

Universidade Federal do Paraná  
Setor de Ciências Exatas  
Departamento de Estatística  
Programa de Especialização em *Data Science* e *Big Data*

Luiz Gabriel de Souza

**Aprendizado de Máquina Automático (AutoML)  
para problemas de classificação: Análise  
comparativa do desempenho de frameworks  
privados e públicos**

Curitiba  
2022

Luiz Gabriel de Souza

**Aprendizado de Máquina Automático (AutoML) para  
problemas de classificação: Análise comparativa do  
desempenho de frameworks privados e públicos**

Monografia apresentada ao Programa de  
Especialização em Data Science e Big Data da  
Universidade Federal do Paraná como requisito  
parcial para a obtenção do grau de especialista.

Orientador: Ph.D. Luiz Eduardo S. Oliveira

Curitiba  
2022

# Aprendizado de Máquina Automático (AutoML) para problemas de classificação: Análise comparativa do desempenho de frameworks privados e públicos

Luiz Gabriel de Souza<sup>1</sup>

Ph.D. Luiz Eduardo S. Oliveira<sup>2</sup>

## Resumo

O crescente uso de soluções baseadas em aprendizado de máquina para resolução de problemas complexos em diversas áreas de aplicação, tem demandado soluções versáteis e de fácil utilização. A partir de meados da década passada, começaram a surgir soluções voltadas para esse objetivo, denominadas *Automated Machine Learning* (AutoML), com iniciativas da comunidade de desenvolvimento de códigos abertos e de grandes empresas privadas. Com isso, este projeto tem como objetivo comparar a performance de seis *frameworks* de AutoML escolhidos, sendo três deles privados (GCP AutoML, AWS Autopilot e Dataiku) e três de código aberto (Pycaret, MLJar e H2O), para modelos de classificação binários. Concluímos que o *framework* GCP AutoML se destacou mas ao contrário dos demais *framework* não mostra quais algoritmos foram testados, seus parâmetros ou qualquer outra informação referente ao log dos experimentos, mostrando apenas as métricas de performance da solução final. Dentre os *framework* gratuitos o MLJar e H2O demonstraram alto nível de competitividade frente aos outros *framework* privados AWS Autopilot e Dataiku, tendo apenas como contra ponto a necessidade de conhecimentos de programação para execução dos processos enquanto as soluções privadas possuem interface interativo e não necessitam de codificação explícita.

**Palavras-chave:** Automate Machine Learning, AutoML, Pycaret, GCP, Autopilot.

## Abstract

*The growing use of machine learning-based solutions to solve complex problems in several application areas has demanded versatile and easy-to-use solutions. From the middle of the last decade, solutions aimed at this objective began to emerge, called Automated Machine Learning (AutoML), with initiatives from the open source development community and large private companies. Therefore, this project aims to compare*

*the performance of six chosen frameworks of AutoML, three of which are private (GCP AutoML, AWS Autopilot and Dataiku) and three are open source (Pycaret, MLJar and H2O), for binary classification models. We conclude that the framework GCP AutoML stood out but unlike the other framework it does not show which algorithms were tested, their parameters or any other information regarding the log of the experiments, showing only the performance metrics of the final solution. Among the free framework, MLJar and H2O demonstrated a high level of competitiveness against other private frameworks AWS Autopilot and Dataiku, having only as a counterpoint the need for programming knowledge to execute the processes while the private solutions have an interactive interface and do not require explicit coding*

**Keywords:** Automate Machine Learning, AutoML, Pycaret, GCP, Autopilot.

## 1 Introdução

As últimas décadas marcaram o crescimento do uso de soluções de aprendizado de máquina por grandes empresas e governos no mundo todo. Foram criadas soluções robustas para resolver problemas de visão computacional, reconhecimento de fala, jogos, classificação de elementos, agrupamentos, entre outras. É possível encontrar aplicações de ML na indústria com máquinas interconectadas que prevem problemas de produção [1]; em hospitais auxiliando no diagnósticos de pacientes [2]; nas escolas e universidades personalizando o ensino de estudos [3]; no marketing das empresas, personalizando e maximizando os resultados de campanhas de comunicações [4]; etc.

