

# **Rede Neural com predições de volume útil do reservatório de Funil (RJ) baseado em variáveis climáticas**

**Marina Micas Jardim**

**marinamicas@gmail.com**

**Rio de Janeiro – 15 de Abril de 2022**

---



# Contextualização

---

- ▶ o volume morto ou reserva técnica de um reservatório são “milhões de metros cúbicos de água situado **abaixo das comportas das represas**”. [GI, 2014]
  - ▶ Para auxiliar em **planejamentos do volume útil** de reservatórios, a **inteligência artificial pode estimar variáveis climáticas** para detectar a tal ocorrência com predições automatizadas utilizando a Feed-forward Neural Network, que no dicionário técnico de tradução trata-se de uma Rede Neural de Alimentação Direta ou Rede Neural de Alimentação Antecipada, da sigla em inglês FFNN.
  - ▶ Uma FFNN “é uma **rede neural artificial onde as conexões entre os nós não formam um ciclo**”. [WIKIPEDIA (2022) apud ZELL (1994)]
  - ▶ Utilizar a **FFNN obtém resultados satisfatórios com dados meteorológicos**, mesmo com um dataset pequeno e com dados ausentes. [NAGASELVI e DEEPA (2015)]
- 



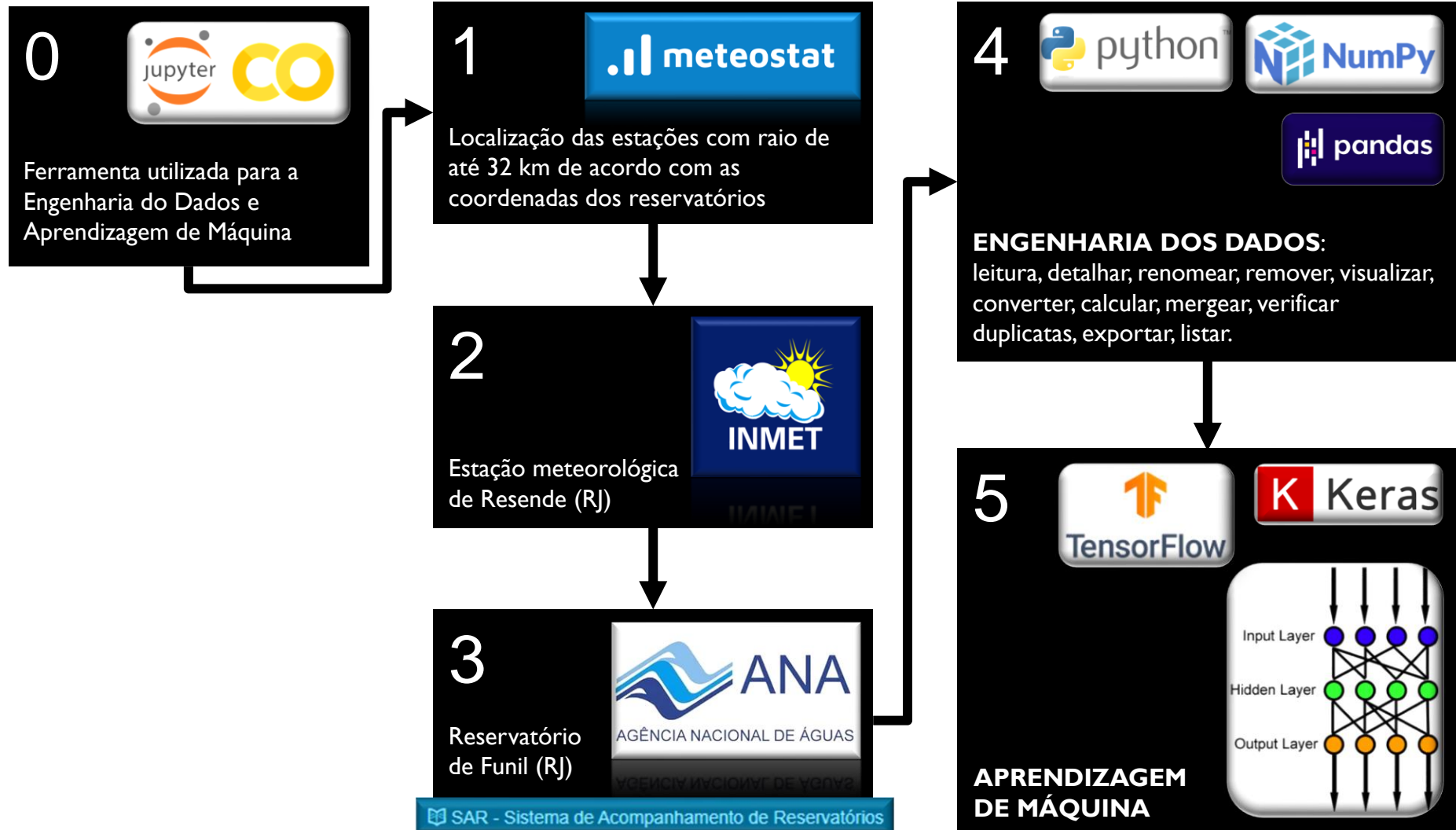
# Definição do Problema

---

- ▶ “O volume morto é uma reserva técnica e não deveria ser explorado. Ele é uma **margem de segurança para deixar o reservatório equilibrado**, sob o ponto de vista da diluição de poluentes e da recomposição do ecossistema.” [FOLHA DE SÃO PAULO (2015) ]
  - ▶ “O repovoamento da fauna e da flora pode demorar muitos anos para acontecer. Enquanto isso, **a água fica sem a sua salubridade**, mesmo que potável, e não é boa para beber e cozinhar alimentos.” [WATANABE (2015) ]
  - ▶ Impacta financeiramente ao utilizar o volume morto. No caso do sistema Cantareira, a instalação **das bombas custou R\$ 80 milhões**, pois esse volume é armazenado abaixo do ponto de captação impossibilitando retirarem só por gravidade.
  - ▶ O objetivo da pesquisa foi **verificar se há padrões climáticos na região do reservatório, utilizando a FFNN para prever variações do volume útil** para que possam ser planejadas de antemão as devidas decisões que impactam em uma possível utilização do volume morto.
- 



