**Modelos de risco de crédito através de machine learning: um estudo abrangendo taxa básica de juros**

Thiago Rigo Werminghoff¹\*;Elton Gean Araújo2

1 Economista. Rua Sete, 580 – Emboaba; 95.590-000 Tramanda, RS, Brasil.

2 Professor do Magistério Superior. Avenida Pedro Pedrossian, 725 – Bairro Universitário II; 79500-000 Paranaíba, MS, Brasil.

\*autor correspondente: twerminghoff@gmail.com

**Modelos de risco de crédito através de machine learning: um estudo abrangendo taxa básica de juros**

**Resumo AJUSTAR DEPOIS DE FINALIZAR, TEM RESULTADOS PRELIMINARES AQUI**

Instituições financeiras realizam suas políticas de crédito baseando-se em sistemas de análise de crédito e inadimplência, ao mesmo tempo que são restritas por regulamentações estabelecidas por órgãos de supervisão acerca de boas práticas, metodologias de cálculo, reservas financeiras, entre outros. Este trabalho busca proporcionar uma visão alternativa aos métodos de cálculo de riscos e inadimplẽncia, com a utilização da taxa de juros básica presente e futura do país como variáveis adicionais para a correta classificação de potenciais contratos inadimplentes ainda antes de serem liberados, de forma a aprimorar a lucratividade do negócio evitando clientes que acarretem em potenciais prejuízos e reduzir valores retidos para créditos de liquidez duvidosa. Os resultados preliminares (métrica Acurácia: rede neural 0.992563; gradient boosting 0.982702; random forest 0.979026; linear discriminant analysis 0.975992, support vector machine 0.683326) sugerem um melhor poder de previsão do modelo utilizando rede neural, seguido pelo modelo de gradient boosting, após pelo modelo de random forest, em quarta posição o modelo de linear discriminant analysis e por último o modelo de support vector machine (SVM).

**Palavras-chave:** risco de crédito; finanças; machine learning; modelos de crédito.

**Título em inglês** **ou espanhol** (opcional)

**Abstract** ou **Resumen** (opcional)

....................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................................

**Keywords** ou **Palabras Clave:** (opcional)

**Introdução**

Bancos comerciais determinam suas práticas de crédito baseados em sistemas de credit score, desenvolvidos de modo a estimar o risco de inadimplência dos tomadores (Zeidan et al., 2015). Os autores informam que novos padrões de regulamentações seguem os Acordos de Basileia III, no sentido de que os bancos são obrigados a estimar seus parâmetros de perda: probabilidade de inadimplência, inadimplência-base e exposição à inadimplência.

Não somente a preocupação em cumprir os normativos fazem parte do dia-a-dia dos bancos, o rendimento de sua atividade econômica principal também está diretamente ligado a uma boa manutenção do nível de riscos assumido. Enormes perdas econômicas podem ser evitadas com apenas uma leve melhora da accuracy de um modelo de concessão de credit scoring e de risco de inadimplência (He e Fan, 2021).

A utilização de extensivos bancos de dados e a evolução dos algoritmos de machine learning facilitaram uma melhor compreensão dos dados do tomadores, permitindo a predição de probabilidades de inadimplencia e subsequente análise sobre o risco na concessão de crédito (Jiang et al., 2023). Nessa linha, Yan et al. (2025) caracterizam previsão de inadimplência como a avaliação da probabilidade que um tomador não honre seu débito dentro do cronograma no futuro. Isso ajuda na redução do risco de crédito das instituições financeiras através da análise de alguns dados do tomador, como situação econômica, histórico de crédito e padrões de comportamento. Os autores ainda indicam que a metodologia de análise de risco desse ramo é dada em duas categorias principais: métodos estatísticos e machine learning.

Zeidan et al. (2015) afirmam que historicamente existe uma preferência dentre as organizações financeiras e pesquisadores pela utilização de modelos estatísticos em análise de crédito, como o exemplo da aplicação de Z-score e modelos de regressão de Altman (1968). He e Fan (2021), Wu et al. (2022) e Yan et al. (2025) também mencionam Altman (1968) como precursor da análise de risco moderna, muito embora seja importante frisar que existem estudos anteriores (Beaver, 1966; Myers e Forgy, 1963). O paper de Altman (1968) dedica-se a estudar um grupo de indicadores financeiros e econômicos particulares de cada empresa com vistas a prever um contexto de falência utilizando uma metodologia estatística de discriminantes múltiplos.

