**Medindo a Eficácia entre BERT e Naïve Bayes em NLP**

Rodrigo Franciozi Rodrigues da Silva¹\*;Adâmara Santos Gonçalvez Felício2

1 Analista de dados. Avenida Getúlio Vargas, 405 – Baeta Neves; 09751-250 São Bernardo do Campo, São Paulo, Brasil

2 Doutora em Desenvolvimento Econômico, UNICAMP. Orientadora MBA Data Science & Analytics. – Rua Alexandre Herculano, 120 – Vila Monteiro; CEP:13418-445 Piracicaba, São Paulo, Brasil.

\*autor correspondente: rodrigofranciozi@outlook.com

**Medindo a Eficácia entre BERT e Naïve Bayes em NLP**

**Palavras-chave:** Análise de sentimentos; Aprendizado profundo; Classificação de texto; Modelos de aprendizado de máquina; PLN.

**Introdução**

Nos últimos anos a indústria audiovisual cresceu consideravelmente e junto a esse crescimento advém o interesse de agradar ao público para que obras de sucesso sejam criadas. Uma maneira de se verificar tal sucesso é por meio da checagem geral de notas e pela leitura de comentários sobre críticos especializados e o público geral que já assistiram determinado conteúdo (Yassine, 2019).

Quando observado o conjunto dos comentários produzidos sobre o assunto, identificamos plataformas online que trabalham no registro das críticas e avaliações por meio do texto escrito, como o “Rotten Tomatoes”, “Internet Movie Database” [IMDb] e “Metacritic”. Esses sites contém uma biblioteca vasta de registros que funcionam como bases de dados, para que pesquisadores consigam avaliar o engajamento e potencial sucesso de produções cinematográficas (Harsh *et al.*, 2023).

As redes sociais têm um papel cada vez mais relevante, devido ao fato de muitos indivíduos as utilizarem para expressar seus sentimentos e ideias ao redor de um ou mais tópicos de interesse, sendo um deles as avaliações a respeito de filmes e séries da atualidade. Consumidores ao redor do mundo utilizam essas avaliações como um norteador para decidir se determinada obra vale ou não o investimento de tempo e dinheiro por parte deles (Faisal e Ubaid, 2023).

A ideia principal por trás das avaliações de filmes é facilitar a obtenção de informações pelos produtores, para que eles possam desenvolver ainda mais seus produtos, avaliando potenciais sucessos ou fracassos no lançamento ou continuação de determinada obra cinematográfica. (Haoran, 2023)

A análise de sentimentos, conhecida também como mineração de opinião, consiste em uma técnica que avalia a polaridade dos sentimentos, emoções e atitudes de determinado indivíduo de acordo com um objeto de interesse podendo ele ser um filme, produto, serviço e organização Azilawati *et al*. (2019). Essa tecnologia se baseia em inteligência artificial que usa o processamento de linguagem natural [PLN] para transformar textos não estruturados em dados normalizados e adequados para análises de algoritmos de aprendizado de máquina, que por sua vez auxiliam na identificação de “insights” e tomada de decisão a respeito de um determinado tópico de interesse (Faisal e Ubaid, 2023). De acordo com Yassine (2019), até pouco tempo essas análises de comentários eram feitas de forma bastante manual, mas com o advento de técnicas de aprendizado de máquina como a análise de sentimentos, essa realidade acabou sendo modificada.

SUGIRO ADICIONAR UM PARÁGRAGFO QUE DESTACA A IMPORTÂNCIA DE AVALIAR A TEMÁTICA SUGERIDA COM PLN. SERÁ AQUELE PARÁGRAFO QUE ADVOGA PELA IMPORTÂNCIA DO TRABALHO E UNE TEMA+TÉCNICA.

O objetivo principal desse trabalho é comparar a eficácia de modelos conhecidos como clássicos e de aprendizado profundo, especificamente o Naïve Bayes e “Bidirectional Encoder Representations from Transformers” [BERT]. Procurou-se determinar qual modelo oferece maior acurácia, precisão, revocação e pontuação F1 ao classificar sentimentos contidos em comentários de filmes de acordo com as polaridades positiva, negativa e neutra.