# Algoritmos, Técnicas e Ferramentas de Aprendizado de Máquina



# Desenvolvimento da Solução

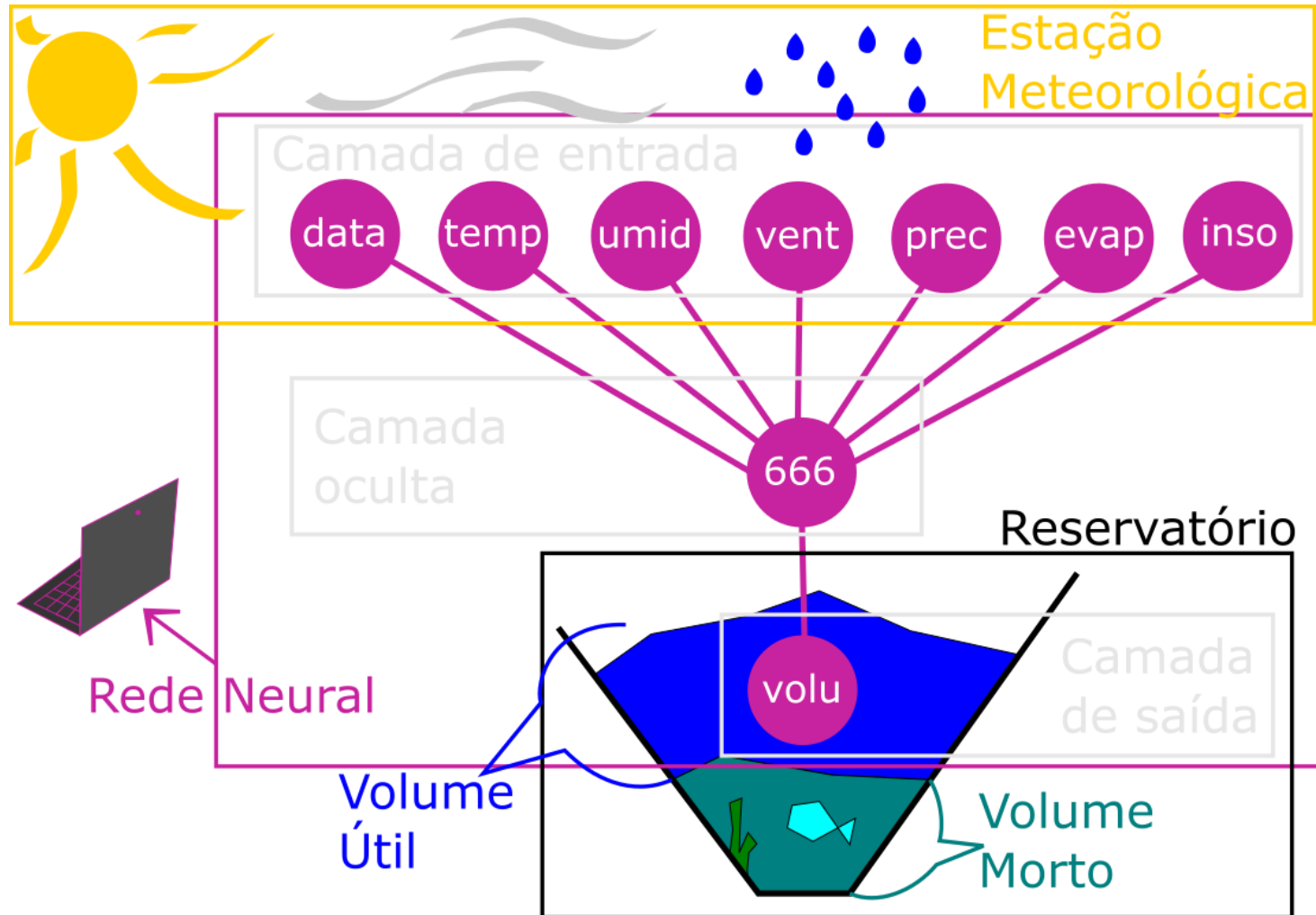
---

- ▶ Rede neural de Alimentação Direta – FFNN:
  - ▶ 7 neurônios na camada de entrada [data | temp | umid | vent | prec | evap | inso] com ativação relu
  - ▶ 666 neurônios em uma única camada oculta com ativação relu
  - ▶ 1 neurônios na camada de saída [volu]
- ▶ Ao compilar o modelo da rede neural:
  - ▶ Média do valor previsto e o real com o mse (Erro Quadrado Médio)
  - ▶ Otimizado com a velocidade da aprendizagem com `learning_rate = 0.0003`
- ▶ Ao treinar e testar a rede neural:
  - ▶ Treinar com `x=X_treino, y=y_treino`
  - ▶ Testar com `validation_data=(X_teste, y_teste)`