Com essa popularização, o interesse de profissionais que buscam os benefícios dessa tecnologia também cresceu, fazendo com que a presença e o valor de soluções que exijam pouco ou nenhum conhecimento prévio sobre ML tenha se expandido. Empresas privadas e a comunidade de desenvolvedores de código aberto passou a criar soluções que automatizam o processo de experimentação que é feita normalmente por experientes profissionais das áreas de estatística e matemática. Grandes empresas de tecnologia como Amazon e Google, por exemplo, criaram soluções deste caráter, onde

<sup>1</sup>Aluno do programa de Especialização em Data Science & Big Data, [luiz.gabriel.souza@hotmail.com](mailto:luiz.gabriel.souza@hotmail.com).

<sup>2</sup>Professor do Departamento de Estatística - DEST/UFPR, [luiz.oliveira@ufpr.br](mailto:luiz.oliveira@ufpr.br).

com poucos cliques em uma plataforma baseada em nuvem interativa, é possível treinar modelos complexos e extrair resultados que podem ser utilizados imediatamente, sem a necessidade de configuração prévia de todo o fluxo tradicional de construção de um modelo de ML. Ao mesmo tempo, iniciativas de código aberto criaram ferramentas como Pycaret [5] e MLJar [6], que apesar de não terem interface interativa como as citadas pelas empresas privadas acima, conseguem entregar soluções complexas e realizar diversos tipos de experimentos e transformação de dados com poucas linhas de código, de maneira intuitiva e rápida, sendo acessível para novos usuários interessados em modelos de ML.

Além de atender aos interesses de profissionais com pouca experiência no desenvolvimento de soluções de ML, *frameworks* de AutoML podem contribuir facilitando o dia a dia de profissionais experientes, automatizando processos de experimentação e otimização de parâmetros, economizando tempo e aumentando a produtividade dos especialistas na área:

“Simplificando, o AutoML pode levar a um desempenho melhor enquanto economiza muito tempo e dinheiro, pois os especialistas em aprendizado de máquina são difíceis de encontrar e caros. Como resultado, o interesse comercial no AutoML cresceu dramaticamente nos últimos anos, e várias grandes empresas de tecnologia estão desenvolvendo seus próprios sistemas de AutoML.”[7]

Sendo assim, com base no crescimento do uso de soluções de AutoML, tanto privadas quanto gratuitas, este projeto tem como objetivo comparar a performance de *frameworks* de AutoML para problemas de classificação binários. Não serão realizados nenhum tipo de pré processamento ou engenharia de características dos dados, visando testar as funcionalidades em cada *framework*. Além disso, tentaremos emular o uso dos *frameworks* por usuários com pouca experiência em ML, fazendo uso do maior uso de parâmetros padrão de cada *framework*.

## 2 Revisão da Literatura

A literatura de *benchmarks* de *frameworks* de AutoML não é ampla, visto que o tema tem ganhado notoriedade a poucos anos. O projeto mais robusto com esse objetivo é o desenvolvido pela organização OpenML [8], onde comparam os resultados de quatro *frameworks* de código aberto de AutoML para *datasets* de classificação binária e multi classe no artigo [9].

Para problemas de classificação binária fizeram uso da métrica AUC, processando amostras de 10 *folds*, diferenciando o tempo de processamento entre uma hora para *datasets* pequenos, quatro horas para *datasets* médios e oito horas para *datasets* grandes.

O presente trabalho busca se diferenciar dessa solução já existente trazendo novos *frameworks* não incluídos na análise do mesmo e por adicionar resultados de

*frameworks* privados com processamento em nuvem. Além disso, por conta dos custos envolvidos no processamento dos *datasets* em ambiente privado, todas os *datasets*, independente do tamanho, foram processados por uma hora cada.

## 3 Dados

A fim de garantir comparabilidade entre os resultados dos testes e ao mesmo tempo considerar as dificuldades de se lidar com dados categóricos e numéricos, selecionamos dez *datasets* disponibilizadas pelo projeto aberto OpenML [8], utilizadas para a criação do *AutoML Benchmark Framework* [9], idealizado pelo mesmo. Na documentação do projeto [9], a escolha dos *datasets* foi descrita como:

“O benchmark visa consistir em conjuntos de dados que representam problemas de ciência de dados do mundo real. Isso significa que queremos incluir conjuntos de dados de todos os tamanhos (incluindo grandes), de diferentes domínios de problemas e com vários níveis de dificuldade”. [9]

Dentre todas os *datasets* disponíveis, foram escolhidos os que possuíam diferentes volumes de atributos e instâncias entre si, bem como diferentes tipos de dados como apenas categóricos, apenas numérico e numéricos e categóricos ao mesmo tempo. O nome e algumas características dos *datasets* escolhidos pode ser observado na tabela 1:

Tabela 1: Data-sets selecionados

Nome	Atributos	Instancias	Tipo_Atributos
kdd	231	50.000	Mix
jasmine	145	2.984	Mix
nomao	119	34.465	Mix
kr_vs_kp	37	3.196	Categórico
higgs	29	98.050	Numérico
kc1	22	2.109	Numérico
bank_marketing	17	45.211	Mix
adult	15	48.842	Mix
amazon_emp	10	32.769	Categórico
blood_transfusion	5	748.000	Numérico

Todos os *datasets* podem ser encontrado neste [link](#)

## 4 Experimentos

Foram testados seis *frameworks* de autoML, três deles privados e outros três de código aberto. Entre os privados, foram testados o Google Cloud AutoML (GCP AutoML) [10], Amazon Web Services AutoPilot (AWS AutoPilot) [11] e Dataiku [12]. Entre os de código aberto, foram testados PyCaret [5], MLJar [6] e H2O [13].

Para garantir a comparabilidade dos experimentos, algumas premissas foram tomadas em conta para todos os modelos processados:

- ▶ **Tempo de Processamento:** Limitado a 60 minutos o tempo de processamento para o treino de cada *datasets* em cada *framework*.
- ▶ **Ambiente de Processamento:** Para os *frameworks* privados, foram utilizados seus respectivos ambientes de processamento em nuvem sem personalização. Para os de código aberto, utilizamos a plataforma *Google Colab* com suas configurações padrões do pacote gratuito. Os scripts podem ser acessados [aqui](#).
- ▶ **Métrica para otimizar:** Quando permitido pelo *framework*, optamos por otimizar os experimentos para a métrica **ROC-AUC**, escolhida como medida de comparação entre os resultados obtidos de cada *framework* - a mesma utilizada pelo projeto [9] para problema de classificação binária.
- ▶ **Parâmetros opcionais:** Optamos por utilizar a maior quantidade de parâmetros padrões de cada *framework*, ou seja, sem utilizar parâmetros como balanceamento automático de variáveis, quantidade de modelos para treino, etc. Adicionamos, quando aplicável, a semente aleatória igual a 123, buscando reproducibilidade dos experimentos.
- ▶ **Outras limitações intencionais:** Quando possíveis de serem identificados, foram desconsiderados resultados de modelos *Ensembles* e Redes Neurais, visto que nem todas os *frameworks* possuem tais *features*.

#### 4.1 Frameworks Privados

Com o aumento da popularidade de soluções em cloud, que geralmente são pagas, as empresas investiram também em soluções de machine learning pré prontas para uso, como é o caso do Google Cloud Plataforma (GCP), Amazon Web Services (AWS) e a Dataiku. Todas essas sem a necessidade de criação de scripts ou programação explícita, tudo sendo feito via interface interativa. Abaixo alguns comentários sobre nossa experiência de usuário sobre cada uma delas:

- ▶ **AWS Sagemaker AutoPilot:**
  - Experiência do Usuário: Se demonstrou ser fácil de se interagir. É necessário a criação de uma instância virtual *Sage Maker* e um *bucket S3* para salvar a base de treino e os resultados dos modelos treinados. Uma vez criado o ambiente, basta seguir uma série de passos na interface interativa da ferramenta, escolhendo a variável alvo, o tempo de processamento até o *endpoint* do modelo de maneira opcional.
  - Funcionalidades: Uma das principais características deste framework versus os demais é o fato de todos os modelos testados pelo framework serem salvos em Jupyter Notebook,

garantindo a reproducibilidade dos experimentos e possível personalização por parte do usuário.

#### ▶ Google Cloud Plataforma Auto Machine Learning

- Experiência do Usuário: Não é necessário a criação de instâncias virtuais. Só é necessário importar o data-set e seguir o passo a passo na interface interativa do módulo *Vertex AI* da plataforma, escolhendo a variável alvo, tempo de processamento e se deseja salvar os dados de treinamento e resultados no banco de dados *BigQuery*. Como toda a criação de instâncias virtuais para processamento é feita automaticamente pela plataforma, notamos que o tempo de processamento é maior do que nas demais plataformas. Se escolhermos treinar um dataset por 1 hora, por exemplo, só obterá os resultados do processo concluído cerca de 2 horas depois, pois a ferramenta realiza outros procedimentos antes e depois do treinamento dos modelos.
- Funcionalidades: A ferramenta é completa ao que tange problemas de machine learning, sendo possível realizar o treinamento automático de dados estruturados (dados tabulados para classificação e regressão) e não estruturados (fotos, audios e textos). Como lado negativo, o *framework* não indica qual foi o melhor algoritmo escolhido, apenas mostra as métricas do modelo escolhido, fazendo com que não seja possível reproduzir os experimentos fora da plataforma.

