Product 4 - Technical document containing reviews of the first results and study with final estimates.

Indicador RAROC e Avaliação de Retorno dos Empréstimos do BNDES

Patrick Franco Alves

**Resumo**

Portanto, ambos o RAROC e o Spread estão relacionados à avaliação e gestão do risco de crédito. Utilizamos as classificações de risco de crédito obtidas com aprendizado de máquina, e em alguns pressupostos a respeito do Spread bancário das operações de crédito para calcular o indicador RAROC. A abordagem proposta permite obter o Spread das operações de financiamento do BNDES estimado por aprendizado de máquina, utilizando como insumos indicadores de condições da operação, tais como prazo, taxa de juros e valor do empréstimo, algumas as características dos bancos e características das empresas, tais como tamanho, idade da empresa e setor de atividade econômica. Uma vez estimados adequadamente Este resultado pode indicar que as decisões negociais e a política precificação adotada pelos bancos são um fator relevante na determinação do spread bancário, podendo superar até mesmo as características das empresas.

1. **Introdução**

Existe um debate em torno do spread bancário cobrado nos financiamentos do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), onde investiga-se a diferença entre a taxa de juros que o BNDES cobra dos tomadores de empréstimos e a taxa de captação de recursos pelo banco. O Spread bancário é dado pela diferença entre a taxa de juros que os bancos pagam para captar recursos e a taxa de juros que eles cobram dos tomadores de empréstimos. Esse spread é uma forma de remuneração pelos riscos, custos operacionais e lucros que os bancos incorrem ao realizar empréstimos.

No caso do BNDES, alguns trabalhos alegaram que as operações de financiamento realizadas pelo banco não seriam rentáveis o suficiente, ou seja, o Spread aplicado pelo BNDES não seria adequado para compensar adequadamente os riscos e custos operacionais envolvidos. Este Spread excessivamente baixo configura uma forma indireta de subsídio através das taxas de juros cobradas. Consequentemente, o BNDES estaria incorrendo em prejuízos e deixando de gerar lucros suficientes para cobrir seus custos operacionais.

Por outro lado, argumenta-se que a obtenção de lucro não deve ser a finalidade principal do BNDES, cujas operações devem voltar-se para os objetivos de desenvolvimento econômico e social. Por sua vez, o BNDES alega que as taxas de juros aplicadas em seus financiamentos levam em consideração prazos mais alongados, e estão condizentes com os riscos associados aos projetos de investimento e a necessidade de incentivar determinados setores e atividades estratégicas para o desenvolvimento nacional. Mesmo que o lucro não esteja entre a missão principal do BNDES, ainda é necessário assegurar Spread suficiente para cobrir minimamente os custos operacionais e riscos envolvidos, e assim garantir sua sustentabilidade financeira do Banco.

A mensuração da rentabilidade das operações do BNDES envolve considerações econômicas, políticas e regulatórias mais amplas. Qualquer as avaliações da rentabilidade das operações do BNDES envolvem diversas métricas, e estas por sua vez são obtidas através de diferentes metodologias, as quais apoiam-se sobre diferentes pressupostos. Por exemplo, algumas vezes são necessários fazer suposições a respeito de custos administrativos e operacionais, percentual de garantias oferecidas, taxas de inadimplência, entre outros. Desta forma, os debates em torno das taxas adequadas de Spread BNDES permanecem sendo objeto de investigações e debates.

Nesse sentido o presente trabalho pretende introduzir o indicador RAROC para mensurar o desempenho das operações de crédito do BNDES, debatendo cada uma das etapas necessárias para sua mensuração. Essas etapas envolvem a determinação de uma classificação de risco, determinação do spread bancário e valor em risco (VaR) das operações de financiamento do BNDES.

O RAROC (*Risk Adjusted Return on Capital*) é uma métrica utilizada por instituições financeiras para avaliação do desempenho de operações, levando em consideração o retorno de risco. Este indicador pertence ao grupo de indicadores denominado *Risk Adjusted Performance Measures* (RAPM). Uma vez que investimentos com maiores níveis de risco devem ser avaliados de forma diferenciada, o RAROC contabiliza as mudanças no perfil de um investimento, descontando os fluxos de caixa arriscados contra os fluxos de caixa menos arriscados (Enomoto, 2002). Baseado em uma lógica de risco/rentabilidade, o RAROC, procura maximizar o retorno frente a um dado nível de risco. De forma geral, o RAROC é obtido pela relação entre as receitas esperadas de uma operação e sua contribuição para o risco da instituição.