**Material e Métodos**

**Base de dados**

A base de dados foi obtida por meio da aplicação de uma técnica de raspagem de dados (“web scrapping”) dentro da plataforma do IMDB. “Web Scrapping” consiste na extração de dados da internet de maneira programática, transformando-os em uma base de dados estruturada e permitindo uma coleta de grandes volumes de maneira automatizada minimizando potenciais erros. (Mine Çetinkaya-Rundel e Mine Dogucu, 2021).

A lista de filmes foi selecionada de maneira aleatória levando em consideração os anos de lançamento que se encontram entre 2022 e 2023, para que as classificações fossem realizadas em comentários avaliados recentemente, mantendo apenas comentários em inglês devido ao site ser de origem norte américa e a natureza desses comentários estar majoritariamente na língua nativa.Após a obtenção e estruturação dos dados, técnicas de limpeza e transformação como a remoção de espaços em branco, emoticons, números e caracteres especiais, assim como a padronização de palavras para letras minúsculas e remoção de palavras vazias foram aplicadas. As palavras vazias representam uma lista de palavras que tipicamente aparecem com uma certa frequência na construção de frases, mas que não apresentam uma significância ao usuário final Faisal e Ubaid (2023). O fluxograma que implementa as etapas de transformação está descrito na Figura 1.

Ao final de todas as etapas obteve-se um *n* amostral de 14.480 comentários para a definição das polaridades juntamente com o treino e teste dos modelos.

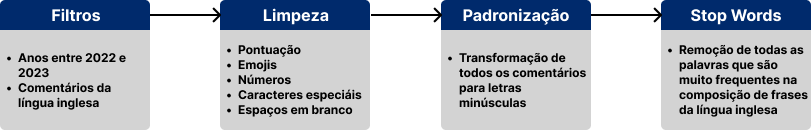


Figura 1. Fluxo de limpeza e tratamento de dados  
Fonte: Dados originais da pesquisa

**Métodos**

Foi necessário a implementação de um processo de rotulagem de comentários, para que esses possam ser classificados de acordo com a polaridade (positivo, negativo e neutro) presente no texto. Essa se torna uma das grandes dificuldades, devido a subjetividade presente na tarefa de classificação, assim como o tempo necessário para que a rotulagem seja feita.

Foram implementadas duas técnicas de aprendizado não supervisionado a método de comparação para facilitar o processo de rotulagem, que consiste na implementação de dicionários léxicos contendo palavras que já possuem sentimentos atrelados e expressos de uma maneira quantitativa, podendo ser números entre -1 e 1 onde -1 representa uma polaridade mais negativa, 0 neutra e 1 positiva (Fabrício *et al*., 2015).

As técnicas escolhidas foram o “Opinion Lexicon” que é composto por uma lista de aproximadamente 13.000 palavras incluindo gírias e abreviações na língua inglesa, que foi desenvolvido a partir de textos de avaliações de sites de compra e o “Valence Aware Dictionary and Sentiment Reasoner” [VADER] que é uma composição de outros dicionários já bem estabelecidos, com o adendo de emoticons, acrônimos e gírias (Fabrício *et al*., 2015).

Ambas as saídas dos dicionários são valores que podem ser -1, 0 e 1, representando as polaridades. Esses valores são somados para cada uma das avaliações e classificados de acordo com os resultados, sendo negativos para somas menores do que 0, positivos para maiores que 0 e neutras iguais a zero. A Figura 2 mostra 4 classificações realizadas para ambos os dicionários, sendo consideradas padrão aquelas que contém apenas a implementação da técnica e customizada, que consiste não só da implementação dos dicionários, mas também da remoção de mais palavras que aparecem com muita frequência em ambas as avaliações, sem trazer um significado relevante.

Figura 2. Classificações das polaridades por meio dos dicionários léxicos  
Fonte: Resultados originais da pesquisa



RODRIGO: a figura 2 é de fato um resultado e deve ser apresentada na seção de resultados. Em métodos descrevemos o método que será utilizado e só! Rs.

O dicionário “Opinion Lexicon” customizado foi escolhido como os rótulos oficial das avaliações, devido a apresentar uma sensibilidade maior em suas classificações, principalmente levando em consideração os comentários de natureza neutra.