Embora alguns estudos de referência tenham sido realizados com informações de empresas, é possível fazer um paralelo com a situação econômica-financeira de pessoas físicas e desse modo inferir sobre o potencial de risco de crédito dessa pessoa. Altman (1968) menciona que uma empresa com uma margem de lucro ruim e/ou histórico de baixa solvência (capacidade de honrar seus compromissos) pode ser considerada como um potencial de alto risco de crédito. O raciocínio às pessoas físicas é semelhante: um indivíduo com baixa renda e/ou histórico de atrasos pontuais ('solvência' baixa) também pode ser considerado um potencial de alto risco de crédito.

Como as técnicas de machine learning conseguem uma boa performance em classificação de dados, metodologias como redes neurais, support vector machines e árvores de clasificação/regressão se tornaram mais comuns, especialmente em sistemas de risco de crédito cada vez mais altos (Shen et al., 2021). Mesmo com as técnicas de machine learning performando melhor do que modelos estatísticos tradicionais, os autores ressalvam que não existe um modelo de classificação único que consiga obter os melhores resultados em todos os casos.

Diversos trabalhos já foram realizados confrontando métodos estatísticos e métodos de machine learning no tocante à análise e cálculo de risco de crédito (Liu et al., 2022; Yan et al., 2025, He e Fan, 2021; Zeidan et al., 2015; Shen et al., 2021; Barboza et al., 2017, Addo et al., 2018, Bayraci e Susuz, 2019), com a grande maioria atestando melhor performance por parte dos modelos de machine learning em detrimanto aos modelos estatísticos.

A literatura atual comtempla diversos estudos sobre risco de crédito (seja na antes ou após a efetivação do contrato) com a utilização de redes neurais (Ribeiro e Lopes, 2011; Kvamme et al., 2018; Mai et al., 2019; Georgiou e Yannacopoulos, 2024; Addo et al., 2018; Khashman, 2010) nas mais diversas áreas financeiras (cartões de crédito, empréstimos pessoais, hipotecas, créditos a empresas, risco de falência empresarial). O estudo de Dastile et al. (2020) informa que os modelos mais frequentes utilizados para análise e cálculo de risco de crédito são regressão linear, support vector machines e redes neurais artificiais - os classificadores de deep learning estão entre os menos frequentemente utilizados.

Nos últimos anos as redes neurais tem recebido bastante atenção, também no campo de finanças. Kellner et al. (2022) nomeiam duas possíveis razões: primeiro, o poder computacional aumentou massivamente nos anos recentes e soluções open-source foram amplamente desenvolvidas - o que permite algoritmos altamente complexos ficarem à disposição de uma audiência muito ampla. Segundo, a performance superior desses algoritmos é bem documentada na literatura.

Este trabalho pretende averiguar empricamente a eficácia de algoritmos de machine learning (random forest, gradient boosting, LDA, SVM e redes neurais) para análise de risco de crédito especificamente na tentativa de previsão de contrato de crédito em futura situação de prejuízo no âmbito de empréstimos pessoais, realizando comparações entre os modelos treinados.

Entretanto o trabalho apresentado não busca esgotar o assunto ou as obras que dele tratam, existe uma infinidade de algoritmos de machine learning utilizados especificamente na análise de eventos raros e/ou análises de crédito, bem como variações mais complexas dos algoritmos aqui uitlizados, que não figuram dentro do escopo de estudo deste trabalho.

**Material e Métodos (rever texto, incluir parágrafos explicando melhor cada um dos modelos, com equações, objetivos e etc.)**

É realizado um estudo de caso com base em banco de dados dos empréstimos concedidos pelo Lending Club Corporation, uma empresa americana situada em San Francisco (CA) que concede empréstimos de até US$40mil, sem contrapartida, através de modalidade peer-to-peer (investidores e tomadores com interação direta), disponibilizado no website Kaggle[[1]](#footnote-2) com a inclusão de informações referentes à *Effective Federal Funds Rate* (EFFR) na época da solicitação do empréstimo, obtida através do website do *Federal Reserve Bank of St. Louis[[2]](#footnote-3)*, também incluindo expectativas de taxas futuras (períodos de 6 e 12 meses). Para estas taxas de juros de expectativas futuras é utilizada a própria taxa efetiva futura mais um ruido aleatório de até 1pp ao ano. Este ruído é incluído em função da impossibilidade de se conhecer a taxa futura efetiva a priori.

A EFFR é estabelecida pelo *Federal Open Market Comitee* (FOMC), órgão americano equivalente ao Comitê de Política Monetária (Copom) no Brasil, responsável pelas diretrizes da política monetária e, particularmante, responsável pelo estabelecimento da taxa básica de juros da economia brasileira (Selic). A EFFR representa para os Estados Unidos o que a taxa DI (depósito interbancário) representa para o Brasil: ambas servem como proxy para a taxa de juros básica de suas respectivas economias.