Enquanto o RAROC é comumente utilizado para avaliar a rentabilidade de uma operação de empréstimo dado um risco de inadimplência, o *Spread,* poroutro lado, se refere à diferença entre a taxa de juros cobrada pelo credor e a taxa de juros de referência, como a taxa básica de juros definida pelo Banco Central. O spread é uma forma de remuneração pelo risco assumido pelo credor ao conceder o empréstimo. Portanto, o Spread em financiamentos é um elemento fundamental na determinação do RAROC, influenciando diretamente a rentabilidade esperada da operação, considerando o risco de inadimplência associado.

Portanto, ambos o RAROC e o Spread estão relacionados à avaliação e gestão do risco de crédito. Ao calcular o RAROC de crédito, é levado em consideração o spread cobrado no financiamento, pois ele é uma das fontes de receita para compensar o risco de crédito assumido. Se o Spread cobrado for insuficiente para cobrir o risco estimado, então o RAROC será baixo, indicando uma operação pouco atrativa. Por outro lado, se o Spread cobrado for adequado, a ponto de compensar o risco de inadimplência, então o RAROC será mais alto, indicando uma operação rentável.

**1.1 Formação do resultado de um banco**

A origem dos bancos comerciais remonta os negociantes italianos medievais na idade média, de onde a palavra “banco” derivou seu nome, sendo o lugar nos os mercadores se sentavam para suas negociações (Enomoto, 2002). Na atualidade os bancos comerciais possuem como atividades funções clássicas:

**Função de Depósito:** Trata-se da captação de recursos junto à sociedade. Esta é a função bancária que é responsável pela geração de um dos principais passivos dos bancos, ou seja, a expectativa dos seus clientes de que esses depósitos estarão adequadamente disponíveis nas datas previamente acordadas e livres de quaisquer embargos e riscos não-previamente acordados.

**Função de pagamento**: Está é a materialização das ordens de pagamento propriamente dita. A função pagamento pressupõe a disponibilidade de saldo em conta do cliente ou de limites especiais para saques.

**Função de Crédito**: Trata-se da atividade de avaliação da capacidade de pagamento dos tomadores visando assegurar o retorno dos capitais emprestados. Ao conceder um empréstimo, o credor tem a expectativa de que os recursos serão devolvidos nas datas previamente acertadas. O banco não deve conceder o crédito quando houver considerável dúvida que haverá o retorno dos capitais emprestados nas datas acertadas. Desta forma, os bancos buscam a maximizar os ganhos com empréstimos e gerenciar os riscos.

**Função criadora de moeda**: Regulações e normas do Banco Central estabelecem que que nem todo recurso depositado pode ser emprestado. Dos recursos permitidos para empréstimos são concedidos vários empréstimos. Também em decorrência recursos não resgatados pelos tomadores, os bancos comerciais criam moeda sempre que transformam os depósitos em empréstimos, crédito. Assim o exercício das funções de depósito e crédito permite aos bancos a criação de moeda, por exemplo através do mecanismo multiplicador bancário.

**1.2. Classificação dos bancos comerciais:**

**Corporate Bank**: São banco comercial que fornecem serviços e produtos voltados para grandes clientes, com necessidades específicas, tais como grandes empresas, outras instituições financeiras, empresas, e até mesmo governos. Geralmente, são operações complexas e únicas, voltadas para clientes corporativos específicos, cujas características não podem ser generalizadas para os clientes em geral. Dentre os produtos oferecidos no segmento Corporate Bank, podemos citar: Assessoria para fusões e aquisições; Reestruturações financeiras, Administração de fundos, Debêntures e Ofertas públicas iniciais de ações.

**Private Bank**: Segmento bancário voltado para clientes pessoas físicas com alto poder aquisitivo e com elevado patrimônio. Entre os serviços oferecidos nesse segmento, podemos citar: Consultoria sobre investimentos, Consultoria em patrimônio e herança, Créditos para investimentos, Fundos de investimento, Operações estruturadas, Planejamento de aposentadoria e Seguro de vida.

**Varejo**: Segmento que atende ao público em geral, incluindo nesse uma infinidade de prestação de serviços que são praticadas, como por exemplo, a venda de seguros de vida, imóvel e previdenciários, o pagamento e recebimento de contas, ordens de pagamento internas e no exterior, entre outros.

Os bancos incorrem em diversas formas de risco em sua atividade. Segundo a classificação de *Saunders* (2000:99) a exposição aos riscos pode ser classificada como: Risco de Taxa de Juros, Risco de Mercado, Risco de Crédito, Risco Contábil (operações fora do balanço), Risco Tecnológico, Risco Operacional, Risco de Câmbio, Risco Soberano, Risco de Liquidez e Risco de Insolvência.

