



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO

PUC-SP

André Victor Vicentini de Oliveira

O impacto do Pix em relação a outros meios de pagamento

Mestrado Profissional em Ciências Contábeis, Controladoria e Finanças

SÃO PAULO

2025

André Victor Vicentini de Oliveira

O impacto do Pix em relação a outros meios de pagamento

Dissertação apresentada à Banca Examinadora da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, como exigência parcial para a obtenção do título de MESTRE PROFISSIONAL em Ciências Contábeis, Controladoria e Finanças, sob a orientação do Prof^a. Dra. Elizabeth Borelli.

SÃO PAULO

2025

Autorizo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta
Dissertação de Mestrado por processos de fotocopiadoras ou eletrônicos.

Assinatura: _____

Data: _____

E-mail: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Elizabeth Borelli (orientador)
Pontifícia Universidade Católica de São Paulo - PUC-SP

Prof. Dr. José Roberto Securato
Pontifícia Universidade Católica de São Paulo - PUC-SP

Prof. Dr. Cláudio José Carvajal Júnior
Faculdade de Informática e Administração Paulista - FIAP

Dedico este trabalho para os meus queridos pais, Vanda Vicentini de Oliveira (*in memoriam*) e Valdomiro Ferreira de Oliveira, pelo amor, motivação, cuidado e carinho em minha educação e à minha amada esposa Camilla Ferreira Vicentini, pelo amor, compreensão e inspiração ao longo de minha jornada pessoal, profissional e acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, pela oportunidade de me desenvolver intelectualmente com saúde e conviver com pessoas incríveis que Ele colocou em meu caminho e que me apoiam e motivam a realizar ações por um mundo melhor.

Agradeço ao apoio da minha querida família, especialmente à minha esposa Camilla Ferreira Vicentini, por todo carinho e compreensão; aos meus pais, Vanda Vicentini de Oliveira (*in memoriam*) e Valdomiro Ferreira de Oliveira, por todo o amor e incentivo; à minha madrinha Flora Ferreira de Oliveira, pela ternura e proteção e aos meus sogros, Jose Simão Ferreira e Ana Lucia de Oliveira Ferreira, por todo cuidado e apoio nas horas de dificuldade.

Agradeço a minha orientadora Profa. Dra. Elizabeth Borelli, pela sensibilidade ímpar durante meus estudos no programa, pelo apoio no desenvolvimento de minha dissertação e contribuições. Ao Prof. Dr. Fernando de Almeida Santos pela condução magnífica na coordenação do programa de Mestrado em Ciências Contábeis, Controladoria e Finanças da FEA-PUC.

Agradeço aos professores da FEA-PUC por todos os ensinamentos, Prof. Dr. José Roberto Securato, Prof. Dr. Sérgio de Iudícibus, Prof. Dr. José Carlos Marion, Prof. Dr. José Odílio dos Santos, Profa. Dra. Neusa Maria Bastos, Prof. Dr. Windsor Espenser Veiga.

Agradeço aos meus amigos que tanto me ajudaram a construir meus caminhos de estudos e crescimento pessoal, notadamente, ao Rafael Narduche de Oliveira e Thiago Adriel da Cruz Alves Santos.

RESUMO

OLIVEIRA, André Victor Vicentini de. **O impacto do Pix em relação a outros meios de pagamentos** (Mestrado em Ciências Contábeis, Controladoria e Finanças). Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2025.

Este trabalho tem como objetivo investigar a dinâmica entre o meio de pagamento instantâneo Pix e instrumentos tradicionais de pagamento eletrônico: TED, boleto e cartão de débito. A análise busca verificar se essas variáveis explicativas exercem influência estatisticamente significativa sobre a série temporal do Pix, bem como identificar possíveis evidências de efeito substituição, isto é, se o aumento do uso do Pix estaria associado à redução do uso das demais modalidades. Para isso, estima-se um modelo econométrico do tipo ARMAX (Autoregressive Moving Average with Exogenous Variables), com o propósito de avaliar sua capacidade preditiva para a série do Pix a partir das três variáveis independentes. Os resultados contribuem para a compreensão do impacto do Pix no sistema de pagamentos brasileiro, indicando a substituição de métodos tradicionais por soluções mais ágeis e digitais.

Palavras-chave: Pix; pagamento instantâneo; meios de pagamento; sistema de pagamento brasileiro.