Em relação a um paralelo preciso com a taxa Selic, diferente do Brasil os EUA não possuem uma taxa-alvo (como é comumente conhecida a nossa taxa básica de juros), eles trabalham com piso e teto de ‘referência-alvo’ desde 2008[[3]](#footnote-4). Por questões de reproducibilidade, opta-se então por trabalhar com a EFFR como proxy de uma taxa básica de juros, tendo em vista essa taxa ser divulgada continuamente desde 1954 até hoje.

O banco de dados compreende o período de janeiro de 2007 até o final de 2017, é composto de 107 variáveis numéricas e 35 variáveis não-numéricas (datas, categorias, etc.), com 2,92 milhões de observações no total.

Os dados são tratados em relação a se o proponente dos contratos tem histórico de renegociações (*hardships*) e se as propostas são submetidas de forma individual (apenas um mutuário) ou conjunta (normalmente um casal). Após filtragem das features desnecessárias e procedimentos como o One Hot Encoding e *binning* de categorias, o banco de dados finalizado compreende um total de 210 features, todas numéricas, prontas para serem utilizadas no treinamento e verificação dos modelos propostos, contendo um total de 2,35 milhões de observações.

Anterior ao início de treino e verificação dos modelos, é separado um grupo de observações (15% do total) com dois objetivos: (1) redução de dimensionalidade do banco de dados, possibilitando a computação pela máquina local em utilização (economias de CPU e RAM); e (2) servir como base de teste dos modelos em linha de produção, ou seja, sendo utilizados no dia-a-dia da instituição financeira. Dos 85% restantes (2 milhões de osbervações), separa-se dois agregados distintos: um grupo exclusivo para treinamento dos modelos (80% desse montante) e outro grupo exclusivo para teste dos modelos (os 20% restantes).

Como modelo de regressão de referência de modelos estatísticos para análise de risco será utilizada a análise de discriminante linear (LDA – *linear discriminant analysis*), que, segundo Moscatelli et al. (2020), permite uma análise da qualidade de crédito de uma instituição utilizando uma função linear que classifica os tomadores dessa instituição em grupos distintos (inadimplentes e não-inadimplentes) com base em uma série de características particulares desses tomadores. Dastile et al. (2020) informam que a LDA desenvolve uma combinação linear de variáveis independentes que resulta na maior diferença média entre as classes, proporcionando a solução de um problema de classificação binária. Sobre modelo LDA específico para classificações em apenas duas categorias, Duda et al. (2021) informam que este pode ser também chamado de Fisher Discriminant Analysis (FDA).

Uma função discriminante linear divide o espaço de variáveis por um hiperplano de limiar de decisão (Duda et al., 2021). Estes autores escrevem que essa função é uma combinação linear dos componentes de que pode ser escrita conforme a eq. (1):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

onde é um vetor de pesos e é a tendência ou o limiar de discriminação (*threshold weight*).

Duda et al. (2021) continuam a informação de que um classificador linear de duas categorias implementa a seguinte regra de decisão: decide se e se . Assim, é atribuído a se o produto interno excede o limiar e a caso não. Se , então pode ser atribuído ordinariamente a qualquer classe. Desse modo, a equação define o limiar para decisão que separa os pontos atribuídos a dos pontos atribuídos a . Quando é linear, então esse limiar para decisão é um hiperplano. De acordo com os autores, se ambos e estão neste limiar para decisão, então , ou e isso demonstra que é normal a qualquer vetor que situa-se no hiperplano. Em regras gerais, o hiperplano divide o espaço de variáveis em dois semi-espaços, sendo eles região para e região para . Uma vez que , se encontra-se em , sucede-se que o vetor normal aponta para . Ocasionalmente refere-se que qualquer em encontra-se no *lado positivo* de e qualquer em encontra-se no *lado negativo* de .

A orientação do limiar desse hiperplano é determinada pelo vetor normal , e as localizações do limiar é determinado pelo viés . A função discrimante é proporcional à distância sinalizada de em diração ao hiperplano, com quando encontra-se no lado positivo e quando está no lado negativo (Duda et al., 2021).

Os autores ainda esclarecem que a função discriminante retorna uma medida algébrica da distância de em relação ao hiperplano. Alternativamente, é possível expressar como descrito na eq. (2):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |

onde é a projeção regular de em , e é a distância algébrica desejada - positiva se está no lado positivo e negativa se encontra-se no lado negativo. Então, quando , tem-se a eq. (3):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3) |

que, invertendo e , tem-se a eq. (4):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3) |

Para os modelos de análise de risco com a utilização de algoritmos de machine learning, este trabalho propõe o desenvolvimento de modelos baseados em random forest, gradient boosting, support vector machines (SVM) e redes neurais.