Para desempenhar suas funções os bancos cobram juros e comissões nos empréstimos, essa receita contribui para a formação do lucro da instituição. Para adequada administração e monitoração dos riscos das atividades bancárias, diversas medidas financeiras foram propostas. Estes indicadores seguem regulações e acordos, tal como a proposta no Novo Acordo de Capital da Basiléia, o qual busca uma maior especialização na alocação de capital em função dos riscos presentes nas atividades dos bancos.

Segundo Saunders (2000), os principais bancos americanos desenvolveram modelos de monitoramento e decisão apoiado no indicador RAROC. A metodologia foi desenvolvida inicialmente pelo Bankers Trust na década de 70, e posteriormente adotada por diversas outras instituições financeiras, cada uma adotando algumas alterações no modelo original. Na década de 70 Bankers Trust retirou-se do mercado de varejo para se concentrar integralmente no atacado e em trading e utilizou a abordagem RAROC também no mercado de derivativos.

A partir da avaliação do RAROC, uma operação de crédito só valeria a pena caso o indicador seja maior que o custo de oportunidade em emprgar o mesmo recurso numa operação sem risco. Assim, se o custo de oportunidade for superior ao RAROC calculado, então não compensa correr o risco da operação analisada.

Ao invés de analisar somente o fluxo de caixa advindo de um empréstimo, é possível também comparar o rendimento esperado do empréstimo com o risco incorrido, se necessário, ajustando o spread das operações de crédito, conforme as perdas que se espera incorrer.

Uma operação de crédito só deveria ser concretizada se indicador RAROC for superior ao custo de oportunidade do banco. Se esse custo de oportunidade for maior que ao RAROC calculado, então a conclusão é que não compensa correr o risco da operação dado o retorno esperado. Trata-se assim de uma metodologia para otimização da carteira de crédito da instituição.

Conforme a definição de Mósca (2011) o lucro ajustado ao risco, utilizado para calcular o RAROC também pode ser obtido através da expressão:

*Lucro Ajustado ao Risco= Spread + Taxas e Comissões - Perdas Esperadas-Custos operacionais*

onde,

**Spread (*s*)**: Diferença entre a taxa de juros do crédito a conceder e o custo da captação da instituição;

**Taxas e Comissões (*taxa*)**: Taxas e comissões especificas da operação

**Perda Esperada (*pd*)**: Perdas esperadas do negócio; e

**Custos Operacionais (*c*):** Custos do processo de análise, verificação de cadastros, monitorização e operacionalização da concessão do crédito.

A utilização do indicador RAROC para avaliar os retornos de investimentos pode ser efetuada em vários níveis, conforme o quadro abaixo:

**Quadro 1 - Níveis de aplicação de um modelo RAROC**

Para cada nível é necessária a customização dos dados que embasam os cálculos. Por exemplo, para o nível de clientes, os dados deverão referir-se exclusivamente a eles, e assim por diante.

Assim, no nível de portfólio o RAROC é utilizado para otimização da carteira global. A agregação de operações de crédito dependeria do impacto positivo no RAROC da carteira. Para sub-portfólios é a mesma análise da carteira global, com vistas também, à contribuição desta para a carteira. No nível de Unidades de Negócios, é utilizado para avaliação do desempenho dos gestores, no nível dos clientes para informações gerenciais sobre o retomo oferecido pelos clientes frente ao risco que fornecem, e no nível de operação individual é utilizado para precificação das operações. O nível de risco da operação seria um componente da taxa de juros a ser cobrada dos clientes, conforme visto no capítulo precificação, a taxa de juros seria proporcional à exposição do nível de risco, aqueles que oferecem menor risco pagam taxas menores.

O RAROC pode ser avaliado como uma medida de desempenho passado ou como um indicador para decisão de investimento.

* RAROC Retrospectivo: Medida de desempenho das operações passadas.
* RAROC Prospectivo: Ferramenta suporte à decisão de investimento.

**Quadro 2: Definições de Retorno Ajustado ao Risco**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| RAPM | | | |
| ↓ | ↓ | | ↓ |
| RARORAC:  *Risk adjusted return on risk adjused capital* | RAROC:  *Risk adjusted return on capital* | | RORAC:  *Risk adjusted return on capita* |
| ↓ | ↓ | | ↓ |
| Diferença entre o resultado líquido, a perda esperada e o custo de capital dividido pelo risco de capital. | Retrospectivo: Desempenho das operações passadas | Prospectivo: Suporte a decisões de investimento | Resultado após a perda esperada em relação ao capital de risco |

O Valor em Risco (VaR) é utilizado como medida de exposição do risco no denominador do RAROC. O Valor em Risco (VaR) estima a perda potencial máxima de um investimento de acordo com um determinado intervalo de confiança, demostrando a exposição ao risco financeiro de uma operação.