ABSTRACT

OLIVEIRA, André Victor Vicentini de. **The impact of Pix compared to other means of payment** (Mestrado em Ciências Contábeis, Controladoria e Finanças). Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2025

This paper aims to examine the dynamics between the instant payment system Pix and traditional electronic payment instruments: TED, boleto and debit card. The study investigates whether these explanatory variables have a statistically significant influence on the Pix time series and seeks to identify potential evidence of a substitution effect, whereby increased use of Pix may lead to a decline in the use of traditional payment methods. To this end, an ARMAX (Autoregressive Moving Average with Exogenous Variables) econometric model is estimated to assess its predictive power in forecasting Pix values based on the three independent variables. The findings contribute to a better understanding of the role of Pix within Brazil's payment ecosystem, indicating the replacement of conventional transaction methods with agile and more digital alternatives.

Keywords: *Pix; instant payment; payment methods; brazilian payment system.*

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Quadro de organização do SPB (2025).....	19
------------	--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Resumo dos Modelos ARMAX para Pix.....	47
Tabela 2 -	Testes de Diagnóstico dos Modelos ARMAX.....	49
Tabela 3 -	Teste de Causalidade de Granger e Correlação de Pearson.....	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Fluxo da Liquidação de Cartões.....	28
Figura 2 -	Linha do tempo de criação do Pix.....	35
Figura 3 -	Regras de participação no Pix.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACF	Função de Autocorrelação
ADF	Dickey-Fuller Aumentado
ARMAX	Autoregressive Moving Average with Exogenous Variables
BCB	Banco Central do Brasil
BIS	Banco de Compensações Internacionais
CNPJ	Cadastro Nacional Pessoa Jurídica
CPF	Cadastro de Pessoa Física
CPMI	Comitê de Pagamentos e Infraestruturas do Mercado
DICT	Diretório de Identificadores de Contas Transacionais
DLT	Distributed Ledger Technology
GT-PI	Grupo de Trabalho de Pagamentos Instantâneos
IMF	Infraestruturas do Mercado Financeiro
LBTR	Liquidação Bruta em Tempo Real
SILOC	Sistema de Liquidação de Ordens de Crédito
SITRAF	Sistema de Transferência de Fundos
SLC	Sistema de Liquidação de Cartões
SPB	Sistema de Pagamento Brasileiro
STR	Sistema de Transferência de Reservas
TED	Transferência Eletrônica Disponível

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	Tema e Contexto da Pesquisa.....	15
1.2	Justificativa da Pesquisa.....	15
1.3	Problemática.....	16
1.4	Objetivo da Pesquisa.....	16
1.4.1	Objetivo geral.....	16
1.4.2	Objetivos específicos.....	16
1.5	Contribuição.....	16
1.6	Estrutura do Trabalho.....	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1	Meios de Pagamento.....	18
2.1.1	Sistema de Pagamentos Brasileiro (SPB)	18
2.1.2	Arranjo de Pagamento.....	19
2.2	TED.....	21
2.2.1	Sistema de Transferência de Reservas (STR)	21
2.2.2	Sistema de Transferência de Fundos (SITRAF)	22
2.2.3	TED.....	23
2.3	Boleto Bancário.....	24
2.3.1	Sistema de Liquidação de Ordens de Crédito (SILOC)	24
2.3.2	Boleto bancário.....	25
2.3.2	Tipos de boletos bancários.....	26
2.4	Cartão de débito.....	27
2.4.1	Sistema de Liquidação de Cartões (SLC)	27
2.4.2	Cartão de débito.....	29
2.5	Pix.....	29
2.5.1	Início do Pix.....	30
2.5.2	Sistema de Pagamentos Instantâneos (SPI)	35
2.5.3	Diretório de Identificadores de Contas Transacionais (DICT)	36
2.5.4	Participantes do Pix.....	37
2.5	Inovações no ambiente financeiro.....	39
2.5.1	Drex.....	39
2.5.2	Open Finance.....	40

3	MÉTODOS E TÉCNICAS.....	42
3.1	Autoregressive Moving Average with Exogenous Variables (ARMAX).....	42
3.2	Critério de Informação Akaike.....	43
3.3	Causalidade de Granger.....	44
3.4	Correlação de Pearson.....	45
3.5	Processo de coleta de dados.....	46
4	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	47
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51
	REFERÊNCIAS.....	53
	APÊNDICE A.....	56
	APÊNDICE B	61
	APÊNDICE C	65

1 INTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia e a digitalização dos serviços financeiros têm provocado transformações significativas no Sistema de Pagamentos Brasileiro (SPB). Dentre essas inovações, destaca-se o Pix, um meio de pagamento instantâneo lançado pelo Banco Central do Brasil em 2020, que rapidamente se consolidou como uma das principais formas de transferência de valores no país. A adoção do Pix transformou a forma como os consumidores e empresas realizam transações financeiras.