No trabalho de Addo et al. (2018), os autores definem *random forest* como um agrupamento de árvores de decisão, sendo que cada árvore é desenvolvida através de um subconjunto de dados aleatoriamente escolhidos e a precisão de uma random forest depende diretamente da força de cada árvore de decisão individual, bem como uma medida de dependência entre elas.

Cada resultado de uma decisão em um dado nó é chamado de *split* (separação, divisão), uma vez que pode ser representado utilizando apenas decisões binárias e corresponde à separação (*split*, literalmente) de um banco de dados em dois subgrupos. O primeiro nó (também chamado de nó raiz) separa a totalidade do dataset em uso, cada sucessiva decisão separa um sub-grupo apropriado de dados (Duda et al., 2021). Via de regra, a quantidade máxima de splits é definida como hiperparâmetro, ou seja, definida pelo usuário, e pode variar ao longo da(s) árvore(s).

Wang et al. (2024) elencam três vantagens principais dos algoritmos de árvores de decisão/random forest: primeiro, que é possível utilizar essa modelagem tanto para regressão como para classificação, podendo se observar facilmente a importância relativa de cada feature utilizada; segundo, que os modelos de random forest são simples de usar e muito convenientes uma vez que produzam boas predições valendo-se dos hiperparâmetros padrões; e terceiro, que os modelos de random forest raramente atingem o *overfit*, a adaptação perfeita ou quase-perfeita do algoritmo ao banco de dados de treino, uma vez que se possua uma quantidade significativa de árvores de decisão na floresta.

Contudo, o trabalho de Duda et al. (2021) informa que se os splits continuarem indefinidamente (e ao longo de todas as árvores distintas) até o ponto de menor impureza possível, então os dados sofreram *overfit*. Para estes autores, nesse caso extremo, cada folha (o nó final) da árvore corresponde a um único ponto do banco de dados de treino e a árvore como um todo não passa de apenas uma apresentação de uma tabela. Bem como se os splits forem interrompidos muito cedo então a perda (*loss*) resultante do treinamento não é suficientemente baixa e por consequência o modelo terá problemas de performance (*undefit*, a falha na adaptação do algoritmo ao banco de dados).

De acordo com Duda et al. (2021), o princípio fundamental que sustenta a criação de toda e cada árvore é o da simplicidade: decisões que resultem em árvores simples, compactas e com poucos nós são preferidas (o que corrobora com o princípio da Navalha de Occam, onde a explicação mais simples para um fenômeno é geralmente a mais correta). Para tanto, segundo os autores, é necessário uma propriedade de teste a cada nó que faça com que os dados cheguem aos nós imediatamente seguintes tão 'puros' quanto possível.

Nessa formalização os autores acreditam ser mais fácil definir a impureza de um nó do que a sua pureza. Assim, descrevem o complexo da definição como segue. Seja a impureza de um nó . Em todos os casos quer-se que seja zero se todos os padrões que chegaram ao nó carregam o mesmo nome de categoria, e que seja maior que zero se as categorias estejam igualmente representadas. A métrica mais popularmente utilizada é a impureza de entropia (ou impureza de informação) conforme a eq. (4):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4) |

onde é a quantidade percentual de padrões no nó que encontram-se na categoria . Pelas propriedades de entropia, se todos os padrões são da mesma categoria, a impureza é, então, zero; ao contrário ela é positiva, com o maior valor possível ocorrendo quando as diferentes classes são igualmente prováveis.

Duda et al. (2021) escrevem que uma random forest é particularmente útil em problemas binários, uma vez que impureza zero é desejável apenas quando o nó representa somente padrões de uma única categoria. A mais simples forma polinomial dá-se pela eq. (5):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5) |

o que pode ser interpretado como variância de impureza, uma vez que ela é relacionada à variância de uma distrubição associada com as duas categorias.

Dastile et al. (2020) informam que o *gradient boosting* é amplamente conhecido pela sua velocidade de processamento e porformance, seu funcionamento é similar ao gradient boosting (que estima múltimplos modelos iterativamente e atribui pesos a cada instância de dados) porém ele cria árvores de decisão em paralelo ao invés de serializadas. De acordo com os autores, o algoritmo começa desenvolvendo um modelo fraco (por exemplo, uma árvore de decisão rasa), em sequência um modelo melhorado tenta resover os problemas encontrados pelo modelo anterior. As instâncias em que as classificações foram incorretas pelo modelo anterior tem novos pesos atribuídos e o processo é repetido por um número X de vezes (definido pelo usuário), onde um teceiro modelo tenta resolver os problemas do segundo e assim sucessivamente, buscando minimizar a função de perda (*loss*) definida pelo usuário nos hiperparâmetros da função.