  - ▶ Quantidade máxima de iterações com `epochs = 2500`
  - ▶ Parar se a eficiência da rede não aumentar para evitar convergências com callbacks
    - ▶ Métrica de eficiência da rede com `monitor = val_loss`
    - ▶ Monitoramento de perdas da rede com `mode = min`
    - ▶ Visualização de aprendizagem da rede em barra de progresso com `verbose = 1`



Os **textos em rosa** nesta página são os hiper parâmetros

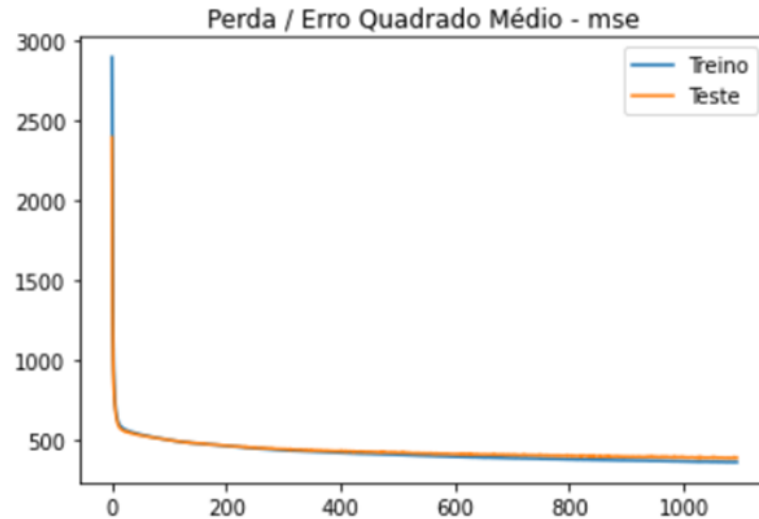
# Ilustração da Solução



# Discussão dos Resultados

	Previsão da rede	Valores corretos
0	45.38	38.817844
1	50.17	52.617275
2	12.20	20.334005
3	46.03	65.042511
4	47.21	61.835258
...	...	...
1468	45.33	38.289410
1469	14.16	26.554461
1470	27.05	59.906822
1471	62.68	49.801525
1472	64.53	55.381088