Este trabalho busca investigar a relação entre o Pix e outros meios de pagamento tradicionais – TED, boleto e cartão de débito – por meio do modelo ARMAX (Hamilton, 2020), testes de causalidade de Granger (1969) e análise de correlação. O objetivo é avaliar o impacto do Pix no sistema de pagamentos brasileiro, indicando se há migração de transações de outros meios para o Pix ou se seu crescimento ocorre de forma independente, além de verificar a robustez estatística dessas relações. Para isso, serão estimados modelos econométricos que consideram a dinâmica temporal das séries, seguidos de testes de diagnóstico - Ljung e Box (1978), Durbin e Watson (1971) e Breusch e Pagan (1979) -, para validar os pressupostos dos modelos. Adicionalmente, a análise de causalidade e correlação permitirá identificar padrões de dependência e associação linear entre as variáveis.

1.1 Tema e Contexto da Pesquisa

Com sua gratuidade para pessoas físicas, disponibilidade 24 horas por dia e rapidez na compensação, o Pix passou a complementar ou substituir métodos tradicionais como TED, boleto e cartão de débito. Esse fenômeno traz questionamentos sobre o futuro dos meios de pagamento tradicionais e mostra os desafios enfrentados pelas instituições financeiras para se adaptarem a essa nova realidade. Além da concorrência direta com outros meios de pagamento, o Pix também aumenta a inclusão financeira da população. Pequenos comerciantes e prestadores de serviço passaram a utilizar o Pix como alternativa ao pagamento em dinheiro, reduzindo custos operacionais e proporcionando maior segurança nas transações.

1.2 Justificativa da pesquisa

A justificativa desta pesquisa reside na necessidade de compreender as transformações no comportamento dos usuários e na estrutura do sistema financeiro nacional, diante da crescente digitalização das transações monetárias. A análise desses impactos permitirá avaliar

as tendências futuras do mercado de pagamentos e possíveis ajustes regulatórios para garantir a eficiência e a segurança das operações financeiras.

1.3 Problemática

O impacto do Pix no mercado financeiro não se restringe apenas à complementariedade e substituição de outros instrumentos de pagamento. Ele também lança bases para novas oportunidades e desafios regulatórios, uma vez que o Banco Central do Brasil (BCB) continua a aprimorar o sistema, ao incorporar funcionalidades como o Pix Cobrança e o Pix Garantido, que ampliam ainda mais seu escopo de utilização.

1.4 Objetivo da Pesquisa

1.4.1 Objetivo geral

Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo analisar o impacto do Pix sobre outros meios de pagamento no contexto do Sistema de Pagamento Brasileiro (SPB), investigar as mudanças na utilização de instrumentos tradicionais e suas consequências para o sistema financeiro. Além disso, busca-se compreender as vantagens e desafios decorrentes da ampla adoção do Pix, bem como suas implicações para instituições financeiras e consumidores.

1.4.2 Objetivos específicos

O presente estudo traz como objetivo específico:

- Avaliar a relação preditiva entre a variável independente Pix e as variáveis explicativas TED, boleto e cartão de débito.
- Analisar se cada uma das covariáveis possui poder preditivo sobre o Pix.
- Observar se existem sinais de substituição e/ou complementariedade entre Pix as variáveis explicativas, TED, boleto e cartão de débito.

1.5 Contribuição

Este estudo contribui para elucidar as relações entre o Pix e outros meios de pagamento (TED, boleto e cartão de débito) ao aplicar o modelo ARMAX. Os resultados indicam que o TED é a variável com maior poder explicativo sobre o comportamento do Pix, apresentando o maior coeficiente de correlação (R^2) ajustado e menor erro padrão. Além disso, o modelo com

TED não apresenta problemas de heterocedasticidade, ao contrário dos modelos com boleto e cartão de débito, que mostraram variância não constante nos resíduos.

Os testes de diagnóstico confirmam a adequação estatística dos modelos, indicando ausência de autocorrelação serial significativa para todas as variáveis analisadas. No entanto, a presença de heterocedasticidade para boleto e cartão de débito exige cautela na interpretação de seus modelos. Esses resultados reforçam a robustez do modelo com TED e a necessidade de ajustes para os demais, caso se deseje maior confiabilidade nas estimativas no intuito de fazer análise preditiva.

Por fim, os testes de causalidade de Granger (1969) e a correlação de Pearson (Bussab, 2010) revelam que apenas o cartão de débito apresenta relação estatisticamente significativa com o Pix, sugerindo possível substituição entre os dois meios de pagamento. Enquanto, o boleto exibe uma correlação negativa moderada com o Pix, a TED não mostra relação significativa. Esses achados contribuem para a compreensão das mudanças nos hábitos de pagamento no Brasil e dos efeitos do avanço do Pix sobre outras modalidades.