**1.3 *Value at Risk* (VaR)**

O *Value-at-Risk* (VaR) emergiu como uma ferramenta para quantificar o risco, e tornou-se predominante após a década de 1990 devido à sua relativa simplicidade. O VaR é atualmente é utilizado por instituições financeiras para mensuração de perda máximas em um portfólio, para monitoração de riscos e antecipação de mudanças inesperadas de mercado. O *VaR* proposto por Jorion (1997) é definido como a pior perda esperada em um determinado horizonte em diferentes níveis de confiança.

Segundo a definição básica, *Value at Risk* (VaR) é o potencial de perda máxima esperada de um portifólio, em dado um horizonte de tempo, intervalo de confiança e condições de normalidade de mercado (Jorion, 2001). Conforme esta definição podemos identificar três elementos necessários na construção do VaR:

1. Horizonte de tempo.

2. O valor monetário da carteira de ativos ou portifólio.

3. Normalidade de mercado representada pelo intervalo de confiança.

Valor em risco (VaR) de um ativo, está ligado a quanto se pode perder por se estar posicionado nesse ativo segundo certas condições. E que o conceito de VaR é relacionado sempre a partir do último preço a mercado ao valor que podemos perder, em um espaço de tempo pré-fixado, em relação a esse último valor considerado. Ou seja, os ganhos e perdas ocorridos antes da data do cálculo do VaR, devem ser considerados como fatos consumados e que nada pode ser feito. Por exemplo, o percentil 99% do INAD90 (indicador de inadimplência em até 60 dias) pode representar o percentual de perda inesperada, assim como o percentil 99% do índice de provisionamento, conforme o rating de risco de crédito.

Assim podemos identificar três fatores essenciais na determinação do VaR: Exposição, Sensibilidade e Volatilidade. A exposição sendo representada pela carteira ativa de crédito ou pelo ativo total do banco. Quanto maior a exposição ao fator de risco maior o risco total incorrido pelo banco. Além da exposição do ativo, também é preciso considerar a sensibilidade associada à oscilação do fator de risco, e qual impacto desta oscilação em determinado ativo financeiro da instituição. Assim a caracterização da exposição ao risco fica mais completa. A sensibilidade pode ser representada de forma simplificada pela fórmula abaixo:

A volatilidade é o último fator, e está relacionada à forma como se comportam os fatores de risco. Por exemplo, ativos não voláteis permanecerão estáveis em qualquer circunstância, e não apresentarão qualquer risco. Definidas todos estes conceitos, finalmente podemos definir mais adequadamente o VaR, conforme:

Para o VaR interessa apenas determinar a perda máxima que está sujeita a instituição financeira, desconsiderando a mensuração de ganhos. Utilizando-se a curva normal, só nos interessa um dos lados da curva.

Existem diferentes metodologias para obter o capital de risco. Uma das abordagens é utilizar o valor máximo ou o percentil 90% da variância das operações de crédito como uma *proxy.* Outra abordagem é para obter o Capital em Risco é utilizar a metodologia Value at Risk (VaR). Ou seja, mensurar o montante de capital necessário para cobrir perdas inesperadas, com um dado nível de confiança estatística (MÓSCA, 2011). Assim, podemos calcularmos o *VaR* conforme:

Assim são necessários três elementos na definição do VaR:

**Perda máxima**: Estimativa de valor monetário total da carteira que pode ser perdida;

**Período**: Intervalo de tempo a ser analisado, geralmente 1 ano.

**Nível de confiança**: Grau de certeza estatística do indicador. Para o indicador ser confiável, recomenda-se a utilização de pelo menos 95% de confiança, o que pode ser aproximado multiplicando os desvios-padrão por dois (2).

Segundo a representação da fórmula acima, temos um VaR que representa a perda inesperada segundo um nível de confiança de 99%. Esta informação é uma importante medida de exposição ao risco de uma operação, sendo utilizada no denominador do indicador RAROC.

O RAROC é obtido pela divisão do lucro presumido da operação de crédito e a quantidade de capital em risco (VaR) alocado para aquela operação.