A respeito das SVM, ou *support vector machines*, Barboza et al. (2017) escrevem que esses modelos são similares à análise discriminante linear, porém não são sujeitas a uma série de premissas, o que por consequência faz com que as SVM sejam menos restritivas. Dastile et al. (2020) informam que uma SVM utiliza uma ideia de hiperplano (que representa uma fronteira de decisão) que separa as classes em um espaço de alta dimensão das variáveis; o SVM linear tem como objetivo maximizar a margem entre os hiperplanos negativo e positivo., conforme a eq. (6):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (6) |

A classe correta é então atribuída de acordo com a eq. (7):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (7) |

onde representa a tendência ou viés. Desse modo, quanto maior a margem melhor é a generalização do classificador.

Redes neurais artificiais referem-se a um sistema baseado analogamente em um sistema neural biológico - uma rede neural artificial simula o modo como o cérebro processa informações através de neurônios interconectados (Dastile et al., 2020). Nesse aspecto, Bayraci e Susuz (2019) ilustram que a configuração dessa rede neural é determinada pela maneira pela qual as camadas de neurônios encontram-se conectadas.

Dastile et al. (2020) escrevem que uma rede neural consiste em três camadas (*layers*) distintas: uma camada de entrada (*input layer*), uma camada de processamento (*hidden layer*) e uma camada de saída (*output layer*). Nos casos em que o número de hidden layers é igual ou superior a dois, a rede neural é chamada de rede neural profunda (*Deep Neural Network –* DNN) (Bayraci e Susuz, 2019). O treino de uma rede neural envolve o processo de obter-se os pesos ótimos atribuídos que mapeiam as camadas input/output através de uma mecânica chamada de retropropagação (*backpropagation*) (Dastile et al., 2020).

Duda et al. (2021) argumentam que a retropropagação é um dos meios mais simples e gerais para o treinamento de modelos supervisionados de redes neurais. A maior utilidade da retropropagação é ela permitir o cálculo de um erro efetivo para cada neurônio, e assim resulta em uma regra de aprendizagem para os pesos, conforme observado na eq. (8):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8) |

onde é o target e é o vetor de output da rede com comprimento ; representa os pesos arbitrados na rede neural.

Essa regra de aprendizagem é baseada em *gradient descent* (método do máximo declive): os pesos são inicializados com valores aleatórios e são alterados na direção em que o erro é reduzido seguindo a eq. (9), representada em sua forma componente vetorial pela eq. (10):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (9) |

|  |  |
| --- | --- |
|  | (10) |

onde é a taxa de aprendizagem (*learning rate*) e indica o tamanho relativo das alterações nos pesos (Duda et al, 2021). Esse algoritmo iterativo utiliza entãoum vetor de peso em e procede com sua atualização de cordo com a eq. (11):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (11) |

onde representa o índice de iteração em uso.

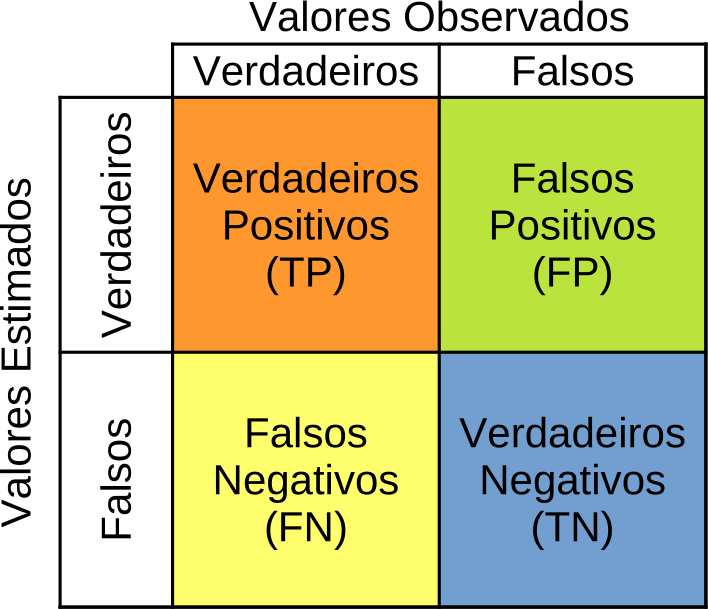
De forma simplificada, Dastile et al. (2020) explicam que para um vetor de dados x qualquer, uma rede neural simples de três camadas calcula o resultado ŷ de acordo com a eq. (12):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (12) |

onde , , e são pesos; e são as funções de ativação entre a camada de entrada e a camada de processamento. Os parâmetros de decisão são aprendidos durante a fase de treino, para a entrega efetiva de um resultado a rede neural depende de ainda uma função de decisão (também referida como *função de ativação*), como, por exemplo, softmax ou sigmoide, que é registrada na camada de saída.