1.6 Estrutura do trabalho

Após a presente introdução, é apresentado o Referencial Teórico, que aborda os conceitos pertinentes ao sistema de pagamento no Brasil e os meios de pagamento como Pix, TED, boleto e cartão de débito.

Na sequência, definiu-se a metodologia utilizada. O desenvolvimento iniciou-se com a formalização do modelo Autoregressive Moving Average with Exogenous Variables (ARMAX) para estimar coeficientes da regressão linear utilizando-se como variável dependente o Pix e variáveis independentes TED, boleto e cartão de débito.

A seguir, disponibilizou-se os dados coletados de volumetria do Pix, TED, boleto e cartão de débito, provenientes do sítio eletrônico do Banco Central do Brasil. Como forma de tratamento destes dados, utilizou-se o teste Dickey-Fuller Aumentado (ADF) para verificação de raiz unitária. Caso seja detectada a presença de raiz unitária, calcula-se a primeira diferença a fim de tornar a série de tempo estacionária. Em complemento, analisou-se os resíduos da regressão, a partir do teste Durbin e Watson (1971), Ljung e Box (1978) e Breusch e Pagan (1979), causalidade de Granger (1969) e Correlação de Pearson (Bussab, 2010) entre as variáveis PIX, TED, boleto e cartão de débito.

A análise dos resultados apresentou as estatísticas de teste do Pix, considerando as variáveis: TED, Boleto e cartão de débito. Os resultados indicam que o Pix pode estar ocupando

espaço antes dominado por transações com cartão de débito e, em menor medida, por boleto, o que sugere que o Pix está mudando os padrões de pagamento no Brasil.

Por fim, a estrutura do trabalho compreende uma seção objetiva sobre as Considerações Finais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Meios de Pagamentos

Um pagamento consiste na transferência de valores entre um pagador e um beneficiário. Essa transação pode ser feita por meio de diversos instrumentos de pagamento, seja com dinheiro físico (cédulas e moedas) ou por meios eletrônicos, como boleto, cartão de crédito, cartão de débito, TED ou Pix (Figueiredo, 2006).

Para realizar transações com dinheiro eletrônico, é preciso contar com uma intermediação que assegure a finalização da operação. Essa intermediação envolve um conjunto de processos, normas e sistemas operacionais conectados, conhecido como Sistema de Pagamentos (Figueiredo, 2006).

O Brasil possui um Sistema de Pagamentos próprio, conhecido como Sistema de Pagamentos Brasileiro (SPB), composto por dois segmentos: Infraestruturas do Mercado Financeiro (IMF) e Arranjos de Pagamento (BCB, 2023).

2.1.1 Sistema de Pagamentos Brasileiro (SPB)

Fortuna (2017) comenta que o SPB foi instituído pelo Banco Central do Brasil e teve sua estrutura reformulada em 2002. Desde então, o Brasil passou a ser reconhecido por ter um robusto e eficiente sistema de pagamento, destacando o papel do Banco Central do Brasil como relevante neste processo evolutivo.

A atuação do Banco Central na regulamentação, vigilância e supervisão das instituições e arranjos de pagamento integrantes do Sistema de Pagamentos Brasileiro é pautada por diretrizes específicas. Essas diretrizes foram estabelecidas pela Resolução CMN n.º 4.282, de 4 de novembro de 2013, e devem ser seguidas pelas entidades envolvidas no setor (BCB, 2022).

Dentre os principais objetivos delineados pela norma, destacam-se a promoção da inovação nos arranjos de pagamento, a ampliação da diversidade de modelos de negócios, a garantia de acesso equitativo e não discriminatório aos serviços e infraestruturas, bem como o atendimento adequado às demandas dos usuários finais. Dessa forma, busca-se um ambiente financeiro mais

dinâmico, competitivo e acessível, beneficiando tanto as instituições participantes quanto os consumidores que utilizam esses serviços (BCB, 2022).

De acordo com as diretrizes do Banco Central do Brasil (2025h), o SPB é composto por dois segmentos: Infraestruturas do Mercado Financeiro (IMF) e Arranjos de Pagamento. Esses dois segmentos possuem suas definições para Entidades Normativas, Entidades Supervisoras, Operadores ou Instituidores e Sistemas ou participantes, conforme demonstrado no Quadro 1.