Uma operação de crédito só valeria a pena se o RAROC desta operação for, pelo menos, maior que o custo de oportunidade em empregar o mesmo recurso numa operação sem risco (títulos do governo, por exemplo). Se o custo de oportunidade da operação for superior ao RAROC, então não compensa correr o risco da operação.

Desta forma, no lugar de analisar somente o fluxo de caixa previstos de um empréstimo, o indicador RAROC permite comparar os lucros previstos de uma operação de crédito com o nível de risco. Se necessário, é possível ajustar a taxa de juros de uma operação de crédito, conforme o risco, tornando a operação viável do ponto de vista do RAROC.

**1.4 Definição Matemática do VaR**

Dado um nível de confiança de p ∈ (0,1), no horizonte de tempo t e t+α, desejamos calcular a mudança na posição do no ativo financeiro ΔV(α) durante o período α. Seja Fα (x) a função de distribuição acumulada de ΔV(α). Uma vez que a posição financeira é ΔV(α)≤0, podemos definir o VaR de uma ativo no tempo α para um dado p como sendo:

Considerando uma ativo, em um determinado tempo α com probabilidade p uma posição ΔV(α)≤0, o VaR é então definido como sendo:

Seja o percentil de , o qual para cada nível de confiança é dado por:

Assim, o comportamento de cauda de , ou seja, os percentis, são necessários para o cálculo aproximado do VaR. Além dos 03 fatores já mencionados, podemos adicionar a necessidade de determinar a frequência empírica ou a distribuição de probabilidade acumulada. Assim temos os elementos,

1. Horizonte de tempo α.

2. Valor monetário do VaR.

3. Normalidade de mercado representada pelo intervalo de confiança.

4. Frequência dos dados.

5. Distribuição de probabilidade acumulada Fα (x) e seus quantis.

Embora conceitualmente simples, forma de estimar VaR a partir de dados reais têm tornaram-se sofisticados nos últimos anos. De forma geral, os métodos de estimação do VaR podem ser organizados em três grandes categorias (Kim e Lee, 2016): (i) Método paramétrico, (ii) Semi-paramétrico e (iii) Não-paramétrico.

O método paramétrico consiste em gerar uma série de retornos monetários, onde os erros seguem uma distribuição específica. Por exemplo, o modelo Autorregressivo Condicionalmente Heteroscedástico e Generalizado (GARCH), que usa variação da série histórica para prever a volatilidade futura sob a hipótese de heterocedasticidade condicional.

O método semi-paramétrico faz uso da regressão quantílica ou da Teoria do Valor Extremo (EVT) (Smith, 1989). O EVT permite modelar caudas extremas analisando a parte superior e quantis inferiores da distribuição correspondente, enquanto o método de regressão quantilica permite a estimação de quantis para representar perdas máximas.

Um método não-paramétrico para calcular o Valor em Risco (VaR) consiste numa simulação histórica, onde o VaR é estimado com base no histórico de retornos do ativo ou da carteira em estudo, sem fazer suposições específicas sobre a distribuição de probabilidade dos retornos. Podemos resumir os passos do cálculo do VaR por simulação histórica nos seguintes passos:

1. Obter uma série histórica de retornos do ativo ou da carteira.
2. Definir um nível de confiança desejado para o VaR, por exemplo, 95% ou 99%.
3. Com base no nível de confiança, definir um ponto de corte correspondente. Por exemplo, se o nível de confiança for 95%, o ponto de corte será o valor abaixo do qual os 5% piores retornos ocorreram.
4. Obter o VaR correspondente ao ponto de corte.

A desvantagem do método não-paramétrico é por não considerar eventos extremos que não ocorreram no período histórico analisado, ou seja, esses valores não existem na série histórica.

1. **Base de dados**

A base de dados utilizada para a análise é composta de uma concatenação entre três diferentes fontes de informações: Relação Anual de Informações Sociais (RAIS/MTE), Estatísticas Bancárias Mensais (ESTBAN/BACEN), e Spread das Operações Indiretas de Empréstimos do BNDES (SPREAD/BACEN).

* **Informações de Empresas (RAIS):** Pessoal ocupado total, Idade média, Massa salarial, Pessoal ocupado com nível superior, Taxa de rotatividade, Natureza jurídica, percentual de engenheiros e participação de mercado.
* **Informações dos Bancos (ESTBAN):** Conglomerado, Segmento (B1, B2, B3, B4, N1), Ativo total, Carteira crédito do banco, Passivo circulante, Captações de mercado, Patrimônio líquido, Lucro líquido, Número agências bancárias e Número de Postos Atendimento.