Para fins de análise e comparação dos modelos, são utilizadas métricas baseadas na Matriz de Confusão, sendo elas acurácia (precisão simples de acertos), sensibilidade (*recall*), especificidade e precisão, além da Matriz de Confusão propriamente dita. Para todos os modelos treinados foi utilizado sempre o mesmo *cutoff* padrão (0,5): o *cutoff* é o valor limite de decisão em que o algoritmo classifica um problema binário em uma classe ou em outra.

Com base no estudo de classificação de Niu et al. (2020), a Figura 1 esboça a estrutura básica de uma Matriz de Confusão:

Figura 1. Estrutura básica da Matriz de Confusão.

Fonte: elaboração do autor

Os cálculos das métricas utilizadas neste trabalho são definido desde a eq. (13) até a eq.(16):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (13) |

|  |  |
| --- | --- |
|  | (14) |

|  |  |
| --- | --- |
|  | (15) |

|  |  |
| --- | --- |
|  | (16) |

onde FP (*false positives*) são os falsos positivos; TP (*true positives*) são os verdadeiros positivos; FN (*false negatives*) são os falsos negativos; TN (*true negatives*) são os verdadeiros negativos.

Existem dois tipos básicos de erros possíveis quando da análise de uma Matriz de Confusão qualquer, definidos como erros de tipo I e erros de tipo II. O primeiro resulta do erro de classificação X em Y, o segundo diz respeito ao erro II. No contexto deste trabalho, um erro de tipo I se apresenta quando a classificação de inadimplente não é bem por aí, e um erro de tipo II percebe-se quando acontece a outra coisa. A depender da política econômica ou da própria governança empresarial, a instituição pode modificar o parâmetro de cutoff para que o modelo de crédito utilizado permita viés mais tendencioso a erro do tipo I (melhor tal coisa, ao custo de outra coisa, exemplo de cenário) ou a erro do tipo II (outro coiso, exemplo de cenário apropriado).

Todo o desenvolvimento é realizado em Python, utilizando a versão 3.12.3, com o auxílio do editor de texto Visual Studio Code, desenvolvido pela Microsoft. Para o desenvolvimento em Python serão utilizados pacotes específicos de machine learning, visualização e manipulação de dados, como por exemplo (mas não restrito a) Pandas, NumPy, Matplotlib e Seaborn. Os modelos de risco de crédito serão treinados utilizando-se os pacotes TensorFlow para redes neurais, CatBoost para gradient boosting, e Scikit-Learn tanto para SVM como para a random forest.

Após ser realizada a manipulação dos dados de modo a possibilitar o uso com os algorítmos de machine learning, as variáveis numéricas foram padronizadas através de Z-Score e as variáveis categóricas passaram pelo processo de One Hot Encoding utilizando o pacote scikit-learn.

**Resultados e Discussão (rever, copiado dos Resultados Preliminares)**

Uma vez que os modelos tenham sido treinados utilizando a mesma base de dados, os resultados preliminares sugerem um melhor poder de previsão do modelo baseado em rede neural, em segundo lugar aparece o modelo de gradient boosting, em terceiro o modelo de random forest, em quarta posição o modelo de linear discriminant analysis e por último o modelo de support vector machine (SVM), como podem ser verificados na Tabela 1.

Tabela 1. Métricas obtidas após o treinamento dos algoritmos com a utilização do banco de dados de validação

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Modelo | Acurácia | Sensitividade | Especificidade | Precisão |
| Rede Neural | 0.994406 | 0.965922 | 0.998570 | 0.989972 |
| Gradient Boost | 0.981926 | 0.858496 | 0.999971 | 0.999767 |
| Random Forest | 0.975987 | 0.812083 | 0.999948 | 0.999563 |
| LDA | 0.976080 | 0.821201 | 0.998722 | 0.989467 |
| SVM | 0.660908 | 0.906529 | 0.625000 | 0.261125 |

Fonte: Resultados originais da pesquisa

Os valores previstos em cada campo da Matriz de Confusão de cada modelo para o banco de dados de teste encontram-se na Tabela 2. Os respectivos valores para o banco de dados de teste encontram-se na Tabela 3.