Quadro 1 – Quadro de organização do SPB (2025)

Sistema de Pagamentos Brasileiro (SPB)			
Segmentos	Infraestruturas do Mercado Financeiro (IMF)		Arranjos de Pagamento integrantes do SPB (AP)
Entidades Normativas	CMN (Regras gerais) BC e CVM (nas suas respectivas competências)		CMN (Regras gerais) e BC
Entidades Supervisoras	BC (Ativos Financeiros e Liquidação)	CVM (Valores Mobiliários)	BC
Operadores ou Instituidores	IOSMF e BC	IOSMF	Instituidores de Arranjos de Pagamento (IAP)
Sistemas ou Participantes	SMF	SMF	Instituições Financeiras (IF) e Instituições de Pagamento (IP)

Fonte: Adaptado de BCB (2025).

2.1.2 Arranjo de Pagamento

De acordo com o Banco Central do Brasil (2023), um arranjo de pagamento pode ser definido como o conjunto estruturado de regras, procedimentos e instrumentos operacionais que disciplinam a prestação de um serviço de pagamento ao público. Trata-se de um arcabouço normativo e técnico que possibilita a realização de transações financeiras por meio de instrumentos eletrônicos, conferindo previsibilidade, segurança e interoperabilidade às operações entre os diferentes participantes do sistema.

A atuação dos arranjos de pagamento torna-se particularmente relevante em contextos em que o pagamento ocorre entre partes que não possuem vínculo direto ou prévio o que difere de uma transação em espécie entre indivíduos que se conhecem. O arranjo funciona, assim, como uma rede de confiança que interliga os diversos agentes que a ele aderem, viabilizando operações como, por exemplo, o uso de um cartão de crédito de determinada bandeira em um estabelecimento comercial que aceita aquela bandeira como forma de pagamento. Essa aceitação é possível porque ambos cliente e comerciante estão integrados ao mesmo arranjo e seguem as mesmas regras operacionais (BCB, 2023).

Os arranjos de pagamento podem abranger diferentes modalidades de serviços, incluindo compras realizadas com cartões de crédito, débito e pré-pago, tanto em moeda nacional quanto estrangeira. Adicionalmente, serviços de transferência de recursos entre contas, bem como remessas nacionais e internacionais, também podem ser organizados sob a forma de arranjos de pagamento, sujeitos a regulamentação específica (BCB, 2023).

Outro exemplo relevante é o serviço de Transferência Eletrônica Disponível (TED), que permite o envio de recursos entre contas mantidas em diferentes instituições financeiras, dentro do mesmo dia. A introdução dos pagamentos instantâneos, viabilizados pelo sistema Pix, representa também uma forma inovadora de arranjo de pagamento, caracterizada pela liquidação em tempo real e pela disponibilidade contínua do serviço (BCB, 2023).

Adicionalmente, os boletos bancários, amplamente utilizados no Brasil para pagamentos de produtos, serviços e obrigações diversas, configuram outro exemplo de arranjo estruturado, especificamente no comércio eletrônico e nas relações entre empresas e consumidores (BCB, 2025).

No âmbito da execução desses serviços, destacam-se as instituições de pagamento pessoas jurídicas não financeiras que atuam dentro dos arranjos e que mantêm o relacionamento direto com os usuários finais. Essas instituições são responsáveis por operacionalizar as transações, fornecendo infraestrutura tecnológica e serviços de atendimento. Importa salientar que, embora as instituições financeiras também possam operar arranjos de pagamento, sua atuação é regida por um conjunto distinto de normas e prerrogativas (BCB, 2023).

Há, contudo, determinados arranjos de pagamento que não estão sujeitos à regulação ou à supervisão do Banco Central do Brasil. É o caso dos cartões *private label*, emitidos por grandes redes varejistas e que só podem ser utilizados nos estabelecimentos emissores ou em redes conveniadas. Da mesma forma, não se encontram sob supervisão do BCB os arranjos destinados ao pagamento de serviços públicos essenciais como água, energia elétrica e gás ou os utilizados para o carregamento de cartões pré-pagos de transporte público. Também se enquadram nessa categoria os cartões de benefícios, como os de vale-refeição e vale-alimentação (BCB, 2023).

Esses diferentes arranjos evidenciam a diversidade de mecanismos disponíveis no mercado para a realização de pagamentos e transferências, refletindo a evolução tecnológica e regulatória do sistema financeiro nacional.

De maneira geral, é importante destacar que, nos termos da legislação vigente, as instituições de pagamento estão legalmente proibidas de exercer atividades privativas das instituições financeiras, como a concessão de crédito, financiamentos ou a oferta de contas

bancárias e contas de poupança. Essa limitação normativa tem por objetivo manter a separação funcional entre os diferentes agentes do sistema financeiro nacional, resguardando a estabilidade e a segurança das operações (BCB, 2023).