Dois modelos de aprendizado de máquina a título de comparação foram treinados e testados tendo como base a rotulagem selecionada, avaliando métricas como Acurácia, Sensibilidade, Precisão e Teste F1 a fim de escolher aquele que melhor se ajustou a tarefa de predição das classificações de polaridade.

Devido aos rótulos estarem desbalanceados, uma técnica de “oversampling” envolvendo repetição foi aplicada com o auxílio do método “resample”, tendo como base a classificação positivo que contém o maior número de exemplos. Essa técnica de “oversampling” é utilizada quando se tem dados insuficientes, fazendo com que haja uma expansão da base em relação as amostras com menor volume de informações, gerando mais dados ao invés de deletar os já existentes. Caso essa técnica não seja aplicada, pode existir um impacto no treinamento dos modelos justamente por ferir a capacidade de generalização buscada, tendo em vista que com menos exemplos fica mais complicado do modelo conseguir identificar nuances. (Nassera *et al.*, 2023)

Para ambos os modelos foi realizado um particionamento de 80:20 entre os dados alocados para treinamento e teste respectivamente. Há 100 anos atrás, o economista Italiano Wilfred Pareto fez a observação de que 80% de toda a riqueza estava concentrada em 20% da população, o que mais tarde a partir do desenvolvimento de uma fórmula matemática acabou descrevendo esse fenômeno de distribuição desigual presente em seu país. Essa formulação ficou conhecida como distribuição de Pareto e mais tarde, em 1940 como regra de Pareto devido a generalização por parte de J.M Juran. Essa abordagem segue o princípio de Pareto onde 20% dos fatores estão representados nos 80% outros fatores (Rosie *et al.*, 2014).

O primeiro modelo treinado foi o Naïve Bayes. Esse modelo é derivado do teorema de Bayes, onde se calcula a probabilidade de um evento acontecer com base em probabilidades condicionais, podendo ser aplicado no contexto de análise de sentimentos que leva em consideração a probabilidade de um texto pertencer a determinada classificação (Murtadha *et al.*, 2022).

A técnica de vetorização denominada “term frequency-inverse document frequency” [TF-IDF] foi aplicada permitindo a conversão de dados textuais em numéricos. Essa estatística reflete a importância das palavras dentro de um documento e é definida pelo número de vezes que determinada palavra aparece, em comparação com o número de documentos que contenham a palavra. Entenda documentos como sendo cada comentário presente na base de dados (Christine *et al*., 2023).

Por se tratar de uma classificação multi-classes, ou seja, contendo mais do que duas categorias a serem classificadas, foi aplicado o Naïve Bayes multinomial que é especificamente adequado para variáveis que apresentam contagens de palavras e que normalmente são obtidas usando técnicas de bolsa de palavras ou TF-IDF. Esse modelo assume como base que as palavras pertencentes a uma determinada classe são independentes entre si de acordo com determinada classificação, seguindo uma distribuição multinomial. Dessa forma calcula-se a probabilidade de um documento pertencer a essa classe, de acordo com a frequência de contagem das palavras naquele documento (Christine *et al.*, 2023).

O segundo modelo treinado foi o BERT, que consiste em um modelo de rede neural desenvolvido pela Google em 2018 com o intuito de compreender o contexto de frases, auxiliando máquinas no processo de linguagem natural com o emprego da arquitetura de transformadores e transferência de aprendizado. BERT é o primeiro modelo a atingir o estado da arte com relação a performance para atividades em nível de sentença e “token” (Jacob *et al*. 2018).

Uma versão pré-treinada do BERT foi utilizada, mas com uma adaptação referente ao volume de classes preditas que passou de duas para três. Devido a essa mudança nas classes apenas a estrutura definida pela rede neural foi aproveitada, havendo a necessidade da realização de um retreino com os dados presentes no estudo. A técnica de “tokenização” foi aplicada para configurar corretamente os dados da camada de entrada da rede neural, habilitando assim a possibilidade de treinamento do modelo.