Tabela 2. Valores previstos na Matriz de Confusão para cada modelo, com base no banco de dados de teste

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Modelo | Verdadeiros Positivos | Falsos Positivos | Falsos Negativos | Verdadeiros Negativos |
| Rede Neural | 49.191 | 598 | 1.733 | 348.980 |
| Gradient Boost | 50.481 | 15 | 443 | 349.563 |
| Random Forest | 50.082 | 23 | 842 | 349.555 |
| LDA | 41.736 | 422 | 9.188 | 349.156 |
| SVM | 46.145 | 131.573 | 4.779 | 218.005 |

Fonte: Resultados originais da pesquisa

Tabela 3. Valores previstos na Matriz de Confusão para cada modelo, com base no banco de dados de validação

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Modelo | Verdadeiros Positivos | Falsos Positivos | Falsos Negativos | Verdadeiros Negativos |
| Rede Neural | 43.537 | 441 | 1.536 | 307.871 |
| Gradient Boost | 38.695 | 9 | 6.378 | 308.303 |
| Random Forest | 36.603 | 16 | 8.470 | 308.296 |
| LDA | 37.014 | 394 | 8.059 | 307.918 |
| SVM | 40.860 | 115.617 | 4.213 | 192.695 |

Fonte: Resultados originais da pesquisa

**Considerações Finais**

Blábláblá. Muito embora não foi o objetivo eliminar quaisquer dúvidas sobre qual o melhor modelo a ser utilizado, o modelo XYZ mostrou-se melhor em temos absolutos, dadas as métricas de análise A e B. Contudo, normativos institucionais podem inviabilizar a utilização de tal modelo em função disso e daquilo, sei lá. Apaga o próximo parágrafo e a nota de atenção abaixo dele.

O título da seção Conclusão(ões) ou Considerações Finais deve ser alinhado à esquerda e grafado em negrito. Fica a critério do aluno e do orientador a escolha de qual termo melhor se adequa ao trabalho. Esta seção deve conter frases curtas, apresentando as conclusões e inferências elaboradas a partir da discussão dos resultados. É importante que estas frases não sejam construídas como meras reproduções dos resultados, respondendo aos objetivos propostos no trabalho. Os autores não devem, em hipótese alguma, mencionar, citar ou reproduzir resultados de outros estudos na(s) Conclusão(ões) ou Considerações Finais do TCC. Por fim, salienta-se que essa seção não deve conter tabelas ou figuras, sendo redigida de forma sucinta.

**Atenção:** antes de enviar o arquivo para o Sistema de TCCs, remova todas as instruções originais que estão abaixo do conteúdo dos tópicos.

**Agradecimento**

Meus sinceros agradecimentos ao meu orientador, prof. Elton Gean Araújo, que durante nosso pequeno percurso juntos sempre me estimulou a produzir mais conhecimento e sempre conhecimento mais acessível.

E um agradecimento especial a eu mesmo, sem esta pessoa este TCC com certeza não teria sido produzido.

**Referências**

Addo, P.M.; Guegan, D.; Hassani, B. 2018. Credit risk analysis using machine and deep learning models. Working Papers 2018(08). Department of Economics, University of Venice "Ca' Foscari". Disponível em: <https://ideas.repec.org/p/ven/wpaper/201808.html>. Acesso em: 27 fev. 2025.

Altman, E.I. 1968. Financial ratios, discriminant analysis and the prediction of corporate bankruptcy. The Journal of Finance 23(4): 589-734. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1540-6261.1968.tb00843.x>. Acesso em: 26 fev. 2025.

Barboza, F.; Kimura, H.; Altman, E.I. 2017. Machine learning models and bankruptcy prediction. Expert Systems with Applications (83). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417417302415>. Acesso em: 24 fev. 2025.

Bayraci, X.; Susuz, C. 2019. A deep neural network (DNN) based classification model in application to loan deafult prediction. Theoretical and Applied Economics 26(4): 75-84. Disponível em: <https://www.ebsco.ectap.ro/Theoretical\_&\_Applied\_Economics\_2019\_Winter.pdf#page=75>. Acesso em: 24 fev. 2025.

Beaver, W.H. 1966. Financial ratios as predictors of failure. Journal of Accounting Research 4: 71-111. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2490171>. Acesso em: 28 fev. 2025.

Dastile, X.; Celik, T.; Potsane, M. 2020. Statistical and machine learning models in credit scoring: A systematic literature survey. Applied Soft Computing Journal 91. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1568494620302039?via%3Dihub>. Acesso em: 27 fev. 2025.

Duda, R. O.; Hart, P. E.; Stork, D. G.. 2001. Pattern Classification. 2a Edição. Editora Wiley-Interscience, Hoboken, Nova Jersey, Estados Unidos da América.

