Inclusão do sal no modelo de velocidades + DL

A. P. O. Muller et al. "Complete identification of complex salt-geometries from inaccurate migrated subsurface offset gathers using Deep-Learning" *Geophysics* 87(6) (2022)



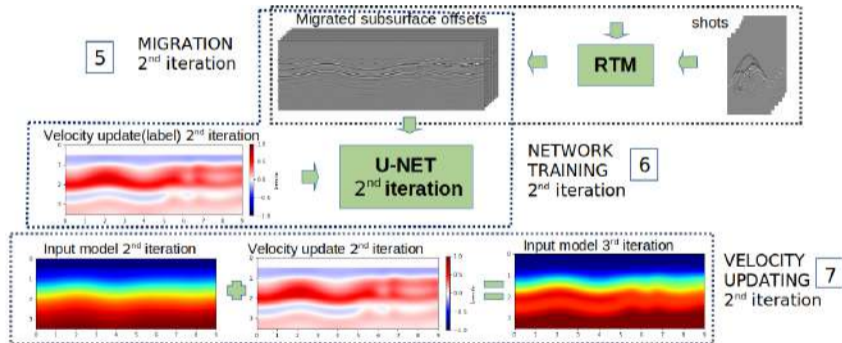
Construção do modelo de velocidades + DL

A. P. O. Muller et al. "Deep-tomography: iterative velocity model building with deep learning", *Geophysical Journal International* (2023).



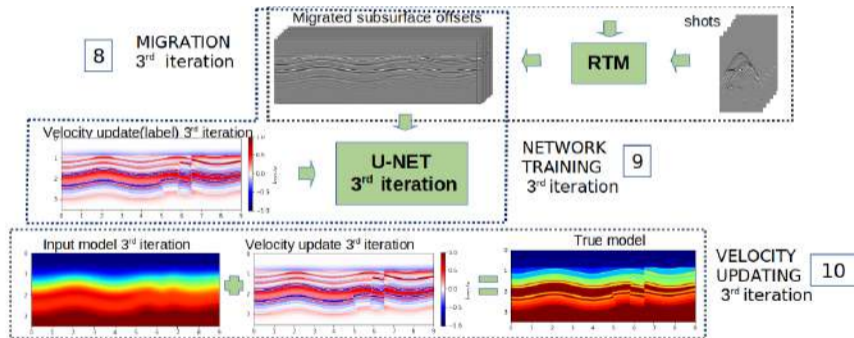
Construção do modelo de velocidades + DL

A. P. O. Muller et al. "Deep-tomography: iterative velocity model building with deep learning", *Geophysical Journal International* (2023).



Construção do modelo de velocidades + DL

A. P. O. Muller et al. “Deep-tomography: iterative velocity model building with deep learning”, *Geophysical Journal International* (2023).



≡ kaggle

+ Create

🏠 Home

🏆 Competitions

📁 Datasets

🔍 Code

💬 Discussions

🎓 Courses

∨ More

🔍 Search

Sign In

Register

Featured Prediction Competition

TGS Salt Identification Challenge

Segment salt deposits beneath the Earth's surface

\$100,000

Prize Money

TGS · 3,219 teams · 4 years ago

Overview Data Code Discussion Leaderboard Rules

Join Competition

Data Description

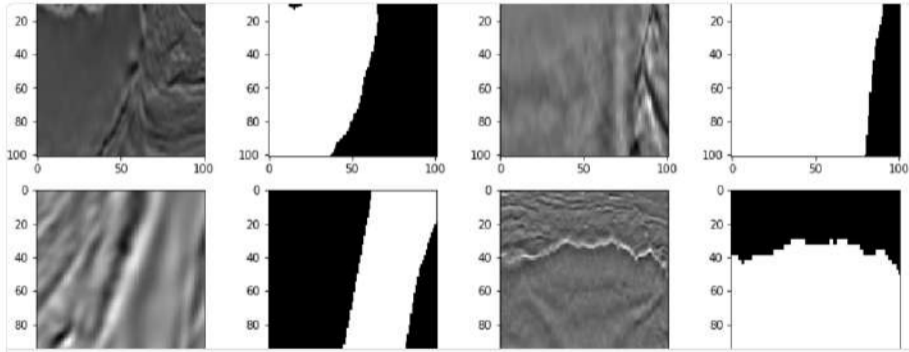
Background

Seismic data is collected using reflection seismology, or seismic reflection. The method requires a controlled seismic source of energy, such as compressed air or a seismic vibrator, and sensors record the reflection from rock interfaces within the subsurface. The recorded data is then processed to create a 3D view of earth's interior. Reflection seismology is similar to X-ray, sonar and echolocation.

A seismic image is produced from imaging the reflection coming from rock boundaries. The seismic image shows the boundaries between different rock types. In theory, the strength of reflection is directly proportional to the difference in the physical properties on either sides of the interface.

While seismic images show rock boundaries, they don't say much about the rock themselves - some rocks are easy to identify while others are difficult.