A função de perda escolhida foi a entropia cruzada que é universalmente utilizada em trabalhos que tangem processos de classificação em redes neurais. Além disso, essa função se torna mais favorável em termos de otimização quando se trabalha com classificações de mais de duas classes Like e Mikhail (2021). O otimizador mais comum e o escolhido para atualização dos pesos das redes foi o “Adaptative Moment Estimation with Weight Decay” [AdamW] que consiste em uma versão modificada da otimização estocástica de primeira ordem Adam. Ambos de diferem devido ao ADAMw omitir uma das etapas de correção de viés auxiliando no processo de evitar o sobre ajuste na etapa de treinamento (Tianyi *et al*., 2021).

Devido a limitações técnicas presentes no processo de treinamento, foi considerado um tamanho de lote de 32 e um total de 3 épocas. Como a função de custo continuou apresentando uma redução ao invés de estagnação, isso dá uma margem para a continuação do treinamento considerando um volume maior de épocas.

Todos as etapas implementadas foram aplicadas por meio da linguagem Python, em particular com o uso das bibliotecas “selenium”, “requests” e “random” para extração de dados da internet e aplicação de aleatoriedades, “nltk”, “pandas” e “re” para limpeza, tratamento e pré-processamento dos dados, “sklearn” e “transformers” para implementação de modelos de aprendizado de máquina e “mathplotlib” e “seaborn” para a criação de gráficos e visualizações.

**Resultados Preliminares**

Utilizou-se uma matriz de confusão multiclasses para quantificar a precisão dos modelos de classificação propostos, um método que proporciona uma visão clara de seus comportamentos em todas as classes. Nessas matrizes as colunas representam as previsões do modelo e as linhas os valores reais. Cada célula mostra o número de amostras real que foram previstas na categoria correspondente e está representada na Figura 3.