#### ▶ Dataiku

- Experiência do Usuário: Possui interface muito clara e intuitiva. Com poucos cliques é possível importar o dataset de treino e criar um experimento de auto machine learning que traz os resultados e métricas para cada modelo treinado.
- Funcionalidades: A principal característica diferente dos demais *frameworks* privados é o fato de ser possível escolher quais algoritmos serão testados. Apesar disso, não é possível escolher o tempo de treinamento, o que limita a quantidade de combinações experimentos com os hiperparâmetros a serem otimizados.

#### 4.2 Frameworks Gratuitos

Dentro os *frameworks* gratuitos, um ponto que os difere dos *frameworks* privados, é o fato de precisarem de configuração via código, visto que são bibliotecas públicas em python, o que pode se tornar um empecilho para leigos em programação fazerem uso de tais soluções. Abaixo apresento alguns comentários sobre nossa experiência de uso dos *framework* gratuitos:



## ► Pycaret

- Experiência do Usuário: Se demonstrou uma biblioteca de fácil utilização, com muitos recursos ajustáveis e fácil acesso aos objetos criados durante os testes como as bases transformadas, métricas, entre outros. Um diferencial importante deste *framework* é que ele é construído com base nos modelos do *Sklearn*, que é o *framework* de ML mais utilizado por cientistas de dados. No entanto, não se limita aos algoritmos dispostos no *Sklearn*, pois possui compatibilidade para a adição de outros modelos, inclusive Redes Neurais, e suporte para processamento com GPUs.
- Funcionalidades: Com poucos parâmetros nas funções é possível criar experimentos completos, testando uma série de algoritmos de machine learning e com resultados claros e comparativos. Para os usuários mais experientes, existem uma ampla gama de parâmetros adicionais não obrigatórios que podem automatizar transformações de dados. Além disso, possui funções de visualização de dados pré construídas que facilitam muito a análise dos resultados.

## ► MLJar

- Experiência do Usuário: É necessário realizar a separação da base de treino e teste antes de passar os dados para o algoritmo. Uma vez realizada esse procedimento, com apenas uma função é possível dar início ao processamento dos experimentos.
- Funcionalidades: Um diferencial deste *framework* é a geração de um arquivo HTML que consolida os resultados de todos os modelos testados. Com base nisso, é possível analisar as métricas, hiperparâmetros e gráficos dos resultados de cada modelo testado, incluindo o melhor entre eles.

## ► H20 (Versão Gratuita)

- Experiência do Usuário: Dentre os *frameworks* gratuitos, apesar de ser o mais utilizado pela comunidade atualmente, foi o que mais apresentou a necessidade de configurações iniciais e maior conhecimento de programação por parte do usuário. Alguns exemplos dessas configurações é o fato do *framework* possuir estrutura de dados própria e necessitar de um módulo de java para funcionar.
- Funcionalidades: Por ser o *framework* mais antigo dentre todos os testados, possui funcionalidades avançadas a possibilidade de criação de experimentos que incluem *deep learning* e complexos *ensembles* de modelos.

Na tabela 2 é possível observar algumas características comparáveis entre os *frameworks*.

## 5 Resultados e discussão

Na figura 1 é possível visualizar os resultados comparativos da métrica ROC-AUC para cada um dos *datasets* em cada *framework*. Vemos que há uma certa sobreposição de valores, dificultando a comparação da performance entre os *frameworks*. Isso acontece pois alguns *datasets* apresentam resultados semelhantes quando submetidos a cada *framework*, como por exemplo nos *datasets* jasmine, kr\_vs\_kp e nomao. Mesmo assim, em alguns *datasets* é possível observar que alguns *frameworks* se destacam, como é o caso dos *datasets* kdd, kc1, bank\_marketing, amazon\_emp e adult, onde é possível observar que o *framework* GCP Auto ML desponta dos demais, trazendo os melhores resultados. Por outro lado, é possível observar que o *framework* Pycaret tem os piores resultados nos *frameworks* kc1 e amazon\_emp.