**Tabela 1: Quantidade de operações por segmento bancário das instituições financeiras.**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| TCB | Frequência | % |
| b1 | 34.647 | 58,63 |
| b2 | 22.218 | 37,60 |
| b3 | 229 | 0,39 |
| b4 | 1.447 | 2,45 |
| n1 | 556 | 0,94 |

Fonte: Elaboração dos autores a partir dos dados da ESTBAN.

* **Informações das Operações (SPREAD):** Valor da Operação de Crédito, Spread BNDES, Spread das Instituições financeiras (target), Taxa de Juros, Prazo de Amortização e Prazo de Carência.

As informações da RAIS e ESTBAN abrangem mais que 10 anos de cobertura. Entretanto o período utilizado na análise é limitado pelos dados de Spread-BNDES, cuja cobertura abrange os anos 2016 e 2017.

Os dados de Spread BNDES possuem somente as operações indiretas, as quais possuem uma instituição financeira intermediadora. Apesar dos recursos serem do BNDES, essas instituições atribuem uma avaliação de risco, assumem algum um risco de inadimplência na intermediação financeira, e cobram seu respectivo spread bancário. Por consequência os dados contêm o spread do BNDES e o spread das instituições financeiras. Os dados de spread bancário do BNDES podem ser concatenados com as informações dos bancos (ESTBAN) através do CNPJ da instituição intermediadora disponível em ambos os bancos de dados.

As variáveis explicativas (*features*) são todas as demais informações descritas em cada conjunto de dados, sendo incluído também interações entre as variáveis explicativas. Entretanto não fizemos interações entre variáveis de conjunto de dados diferentes. Isto porque nosso objetivo é verificar qual conjunto de informações (firmas, bancos, operações) mais contribui na predição do spread. Finalmente, aplicamos logaritmo natural nas variáveis quantitativas e *encoding* de frequência nas variáveis de nominais (segmento bancário, conglomerado e natureza jurídica).

1. **Modelo de Aprendizado de Máquina para Spread Bancário**

Para comparação dos algoritmos vamos utilizar as métricas de acurácia: Escore da Variância Explicada (EVS), R-Quadrado (R2), e Erro Médio Absoluto, além de reportar o tempo de estimação necessário. As métricas de acurácia são dadas pelas expressões:

A métrica MAE captura os resíduos gerados pelo modelo, enquanto o R2 representa a proporção da variância na variável *target* explicada pelo modelo. Por sua vez o escore EVS mensura a proporção da variância explicada pelo modelo. Esta é uma métrica interessante para complementar as demais métricas, pois não utiliza o valor médio do *target* ( ̅), não sendo influenciado por valores extremos.

A Tabela 3 mostra as métricas EVS, R2, MAE e o tempo de treinamento para os métodos de otimização *random* e *grid search*. Conforme esperado, os tempos de treinamento utilizando otimização exaustiva (*grid search*) é sempre maior do que quando utilizamos *random search*. Mesmo quando a métrica EVS é maior para o método de otimização *grid search*, ainda assim é possível argumentar que o ganho de precisão não recompensa o tempo de treinamento. Para o método de otimização *random Search* os algoritmos XGBoost, Lasso, Multi-Task, Bayes, Ridge e LARS apresentaram resultados bem satisfatórios. Particularmente a otimização de hiperparâmetros do algoritmo Ridge produziu as melhores métricas de precisão EVS e R2, enquanto o LARS produziu a melhor estatística MAE.

**Tabela 3: Métricas EVS, R2, MAE e tempo de treinamento**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Random Search | | | | Grid Search | | | |
| Algorithmo | EVS | R2 | MAE | Time | EVS | R2 | MAE | Time |
| XGBoost | 0.9958 | 0.9958 | 0.1197 | 1h5min5s | 0.9482 | 0.9482 | 0.0152 | 8h9min36s |
| Lasso | 0.9076 | 0.9035 | 0.0332 | 39.8s | 0.9540 | 0.9540 | 0.0915 | 25min44s |
| Multi-Task | 0.9913 | 0.9913 | 0.0868 | 1min3s | 0.9607 | 0.9606 | 0.0802 | 36min13s |
| Bayes | 0.9917 | 0.9917 | 0.0183 | 2min38s | 0.9559 | 0.9559 | 0.0847 | 4h2min4s |
| Elastic Net | 0.6567 | 0.6556 | 0.0745 | 15.3s | 0.5572 | 0.5701 | 0.0750 | 6h47min1s |
| Ridge | 0.9917 | 0.9917 | 0.2164 | 7.25s | 0.9538 | 0.9538 | 0.0192 | 1min30s |
| LARS | 0.9909 | 0.9909 | 0.2269 | 49.8s | 0.1247 | 0.1247 | 0.0262 | 2h9min2s |
| SGD | 0.3301 | 0.3301 | 0.0983 | 1min55s | 0.4832 | 0.4498 | 0.0876 | 2h4min41s |
| KNN | 0.7552 | 0.7210 | 0.0193 | 3min35s | 0.9510 | 0.9507 | 0.0951 | 22min46s |