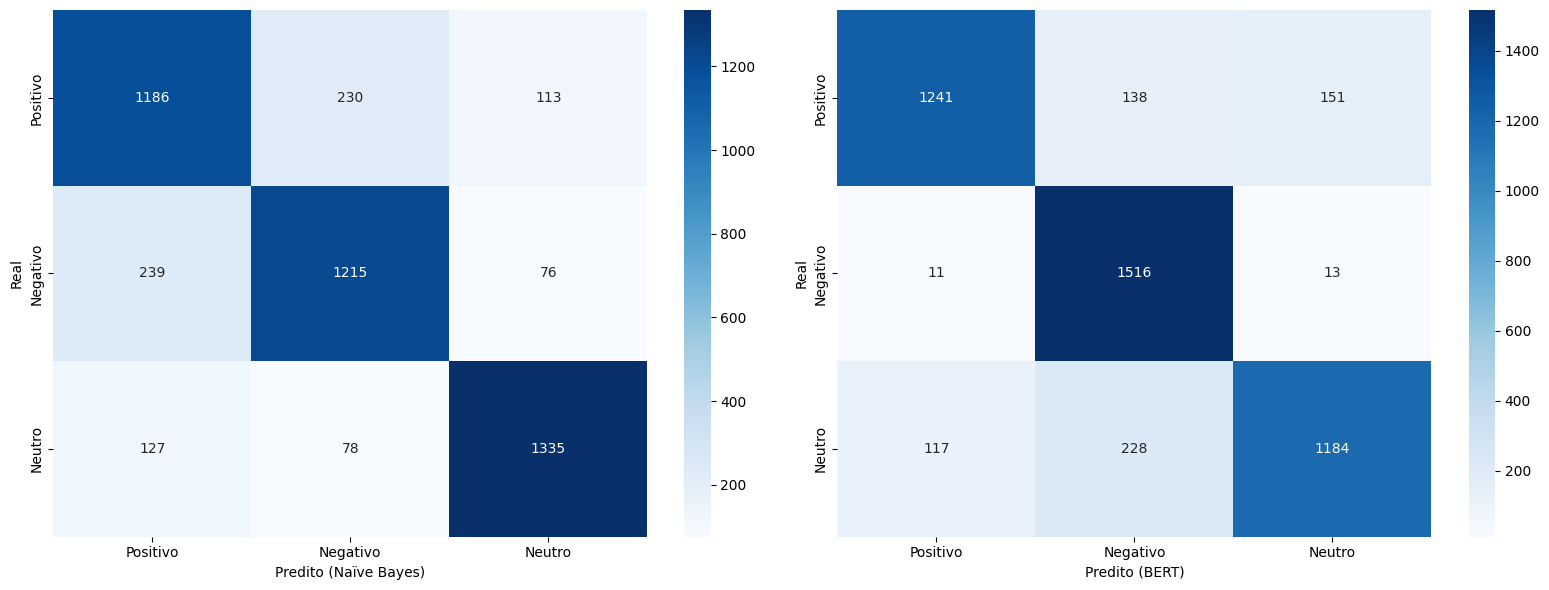


Figura 3. Comparação entre as matrizes de confusão dos modelos Naïve Bayes e BERT  
Fonte: Resultados originais da pesquisa

Não consigo ler as informações da figura, sugiro aumentar a fonte

A partir das matrizes conseguiu-se chegar em mais algumas métricas importantes como a acurácia que representa o percentual de sentenças que foram corretamente classificadas, tendo como resultado os valores de 0,81% e 0,88% para os modelos Naïve Bayes e BERT respectivamente.

Sugiro discutir com maior detalhamento os resultados da figura 3, soa como insuficiente, porque não há uma apresentação de fato dos resultados. Sugiro que comente sobre cada matriz de modo separado, sobre as diferenças entre naive e bert.....

Além da acurácia, outras três métricas bem comuns como processo de avaliação foram calculadas quando se trata de modelos de classificação. Entre elas temos a precisão que consiste nas previsões corretas de uma classe com relação a todas as previsões feitas para a mesma classe, a revocação que representa as previsões corretas de uma classe com relação ao total de casos que realmente pertencem a essa classe e a pontuação F1 que é uma média harmônica entre a precisão e revocação, fornecendo um valor que equilibra ambas as métricas. A Figura 4 demonstra a comparação entre as três métricas citadas.

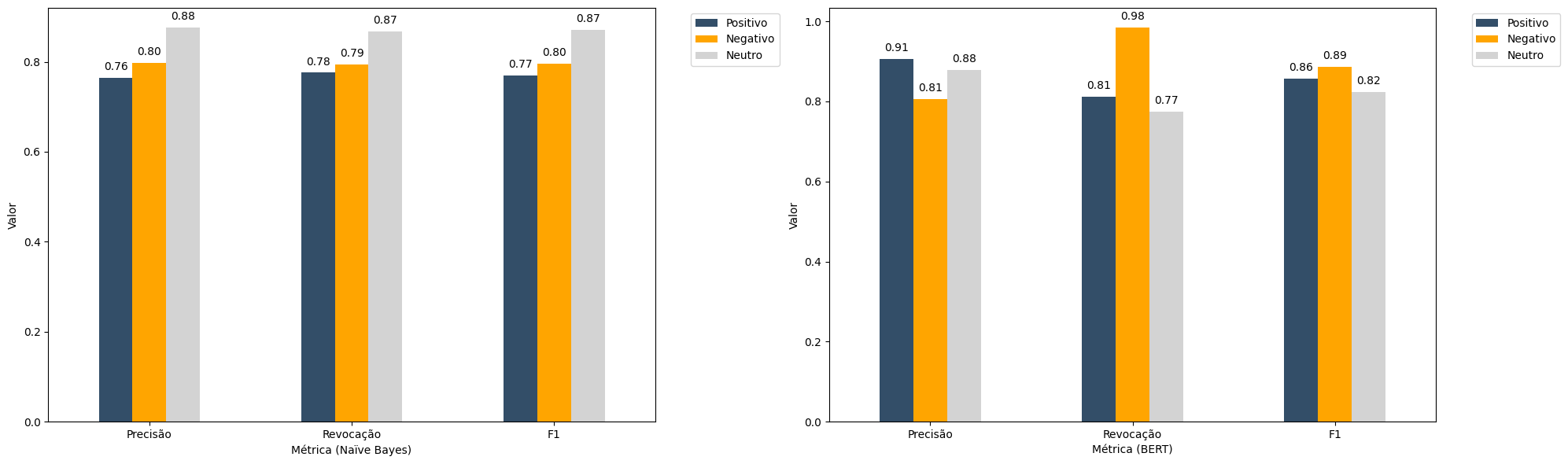


Figura 4. Comparativo de métricas de avaliação para modelos de classificação Naïve Bayes e BERT  
Fonte: Resultados originais da pesquisa