Tabela 3 – Aprendizagem de máquina com modelo FFNN  
(fonte: figura da autora via ferramenta do Colab)



Método do sklearn	Descrição da métrica	Resultado
explained_variance_score	Eficiência da rede neural	37%
mean_squared_error com np.sqrt	Erro médio das previsões da rede	+/- 19.60%

Tabela 4 – Métricas da a Aprendizagem de máquina com modelo FFNN

# Considerações Finais

---

- ▶ Eficiência máxima obtida na rede neural FFNN foi de **37%**.
- ▶ Continuidade deste trabalho através da **otimização de hiper parâmetros** com o Keras Tuner
- ▶ Utilizar na fase de pré-processamento dos dados, em dataframe com uma diversidade de unidades presentes, o **recurso do conceito Fuzzy**, pois remove essa dependência de unidades ao normalizar os dados conforme relatam NAGASELVI e DEEPA (2015)





# Obrigada!

[MeusEstudos/RedesNeuraisFFNN:](#)  
[\(github.com\)](#)



# Referências Bibliográficas

---

ANA - Agência Nacional de Águas. **SAR - SISTEMA DE ACOMPANHAMENTO DE RESERVATÓRIOS**. Disponível em: <[https://www.ana.gov.br/sar/#:~:text=Lan%C3%A7ado%20oficialmente%20em%202014%2C%20o,\(iii\)%20Outros%20Sistemas%20H%C3%ADricos](https://www.ana.gov.br/sar/#:~:text=Lan%C3%A7ado%20oficialmente%20em%202014%2C%20o,(iii)%20Outros%20Sistemas%20H%C3%ADricos)>. Acesso em: 03 de abril de 2022.

ARAÚJO, M. **Nível do reservatório de Paraibuna, no Rio, atinge o volume morto**. Rio de Janeiro, 23 de janeiro de 2015. Disponível em: <<https://g1.globo.com/jornal-da-globo/noticia/2015/01/nivel-do-reservatorio-de-paraibuna-no-rio-atinge-o-volume-morto.html>>. Acesso em: 21 de março de 2022.

DICIONÁRIO TÉCNICO. **Resultados da busca para “Feed-forward Neural Network”**. 2022. Disponível em: <<https://www.dicionariotecnico.com/traducao.php?termo=Feed-forward+Neural+Network>>. Acesso em: 17 de março de 2022.

EPOCH CONVERTER. **Epoch & Unix Timestamp Conversion Tools**. Disponível em: <<https://www.epochconverter.com/>>. Acesso em: 31 de março de 2022.

FOLHA DE SÃO PAULO. **Saiba mais sobre o volume morto**. 2015. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2015/01/1574108-saiba-mais-sobre-o-volume-morto.shtml>>. Acesso em: 15 de março de 2022.

FOLHA DE SÃO PAULO. **Volume morto é prefácio de clima cada vez mais extremo, diz ambientalista**. 2015. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2015/12/1724210-volume-morto-e-prefacio-de-clima-cada-vez-mais-extremo-diz-ambientalista.shtml>>. Acesso em: 14 de março de 2022.

---



---

GI, Rio de Janeiro. **Reservatório de Funil, no RJ, chega ao nível mais baixo desde 1969.** GLOBO.COM, 2015. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2015/01/reservatorio-de-funil-no-rj-chega-ao-nivel-mais-baixo-desde-1969.html>>. Acesso em: 06 de abril de 2022.

GI, São Paulo. **Entenda o que é o volume morto do Sistema Cantareira.** GLOBO.COM, 2014. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2014/05/entenda-o-que-e-o-volume-morto-do-sistema-cantareira.html>>. Acesso em: 11 de março de 2022.

GITHUB. **Where the world builds software.** Disponível em: <<https://github.com/>>. Acesso em: 01 de abril de 2022.

GOOGLE. **Colaboratory.** Disponível em: <<https://colab.research.google.com/>>. Acesso em: 01 de abril de 2022.

GOVERNO DO BRASIL. **População brasileira chega a 213,3 milhões de habitantes, estima IBGE.** 27 de agosto de 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/financas-impostos-e-gestao-publica/2021/08/populacao-brasileira-chega-a-213-3-milhoes-de-habitantes-estima-ibge>>. Acesso em: 21 de março de 2022.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos do INMET.** Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 29 de março de 2022.