2.2 TED

2.2.1 Sistema de Transferência de Reservas (STR)

Conforme Fortuna (2017), o Sistema de Transferência de Reservas (STR) pode ser compreendido como a base que fundamenta o SPB, visto que é o sistema responsável pelos movimentos das reservas bancárias que as instituições financeiras e de pagamento mantêm junto ao Banco Central.

De acordo com o Banco Central do Brasil (2025i) o STR configura-se como a principal infraestrutura do Sistema de Pagamentos Brasileiro, desempenhando um papel central na liquidação definitiva das obrigações financeiras realizadas no país. Trata-se do sistema responsável por assegurar que as transferências de recursos entre instituições financeiras e demais participantes ocorram de forma segura, eficiente e final.

As operações realizadas no âmbito do STR possuem caráter irrevogável e irretratável. Isso significa que, uma vez efetuada a transferência de recursos, não é possível revertê-la diretamente no sistema. Qualquer eventual correção deve ser realizada mediante uma nova transação de valor equivalente, operando no sentido inverso à operação anterior. Ademais, como mecanismo de preservação da solidez e da estabilidade do sistema financeiro, o STR não permite a realização de operações que resultem em saldo negativo para seus participantes, vedando, desse modo, qualquer tipo de lançamento a descoberto (BCB, 2025i).

O funcionamento do STR está regulamentado pela Resolução BCB n.º 105, de 2021, e se caracteriza por operar sob o modelo de liquidação bruta em tempo real (LBTR). Nesse formato, as transferências de fundos são processadas e liquidadas individualmente, uma a uma, no exato momento em que são realizadas, sem qualquer tipo de compensação ou agrupamento prévio. Esse modelo garante maior segurança e mitigação de riscos sistêmicos, uma vez que as liquidações ocorrem de forma imediata e definitiva, utilizando os recursos disponíveis nas contas de reservas mantidas no Banco Central (BCB, 2025i).

2.2.2 Sistema de Transferência de Fundos (SITRAF)

Conforme exposto pela Núclea (2025), o Sistema de Transferência de Fundos (SITRAF) é uma solução concebida para viabilizar a compensação e a liquidação financeira das TEDs de valores inferiores a um milhão de reais. Trata-se de um sistema que combina eficiência operacional com elevados padrões de segurança, utilizando uma arquitetura baseada em liquidação bruta em tempo real (LBTR), associada a um mecanismo otimizador multilateral que potencializa a alocação dos recursos financeiros entre as instituições participantes.

O SITRAF é uma infraestrutura crítica no ecossistema de pagamentos brasileiro, sendo operacionalizado pela empresa Núclea desde o ano de 2002 e submetido a autorregulação pelo BCB. Sua importância decorre da capacidade de processar um grande volume de transações de forma eficiente, assegurando a liquidez e a previsibilidade das operações de transferência de recursos no atacado, com foco prioritariamente em transações de menor valor (Núclea, 2025).

No que se refere ao fluxo operacional, o sistema permite que as instituições participantes iniciem o envio das ordens de transferência a partir das 4h da manhã. Essas ordens são submetidas a validações técnicas pelo SITRAF e, caso estejam em conformidade com os parâmetros definidos, são organizadas em fila para início do processo de compensação financeira às 6h35min. Esse enfileiramento estruturado contribui para a ordenação eficiente das transferências e para o balanceamento dos fluxos financeiros entre os agentes do sistema (Núclea, 2025c).

Uma das principais inovações do SITRAF é a adoção de um otimizador multilateral, que permite compensar as ordens de pagamento de forma coordenada. Por meio desse mecanismo, as transferências enviadas por uma determinada instituição, podem ser liquidadas com os recursos oriundos das transferências recebidas por ela, gerando ganhos de eficiência, ao reduzir a necessidade de liquidez bruta no sistema. Esse modelo se contrapõe à liquidação bilateral direta, tradicionalmente mais custosa do ponto de vista da gestão de caixa das instituições (Núclea, 2025c).

Durante todo o ciclo operacional, o SITRAF possibilita que as instituições participantes acessem os recursos disponíveis em suas contas, inclusive realizando saques parciais ou integrais desses valores conforme sua estratégia de liquidez. Ao final do período de processamento, o sistema efetua a transferência automática dos recursos excedentes para as respectivas contas das instituições, encerrando o ciclo de liquidação com transparência e exatidão (Núclea, 2025c).

Consequentemente, o SITRAF se consolida como uma ferramenta estratégica para o funcionamento do Sistema Financeiro Nacional, promovendo a liquidação eficiente de TEDs de pequeno e médio porte, dentro de um ambiente seguro, regulado e tecnologicamente avançado (Núcleo, 2025c).