Fonte: Elaboração dos autores

As tabelas 4, 5 e 6 apresentam as 15 principais *features importances* para os algoritmos XGBoost, Multi-Task e LARS. Nessas tabelas procuramos identificar as características que melhor explicam a predição do spread bancário das instituições financeiras. A análise procura ressaltar se as características mais importantes dizem respeito os dados da operação bancária (dados de Spread BNDES), dos bancos intermediadores (ESTBAN) ou das empresas solicitantes dos financiamentos (RAIS).

**Tabela 4: Principais *Features Importances* para *Extreme Gradient Boosting* (Xgboost)**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Fonte | Feature | Feature  Importance |
| Spread BNDES | Interação entre Spread Bndes e Juros | 0,5353 |
| Spread BNDES | Taxa de Juros | 0,3443 |
| Spread BNDES | Interação entre Valor da Operação e Juros | 0,0859 |
| Spread BNDES | Spread Bndes | 0,0019 |
| ESTBAN | Carteira Ativa de Crédito | 0,0019 |
| Spread BNDES | Interação entre Prazo de Carência e Juros | 0,0017 |
| ESTBAN | Segmento Bancário B2 | 0,0015 |
| ESTBAN | Número de Postos de Atendimento | 0,0012 |
| ESTBAN | *Encoding* do Conglomerado Banco | 0,0012 |
| ESTBAN | Iteração entre Captações de mercado e Ativo Total | 0,0010 |
| ESTBAN | Captações de mercado | 0,0009 |
| ESTBAN | Ativo Total | 0,0009 |
| ESTBAN | Iteração entre Ativo Total e Passivo | 0,0009 |
| ESTBAN | Carteira de Crédito do Banco | 0,0009 |
| RAIS | Tamanho da Firma | 0,0008 |

Fonte: Elaboração dos autores

Para o algoritmo *Extreme Gradient Boosting* (Xgboost) apenas o tamanho da firma encontra-se entre as informações mais relevantes para explicar o spread. A interação da taxa de juros e spread BNDES destaca-se como sendo a característica mais importante. Várias características da instituição intermediadora podem ser vistas entre as 15 principais *features importances*.

**Tabela 5: Principais *Features Importances* para** **Multi-task Elastic-Net (Multi-Task)**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Fonte | Feature | Feature  Importance |
| Spread BNDES | Taxa de Juros | 0,219 |
| Spread BNDES | Spread Bndes | 0,145 |
| ESTBAN | Segmento Bancário B3 | 0,129 |
| ESTBAN | Iteração entre Carteira de Crédito e Ativo Total | 0,048 |
| Spread BNDES | Prazo de Amortização | 0,045 |
| Spread BNDES | Interação entre Spread Bndes e Juros | 0,041 |
| Spread BNDES | Prazo de Carência | 0,031 |
| ESTBAN | Carteira de Crédito do Banco | 0,031 |
| ESTBAN | Interação entre Carteira de Crédito e Passivo do Banco | 0,030 |
| Spread BNDES | Interação entre Prazo de Carência e Juros | 0,029 |
| ESTBAN | Iteração entre Patrimônio de mercado e Ativo Total | 0,024 |
| ESTBAN | Segmento Bancário B2 | 0,024 |
| Spread BNDES | Interação entre Prazo de Carência e Carência | 0,022 |
| Spread BNDES | Interação entre Valor da Operação e Spread | 0,016 |
| ESTBAN | Passivo Total do Banco | 0,016 |

Fonte: Elaboração dos autores

Para o algoritmo Multi-task Elastic-Net, não encontramos nenhuma característica das empresas entre as informações mais relevantes para explicar o spread. A taxa de juros destaca-se como sendo a característica mais importante, seguida pelo Spread BNDES e o segmento bancário a qual pertence a instituição intermediadora. Várias características da instituição intermediadora podem ser vistas entre as 15 principais *features importances*. Este resultado indica que a política de precificação da instituição financeira envolvida pode ser tão relevante quando as características das firmas para determinar o spread bancário.