INTEL. **CPU versus GPU: qual é a diferença.** Disponível em: <<https://www.intel.com.br/content/www/br/pt/products/docs/processors/cpu-vs-gpu.html#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20uma%20GPU,dividida%20executada%20em%20muitos%20n%C3%BAcleos>>. Acesso em: 06 de abril de 2022.

---



---

KERAS. **Keras Turner**. Disponível em: <[https://keras.io/keras\\_tuner/](https://keras.io/keras_tuner/)>. Acesso em: 08 de abril de 2022.

MATPLOTLIB. **Matplotlib: Visualization with Python**. Disponível em: <<https://matplotlib.org/>>. Acesso em: 01 de abril de 2022.

METEOSTAT. **The Weather's Record Keeper**. Canadá. Disponível em: <<https://github.com/meteostat>>. 16 de março de 2022.

NAGASELVI, M.; DEEPA, Dr. T. **Weather Forecasting using Deep Feed Forward Neural Network (DFFNN) and Fuzzy Outlier Removal**. Journal on Science Engineering & Technology, 2015. Volume 2, No. 04. Disponível em: <<http://jset.sasapublications.com/wp-content/uploads/2017/10/6702690.pdf>>. Acesso em: 21 de março de 2022.

NUMPY. **The fundamental package for scientific computing with Python**. Disponível em: <<https://numpy.org/>>. Acesso em: 01 de abril de 2022.

OLIVEIRA, S. S. **Titanic Passo a Passo com 8 Modelos ML Pt-br**. 2019. Disponível em: <<https://www.kaggle.com/code/samukaunt/titanic-passo-a-passo-com-8-modelos-ml-pt-br/notebook>>. Acesso em: 06 de abril de 2022.

PANDAS. **pandas is a fast, powerful, flexible and easy to use open source data analysis and manipulation tool, built on top of the Python programming language**. Disponível em: <<https://pandas.pydata.org/>>. Acesso em: 01 de abril de 2022.

---



---

PLOTLY. **Dash Enterprise**. Disponível em: <<https://plotly.com/>>. Acesso em: 07 de abril de 2022.

PYTHON. **Python is a programming language that lets you work quickly and integrate systems more effectively**. Disponível em: <<https://www.python.org/>>. Acesso em: 01 de abril de 2022.

RAY, R. **Re: Data and weather station distance**. 2017. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/post/Data-and-weather-station-distance/594d2b50217e20b58d25659f/citation/download>>. Acesso em: 06 de abril de 2022.

SAR – Sistema de Acompanhamento de Reservatórios. **Dados de operação dos reservatórios SIN – FUNIL. 01/01/1993 – 05/12/2017**. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/sar0/MedicaoSin?dropDownListEstados=20&dropDownListReservatorios=19093&dataInicial=01%2F01%2F1993&dataFinal=05%2F12%2F2017&button=Buscar>>. Acesso em: 03 de abril de 2022.

SCIKIT-LEARN. **Machine Learning in Python**. Disponível em: <<https://scikit-learn.org/stable/>>. Acesso em: 01 de abril de 2022.

SEABORN. **seaborn: statistical data visualization**. Disponível em: <<https://seaborn.pydata.org/>>. Acesso em: 07 de abril de 2022.

SOUZA, V.A. de et al. **Influência na variação dos volumes dos reservatórios na geração de energia: um estudo comparativo dos reservatórios do Nordeste – Sobradinho e Itaparica**. 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/54617>>. Acesso em: 21 de março de 2022.

---



---

TENSORFLOW. **Keras**. Disponível em: <<https://www.tensorflow.org/guide/keras?hl=pt-br>>. Acesso em: 01 de abril de 2022.

WATANABE, R. M. **As partes de um reservatório**. 2015. Disponível em: <<https://www.ebanataw.com.br/talude/barragem.htm>>. Acesso em: 14 de março de 2022.

WIKIPEDIA, the free encyclopedia. **Era Unix**. 2022. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Era\\_Unix](https://pt.wikipedia.org/wiki/Era_Unix)>. Acesso em: 31 de março de 2022.

WIKIPEDIA, the free encyclopedia. **Feedforward neural network**. 2022. Disponível em: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Feedforward\\_neural\\_network](https://en.wikipedia.org/wiki/Feedforward_neural_network)>. Acesso em: 17 de março de 2022.