2.2.3 TED

Segundo o Banco Central do Brasil (2019) a Transferência Eletrônica Disponível (TED) constitui-se como um instrumento de movimentação de recursos no âmbito do Sistema Financeiro Nacional, sendo utilizada para a transferência de valores entre contas mantidas em instituições distintas, sejam elas instituições financeiras tradicionais ou instituições de pagamento. Tal operação pode ser realizada tanto por pessoas físicas quanto por pessoas jurídicas, além de ser empregada nas transferências interinstitucionais, com ou sem finalidade específica de liquidação de obrigações.

A TED se dá entre instituições que possuem conta de liquidação junto ao BCB, sendo operacionalizada por meio dos sistemas autorizados de transferência de fundos notadamente o STR ou o SITRAF, operado pela Núcleo. A escolha entre esses sistemas é de responsabilidade da instituição emissora, e o processamento técnico nesses ambientes não integra os limites de tempo regulatórios para conclusão da operação junto ao cliente (BCB, 2025f).

Dentre as características operacionais da TED, destaca-se a inexistência de limite máximo de valor para sua realização, o que a torna especialmente adequada para transferências de montantes elevados. Quanto à temporalidade, o horário de envio é determinado por cada instituição participante, sendo comumente estabelecido até às 17h dos dias úteis. Após esse limite, as operações podem ser agendadas para execução no próximo dia útil ou em data posterior, conforme conveniência do cliente (BCB, 2019).

O processo de liquidação de uma TED, que compreende desde a emissão da ordem de transferência pelo cliente até o crédito dos valores na conta do beneficiário, é regido por normas específicas estabelecidas pelo BCB. Conforme regulamentação vigente, a instituição emissora deve submeter a TED ao sistema de liquidação escolhido em até 30 minutos após o débito efetivado na conta do remetente. Uma vez liquidada, o valor correspondente deverá ser creditado na conta do destinatário no prazo máximo de 60 minutos (BCB, 2019).

Contudo, há exceções operacionais. O prazo para crédito poderá ser superior a uma hora nos casos em que, segundo os critérios de segurança da instituição recebedora ou da emissora, se identifique a necessidade de análises adicionais, tais como verificação de possíveis

irregularidades, bloqueios judiciais ou cumprimento de procedimentos de prevenção à lavagem de dinheiro e ao financiamento do terrorismo (BCB, 2019).

Embora a TED represente um mecanismo ágil e seguro para a transferência de recursos entre instituições distintas, sua efetiva conclusão depende do cumprimento das normas operacionais estabelecidas, bem como da observância de fatores externos, como feriados regionais e medidas de *compliance* adotadas pelas instituições participantes (BCB, 2019).

2.3 Boleto Bancário

2.3.1 Sistema de Liquidação de Ordens de Crédito (SILOC)

O Sistema de Liquidação de Ordens de Crédito (SILOC) constitui uma infraestrutura essencial para o processamento de transações interbancárias no Sistema Financeiro Nacional. Operado pela empresa Núcleo, o SILOC é responsável pela compensação e liquidação de operações envolvendo boletos de pagamento e terminais de autoatendimento, como caixas eletrônicos, assegurando a integridade, a rastreabilidade e a eficiência dessas transações (Núcleo, 2025b).

Trata-se de uma solução tecnológica que processa, de forma digital e segura, os arquivos com as informações relativas às ordens de crédito provenientes de diferentes instituições financeiras. Ao receber esses arquivos, o SILOC executa as etapas de compensação - que envolvem a verificação e o balanço entre créditos e débitos - e de liquidação financeira, com a consequente transferência efetiva dos valores entre os participantes (Núcleo, 2025b).

A atuação do SILOC é estruturada de maneira contingenciada, ou seja, preparada para lidar com eventuais falhas ou interrupções, o que garante a continuidade e a confiabilidade do fluxo financeiro. A rastreabilidade das operações, proporcionada pela arquitetura do sistema, permite o monitoramento e a auditoria das transações, contribuindo para a transparência e a segurança do ambiente de pagamentos (Núcleo, 2025b).

A gestão e operação do SILOC são de responsabilidade da Núcleo, uma empresa privada que desempenha um papel estratégico no suporte à infraestrutura do mercado financeiro nacional. Além do SILOC, a Núcleo é também responsável pela operação de outras soluções relevantes, como o Sistema de Liquidação de Cartões (SLC), reforçando seu posicionamento como agente de suporte à modernização e à integração das plataformas de pagamento no país (Núcleo, 2025b).