No entanto existe uma ressalva muito importante a ser feita sobre o *framework* GCP AutoML. Diferente de todos os demais *frameworks* analisados, ele é o único que não indica qual foi o algoritmo escolhido como melhor, se tornando uma espécie de caixa preta que não mostra sua metodologia, podendo fazer uso de quaisquer soluções não presentes em alguns outros *frameworks* como o uso de ensembles ou deep learning. Este fato é particularmente importante pois nos demais *frameworks* notamos uma tendência na escolha de modelos baseados em árvores (LightGBM, XGBoost, Random Forest e GBM), apesar de outros modelos lineares também terem sido usados em um número menor de casos, como SVM, LDA e GLM. Uma observação interessante é o fato de os *datasets* exclusivamente numéricos terem uma predominância do uso do modelo Random Forest enquanto que os demais tipo de *datasets* (Mix e Categóricos) tiveram predominância dos algoritmos LightGBM e XGBoost.

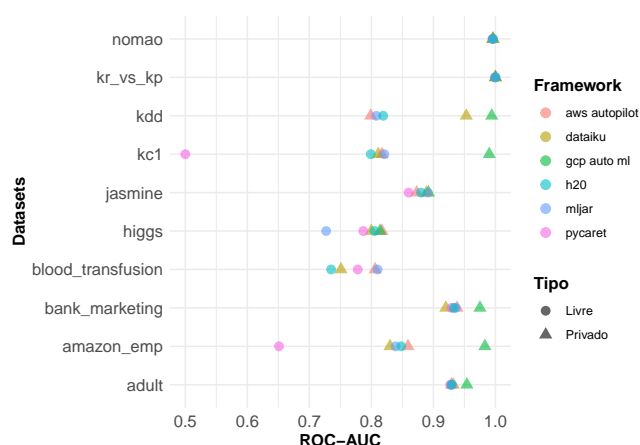


Figura 1: ROC-AUC Classificação Binária

Visando desenvolver uma métrica geral sobre performance de cada *framework*, criamos um ranking ordenado pela ROC-AUC de cada *dataset*, que vai de 1 a 6, onde o *framework* que obteve a maior ROC-AUC é o número 6 e o pior *dataset* (o último colocado) recebe o número 1.

Tabela 2: Resumo das Características dos Frameworks

Framework	aws.autopilot	gcp.auto.ml	dataiku	pycaret	mljar	h2o
Pago ou Livre?	Pago	Pago	Pago	Livre	Livre	Livre
Realiza transformação de dados	S	S	S	S	S	N
Precisa de dados balanceados	N	N	N	N	N	N
Seleciona tarefa automaticamente (Reg vs Clas)	S	N	N	N	S	N
Permite escolher tempo de processamento	S	S	N	S	S	S
Experimentos reprodutíveis	N	N	N	S	S	S
Produz Ensembles	N	-	N	S	S	S
Produz Redes Neurais	N	-	S	N*	S	S
Forks	-	-	-	1300	271	1900
Versão	-	-	-	2.3.10	0.11.2	3.36.1.1

\* Permite a adição manual de algoritmos de redes neurais externos (e qualquer outro tipo de modelo) desde que seja um objeto compatível com o Sklearn API

Em caso de empate, ambos recebem a mesma pontuação.

Quando somamos o ranking por *framework*, obtemos uma espécie de pontuação comparativa entre os *frameworks*, conforme observado na figura 2. Vemos que, na comparação geral, o *framework* GCP Auto ML possui o maior quantidade de pontos, seguido do AWS Autopilot, MLJar, Dataiku, H2O e por último o Pycaret. Concluimos então que os *frameworks* privados possuem melhor performance geral, visto que no top 3 melhores *frameworks* temos em primeiro e em segundo lugar *frameworks* privados. Apesar disso, concluimos também que os *frameworks* gratuitos MLJar e H2O não ficam muito distantes da performance dos *frameworks* privados AWS Autopilot e Dataiku, o que indica um auto grau de competitividade dos *frameworks* gratuitos, a depender do problema a ser resolvido.



Figura 2: Soma de pontos por Framework

Se desconsiderarmos a dimensão *framework* e visualizarmos apenas a relação ranking versus gratuito ou privado, temos o gráfico 3. Nele observamos que no geral, os *frameworks* privados tiveram performance melhor do que os gratuitos, muito influenciado pela performance do *framework* GCP AutoML, como vimos no gráfico 2.