**Mais uma vez não consigo ler, ajustar a fonte ....**

**- Sugestões para continuidade:**

**Discutir detalhadamente a figura 4.**

**Adicionar uma subseção em resultados, denominada de discussão de resultados, em que você vai comparar seus resultados com os resultados de outros trabalhos, similares ao seu.**

**Debater os ganhos da análise que você fez para discutir o tema, ao mesmo passo apontar limitações do trabalho.**

**Rodrigo, sei que escrever não é uma tarefa fácil, mas o trabalho está bom e tem conteúdo para debate. Até o momento, considero um bom desenvolvimento alinhado com o cronograma, parabéns.**

**Referências**

Azilawati Azizan, Masurah Mohamad, Mohammad Nasir Abdullah, Nurkhairizan Khairudin, Nurul Najwa SK Abdul Jamal. Lexicon-based sentiment analysis for movie review tweets. 1st International Conference on Artificial Intelligence and Data Sciences, 2019.

Abayomi Bello, Man-Fai Leung, Sin-Chun Ng. A BERT Framework to Sentiment Analysis of Tweets. Sensors, 2023.

Christine Dewi, Rung-Ching Chen, Henochi Juli Cristiano, Francesco Cauteruccio. Multinomial Naïve Bayes Classifier for Sentiment Analysis of Internet Movie Database. Vietnam Journal of Computer Science, 2023.

Fabrício Bevenuto, Filipe Ribeiro, Matheus Araujo. Métodos para Análises de Sentimentos em Mídias Sociais. Curso rápido em uma conferência de webmedia, 2015.

Faisal Kevin Alkindy, Ubaid Mohamed Dahir. Utilizing Machine Learning for Sentiment Analysis of IMDB Movie Review Data. International Journal of Engineering Trends and Technology, 2023.

Haoran Li. Sentiment Analysis on Internet Movie Database (IMDb) Movie Review Dataset: Hyperparameters Tuning for Naïve Bayes Model. Department of Material Sciences and Engineering, 2023.

Harsh Sharma, Prakash Rokade, Reena Gunjan, Satyajit Pangaonkar. Sentimental Analysis of Movie Reviews Using Machine Learning. ITM Web of Conferences, 2023.

Hota HS, Sharma DK, Verma N. Lexicon-based sentiment analysis using Twitter data: a case of COVID-19 outbreak in India and abroad. Data Science for COVID-19, 2021.

Jacob Devlin, Ming-Wei Chang, Kenton Lee, Kristina Toutanova. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. Google AI Language, 2018.

Like Hui, Mikhail Belkin. Evaluation Of Neural Architectures Trained with Square Loss vs Cross-Entrophy in Classification Taks. International Conference on Learning Representations, 2021.

Mine Çetinkaya-Rundel, Mine Dogucu. Web Scraping in the Statistics and Data Science Curriculum: Challenges and Opportunities, Journal of Statistics and Data Science Education, 2021.

Murtadha B. Ressan, Rehab F. Hassan. Naïve-Bayes family for sentiment analysis during COVID-19 pandemic and classification tweets. Department of Computer science, University of Technology, Baghdad, Iraq, 2022.

Nassera Habbat, Hicham Nouri, Houda Anoun, Larbi Hassouni. Sentiment analysis of imbalanced datasets using BERT and ensemble stacking for deep learning. Research Laboratory on New Economy and Development, 2023.

Rosie Dunfornd, Quanrong Su, Ekraj Tamang, Abigail Wintour. The Pareto Principle. The Plymouth Student Scientist, 2024.

Tianyi Zhang, Felix Wu, Arzoo Katiyar, Kilian Q. Weinberger, Yoav Artzi. Revisiting Few-Sample BERT Fine-Tuning.International Conference on Learning Representations, 2021.

Yassine Rodani. Movie Sentiment Analysis: A Multinomial Naıve Bayes-Based Approach for Assessing User and Critic Opinions. University of Haute-Alsace, FR, 2019.