Georgiou, K; Yannacopoulos, A.N. 2024. Deep neural networks for probability of default modelling. Journal of Industrial and Management Optimization 20(12). Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/379054682\_DEEP\_NEURAL\_NETWORKS\_FOR\_PROBABILITY\_OF\_DEFAULT\_MODELLING>. Acesso em: 26 fev. 2025.

He, H.; Fan, Y. 2021. A novel hybrid ensemble model based on tree-based method and deep learning method for default prediction. Expert Systems with Applications 176. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417421003407>. Acesso em: 24 fev. 2025.

Jiang, Z.; Su, J.; Zhou, L. 2023. Credit default prediction based on genetic algorithm improved neural network. In: 9th International Conference on Systems and Informatics (ICSAI) 2023. Anais... Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10423366>. Acesso em: 24 fev. 2025.

Kellner, R.; Nagl, M.; Rosch, D. 2022. Opening the black box - quantile neural networks for loss given default prediction. Journal of Banking & Finance (134). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378426621002855>. Acesso em: 24 fev. 2025.

Khashman, A. 2010. Neural networks for credit risk evaluation: investigation of different neural models and learning schemes. Expert Systems with Applications 37(9). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417410001405>. Acesso em: 27 fev. 2025.

Kvamme, H.; Sellereite, N.; Aas, K.; Sjursen, S. Predicting mortgage default using convolutional neural networks. Expert Systems with Applications 102: 207-217. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417418301179>. Acesso em: 28 fev. 2025.

Liu, J.; Zhang, S.; Fan, H. 2022. A two-stage hybrid credit risk prediction model based on XGBoost and graph-based deep neural network. Expert sySystems with Applications (195). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417422001142>. Acesso em: 25 fev. 2025.

Mai, F.; Tian, S.; Lee, C.; Ma, L. 2019. Deep learning models for bankrupcy prediction using textual disclosures. European Journal of Operational Research 274(2): 743-758. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221718308774>. Acesso em: 28 fev. 2025.

Myers, J.H.; Forgy, E.W. 1963. The development of numerical credit evaluation systems. Journal of the American Statistical Association 58(303): 799-806. Disponível em: <https://pages.ucsd.edu/~aronatas/project/academic/Comparison%20of%20Discriminant%20and%20Regression%20analysis%20for%20cred.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2025.

Niu, J.; An, G.; Gu, Z.; Li, P.; Liu, Q.; Bai, R.; Sun, J.; Du, Q. 2020. Analysis of sensitivity and specificity: precise recognition of neutrophils during regeneration of contused skeletal muscle in rats. Forensic Sciences Research 7: 1-10. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/340034692\_Analysis\_of\_sensitivity\_and\_specificity\_precise\_recognition\_of\_neutrophils\_during\_regeneration\_of\_contused\_skeletal\_muscle\_in\_rats>. Acesso em 12 jun. 2025.

Ribeiro, B.; Lopes, N. 2011. Deep belief networks for financial prediction. In: Neural Information Processing (ICONIP) 2011. Anais... p.766-773. Disponível em: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-24965-5\_86>. Acesso em: 26 fev. 2025.

Shen, F.; Zhao, X; Kou, G; Alsaadi, F.E. 2021. A new deep learning ensemble credit risk evaluation model with an improved synthetic minority oversampling technique. Applied Soft Computing Journal 98. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1568494620307900>. Acesso em: 27 fev. 2025.

Wang, J.; Xu, J.; Cheng, Q.; Kumar, R. 2024. Research on finance Credit Risk Quantification Model Based on Machine Learning Algorithm. Academic Journal of Science and Technology 10(1). Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/07ac/c995c9288498666608b157362d8be2df7123.pdf>. Acesso em: 02/06/2025.

Wu, D.; Ma, X.; Olson, D. 2022. Financial distress prediction using integrated z-score and multilaye perceptron neural networks. Decision Support Systems (159). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167923622000859>. Acesso em: 24 fev. 2025.

Yan, Z.; Qu, H.; Chen, C.; Lv, X.; Zuo, E.; Wang, K.; Cai, X. 2025. WIGNN: An adaptive graph-structured reasoning model for credit default prediction. Engineering Applications of Artificial Intelligence 139(B). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095219762401755X>. Acesso em: 25 fev. 2025.

Zeidan, R.; Boechat, C.; Fleury, A. 2015. Developing a sustainability credit score system. Journal of Business Ethics 127: 283-196. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10551-013-2034-2>. Acesso em: 26 fev. 2025.

1. https://www.kaggle.com/datasets/ethon0426/lending-club-20072020q1/data [↑](#footnote-ref-2)
2. https://fred.stlouisfed.org/series/EFFR [↑](#footnote-ref-3)
3. https://fred.stlouisfed.org/series/DFEDTAR [↑](#footnote-ref-4)