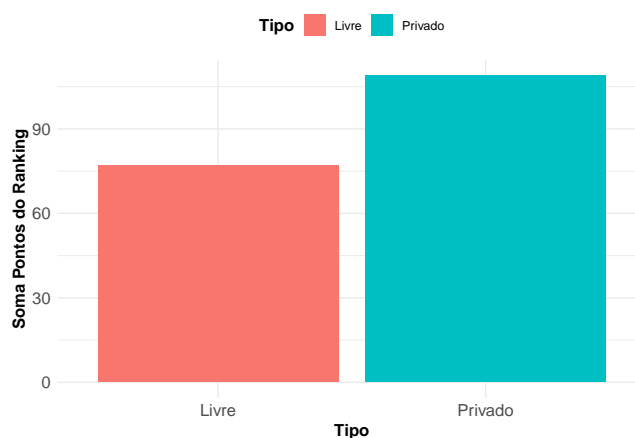


Figura 3: Soma de pontos por tipo de Framework

## 6 Conclusão

O presente projeto conclui que há apenas um ligeiro ganho de performance dos *frameworks* privados frente aos gratuitos, com exceção do *framework* GCP Auto ML que desponta dos demais. Isso nos diz que a depender do seu problema de negócio a ser resolvido, de suas limitações de orçamento e dos seus conhecimentos em programação, soluções gratuitas podem ser bastante competitivas contra soluções privadas. Dentre os *frameworks* gratuitos, é notável a performance geral do MLJar, muito próximo da performance do *framework* privado AWS Autopilot.

Uma ressalva importante sobre o presente projeto é que não foi escopo do projeto analisar a presença de overfitting ou qualquer outro problema de generalização que os resultados possam ter.

Como próximos passos acredito ser relevante estruturar uma maneira efetiva e comparável de coletar dados de custos financeiros de processamento em ambiente virtual em nuvem para os *frameworks* privados. Além disso, é possível estender a potência máxima de cada *framework*, incluindo experimentos com *deep learning* e *ensembles* de modelos, quando o *framework* possuir tal funcionalidade. Por fim, para se obter conclusões mais abrangentes, seria importante aumentar o número de

datasets e o escopo para problemas de regressão e classificações multi-classes.

## Referências

- [1] Marina Paolanti, Luca Romeo, Andrea Felicetti, Adriano Mancini, Emanuele Frontoni, and Jelena Loncarski. Machine learning approach for predictive maintenance in industry 4.0. In *2018 14th IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA)*, pages 1–6, 2018.
- [2] Niharika G. Maity and Sreerupa Das. Machine learning for improved diagnosis and prognosis in healthcare. In *2017 IEEE Aerospace Conference*, pages 1–9, 2017.
- [3] Lijia Chen, Pingping Chen, and Zhijian Lin. Artificial intelligence in education: A review. *IEEE Access*, 8:75264–75278, 2020.
- [4] Pål Sundsøy, Johannes Bjelland, Asif M. Iqbal, Alex “Sandy” Pentland, and Yves-Alexandre de Montjoye. Big data-driven marketing: How machine learning outperforms marketers’ gut-feeling. In William G. Kennedy, Nitin Agarwal, and Shanchieh Jay Yang, editors, *Social Computing, Behavioral-Cultural Modeling and Prediction*, pages 367–374, Cham, 2014. Springer International Publishing.
- [5] Moez Ali. *PyCaret: An open source, low-code machine learning library in Python*, April 2020. PyCaret version 1.0.0.
- [6] Aleksandra Płońska and Piotr Płoński. Mljar: State-of-the-art automated machine learning framework for tabular data. version 0.10.3, 2021.
- [7] Joaquin Vanschoren Frank Hutter, Lars Kotthoff. *Automated Machine Learning*. 2019.
- [8] Bernd Bischl Joaquin Vanschoren, Jan N van Rijn. OpenML: networked science in machine learning. *SIGKDD Explorations*, 15(2):49–60, 2013.
- [9] P. Gijsbers, E. LeDell, S. Poirier, J. Thomas, B. Bischl, and J. Vanschoren. An Open Source AutoML Benchmark. *arXiv preprint arXiv:1907.00909 [cs.LG]*, 2019. Accepted at AutoML Workshop at ICML 2019.
- [10] Google Cloud. *Vertex AI para usuários do AutoML*.
- [11] Amazon Web Services. *Amazon SageMaker Developer Guide*.
- [12] Dataiku. *Dataiku Data Science Studio*.
- [13] Erin LeDell and Sebastien Poirier. H2O AutoML: Scalable automatic machine learning. *7th ICML Workshop on Automated Machine Learning (AutoML)*, July 2020.