1. **Spread usando Carteira Ativa calculada pela Tabela PRICE**

O sistema *PRICE* é também conhecido como sistema de amortização constante. O cálculo das prestações segundo essa fórmula pressupõe que os juros aplicados mensalmente, de tal forma que o valor da prestação é constante ao longo do tempo. Para calcular a prestação *PRICE* é necessário determinar o valor do empréstimo, a taxa de juros mensal e o número de períodos de pagamento, aplicando esses valores na fórmula abaixo para obter a prestação mensal.

A prestação PRICE é dada pela expressão:

Onde:

*PRICE:* Prestação (valor a ser pago mensalmente)

V = Valor do Financiamento

*i* = Taxa de juros mensal

*n* = Prazo de amortização em meses.

1. **RAROC nas operações do BNDES**
2. **Proposta de Cálculo do RAROC utilizando Spread Estimado**

A obtenção do RAROC conforme o montante obtido pela equação PRICE contém muitas suposições indesejadas.

1. **Conclusão**

É importante que as instituições financeiras possuem uma rentabilidade compatível com a própria sustentabilidade, o que é exercido através da cobrança de spreads bancários. Entretanto recentemente têm surgido questionamentos sobre os elevados lucros alcançados pelos bancos, e quanto a cobrança de taxas de juros adequadas. Ademais, spreads bancários excessivamente elevados podem indicar um ambiente bancário regulatório inadequado. Neste contexto este trabalho utilizou aprendizado de máquina para predizer o spread bancário das instituições financeiras intermediadores dos empréstimos do BNDES.

Fizemos uso da métrica de importância das características (*features importances*) para identificar os principais fatores na predição do spread bancário das instituições financeiras.

Juntamente com as características das instituições financeiras, as condições da própria operação, tais como prazo de carência, valor do financiamento e taxa de juros, são os fatores que mais contribuem na determinação do spread bancário. Embora a taxa de juros reflita a avaliação de risco da operação, e por consequência as características de contábil das empresas, não podemos descartar que as características das instituições financeiras intermediadora são fortes preditores do spread. Isto pode indicar que as estratégias negociais, as metodologias de precificação dos bancos e outras políticas dos bancos são fatores importantes na determinação do spread bancário. A força das características das intuições na determinação do spread compete com as características das operações e podem até superar as características das empresas na predição do spread.

**Referências Bibliográficas**

Dantas, J., Alves, J., Medeiros, O., Capelletto, L. Determinantes do Spread Bancário Ex-Post no Mercado Brasileiro. Banco Central do Brasil, Texto para Discussão 242, 2011.

Dias, V. Ichikava, E. Uma análise empírica da relação entre spread e risco. Revista do BNDES, n. 36, 2011.

Enomoto, N. S. Uma Contribuição à Gestão do Risco de Crédito Baseado no Modelo RARIC – Retorno ajustado ao risco do capital. Dissertação de Mestrado. Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas, 2002.

Hawtrey, K., Liang, H. Bank interest margins in OECD countries. The North American Journal of Economics and Finance. V. 19 (3), p. 249-260, 2008.

Jorion, Philippe. Value-at-Risk: the new benchmark for controlling market risk. New York: McGraw-Hill, 1997.

Jorion, P. Value-at-Risk: The new benchmark for managing financial risk. 2 edition. Chicago: Richard Irwin. 2000.

Kim, M., Lee, S. Nonlinear expectile regression with application to Value-at-Risk and expected shortfall estimation. Computational Statistics & Data Analysis, V. 94, P. 1-19, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.csda.2015.07.011

Mósca, M. F. M. Criação de valor, gestão do risco e as medidas de performance ajustadas ao risco: aplicação do RAROC – *Risk Adjusted Return on Capital* – ao grupo crédito agrícola. Dissertação de Mestrado. IPL. Lisboa, 2011.

Pimentel, C. L. Implementação do *Risk Adjusted Return on Capital* (Raroc). Instrumento de Apoio na Gestão do Risco e Avaliação da Performance. Dissertação de Mestrado em Gestão. ISCTE, Instituto Universitário de Lisboa, Departamento de Finanças.

Saunders, Anthony. Administração de instituições financeiras. São Paulo: Atlas, 2000.

Schneider, F. F. Utilização do Modelo RAROC na Gestão do Risco de Crédito. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Administração. Curso de Especialização em Finanças - Turma 2013.

Hastie, T. Tibshirani, R. Friedman, J. The Elements of Statistical Learning. Data Mining, Inference and Prediction. Springer Series in Statistics. 2Ed., 2001.