Kaggle salt challenge



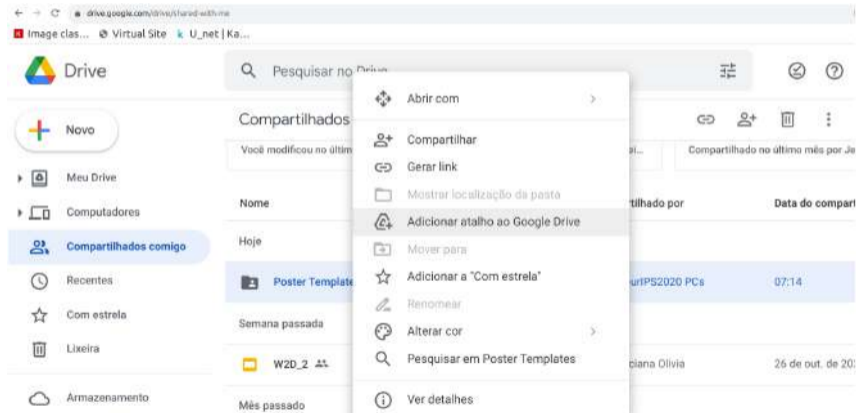
Trabalha sobre a imagem migrada (final) (como esse sal foi parar no modelo? O modelo está correto?)

Interpolação esperta. Interprete faz algumas linhas, com o máximo cuidado possível
Linhas interpretadas - treinamento de uma rede supervisionada
Rede interpreta o restante

Antes, interprete precisava fazer várias linhas → interpolar resultado

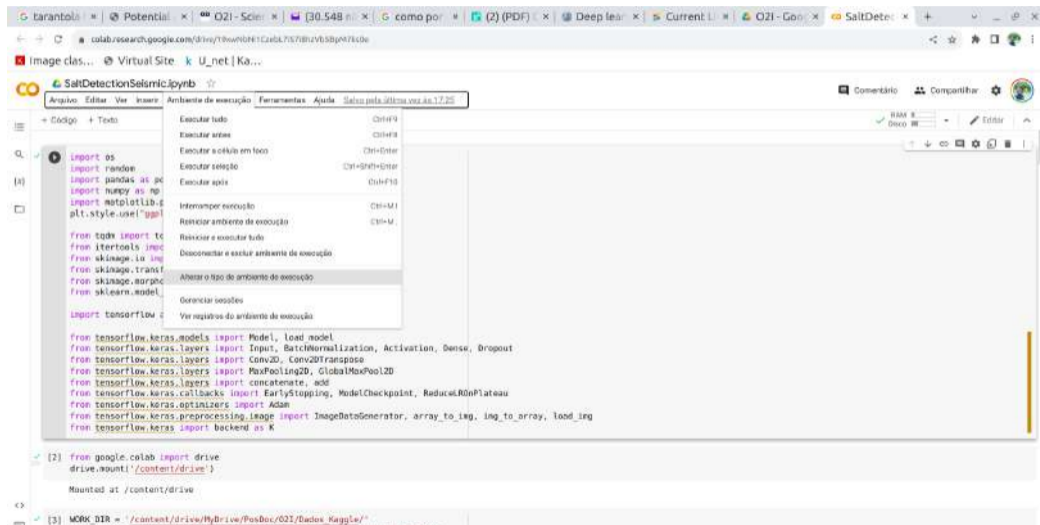
Notebook e dados:

► Kaggle



Kaggle salt challenge

Alterar ambiente de execução para GPU



The screenshot shows a Google Colab notebook titled "SaltDetectionSeismic.ipynb". A context menu is open over the code editor, listing various actions. The option "Alterar o tipo de ambiente de execução" (Change execution environment type) is highlighted. The code in the notebook includes imports for TensorFlow, Keras, and various layers, as well as a function to load a model from Google Drive.

```
import os
import random
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
plt.style.use('ggplot')

from tqdm import tqdm
from itertools import product
from skimage.io import imread
from skimage.transform import rotate
from skimage.measure import regionprops
from sklearn.model_selection import train_test_split

import tensorflow as tf
from tensorflow.keras.models import Model, load_model
from tensorflow.keras.layers import Input, BatchNormalization, Activation, Dense, Dropout
from tensorflow.keras.layers import Conv2D, Conv2DTranspose
from tensorflow.keras.layers import MaxPooling2D, GlobalMaxPool2D
from tensorflow.keras.layers import concatenate, add
from tensorflow.keras.callbacks import EarlyStopping, ModelCheckpoint, ReduceLROnPlateau
from tensorflow.keras.optimizers import Adam
from tensorflow.keras.preprocessing.image import ImageDataGenerator, array_to_img, img_to_array, load_img
from tensorflow.keras import backend as K

[2] from google.colab import drive
drive.mount('/content/drive')

Mounted at /content/drive

[3] MDRX_DIR = '/content/drive/MyDrive/PosDoc/021/Dados_Kaggle/'
```

Alterar ambiente de execução para GPU
Copiar o Notebook para seu drive