2.3.2 Boleto bancário

O boleto bancário configura-se como um instrumento de pagamento padronizado, amplamente utilizado no Brasil e integra um arranjo de pagamento sob supervisão do BCB. Sua estrutura normativa e operacional visa assegurar a uniformidade do processo de cobrança e a interoperabilidade entre diferentes instituições financeiras e de pagamento (BCB, 2025a).

Para que um boleto seja validamente aceito e processado por qualquer instituição integrante do Sistema Financeiro Nacional, é necessário que atenda a requisitos específicos previamente definidos pelas autoridades reguladoras. Primeiramente, a emissão do boleto deve obedecer a um modelo padronizado, que contempla campos e formatações obrigatórias, com o objetivo de garantir clareza, legibilidade e segurança na interpretação das informações (BCB, 2025a).

Além disso, é indispensável que o título seja devidamente registrado na Base Centralizada de Cobrança, plataforma administrada pela Núcleo (antiga CIP – Câmara Interbancária de Pagamentos), responsável por consolidar e disponibilizar os dados de cobrança de forma centralizada, segura e rastreável. Esse registro tem como finalidade assegurar a autenticidade do boleto, mitigar riscos de fraudes, permitir a identificação do emissor e do pagador, e facilitar a liquidação da cobrança (BCB, 2025a).

Historicamente, o boleto foi instituído no início da década de 1990 como uma resposta à crescente demanda por meios de pagamento padronizados, seguros e compatíveis com o ambiente bancário nacional. Seu uso expandiu-se de forma acelerada, sendo amplamente adotado por empresas, instituições públicas e cidadãos para a cobrança de bens, serviços e obrigações financeiras diversas. No auge de sua utilização, o boleto tornou-se um dos principais instrumentos de pagamento de varejo do país, notadamente em setores como comércio eletrônico, educação, serviços públicos e associações de classe (BCB, 2025a).

Em termos operacionais, o boleto está integrado ao SILOC operado pela Núcleo. Esse sistema é responsável pela compensação e liquidação interbancária dos boletos, assegurando que as ordens de crédito sejam processadas de forma digital, segura e contingenciada. O SILOC recebe os arquivos com as informações das transações, realiza a compensação (verificação de créditos e débitos) e a liquidação (transferência efetiva dos valores), garantindo a rastreabilidade e a integridade do processo (BCB, 2025a).

Com a modernização do sistema, principalmente após a introdução do boleto registrado a partir de 2018, foram implementadas melhorias significativas no controle de fraudes, na reconciliação de pagamentos e na transparência para emissores e pagadores. Essa evolução

consolidou o boleto como um componente estruturante da arquitetura de pagamentos brasileira, adaptado às exigências de segurança, eficiência e interoperabilidade do sistema financeiro contemporâneo (BCB, 2025a).

2.3.2 Tipos de boletos bancários

Os boletos bancários, como instrumentos de pagamento amplamente utilizados no Brasil, podem ser classificados em diferentes tipos, de acordo com a finalidade a que se destinam e as características específicas de sua emissão e liquidação. Essa categorização permite maior clareza na utilização do instrumento, atendendo às necessidades de cobrança, captação de recursos ou apresentação de propostas comerciais (BCB, 2025a).

O primeiro tipo é o boleto de cobrança, que se destina à exigência e quitação de obrigações pecuniárias de qualquer natureza, como contraprestações por bens, serviços ou compromissos contratuais diversos. Esse boleto pode ser emitido em duas modalidades distintas.

O boleto de cobrança comum corresponde à forma tradicional do instrumento. Nessa modalidade, o beneficiário da cobrança é invariavelmente o credor original da obrigação, e a instituição destinatária do pagamento permanece fixa, não podendo ser modificada ao longo do processo de liquidação. Essa rigidez assegura a simplicidade e a segurança da transação, sendo amplamente utilizada em cobranças diretas entre empresas e consumidores (BCB, 2025a).

Boleto de cobrança dinâmico, uma inovação recente no mercado brasileiro, caracteriza-se pela possibilidade de alteração do beneficiário e da instituição destinatária, desde que vinculada a um ativo financeiro registrado ou depositado em sistemas autorizados pelo Banco Central do Brasil (BCB). Tal flexibilidade confere ao instrumento maior dinamismo, especialmente em contextos que envolvem cessão de direitos creditórios ou operações estruturadas. A conversão de um boleto comum em dinâmico pode ocorrer de forma automática, sem necessidade de substituição física do documento ou modificação do seu código identificador, desde que a instituição emissora valide a existência e regularidade do ativo financeiro subjacente (BCB, 2025a).

O segundo tipo é o boleto de proposta, utilizado em contextos nos quais o emissor deseja apresentar ao pagador uma oferta de produto ou serviço, uma proposta contratual ou um convite à adesão a determinada associação ou iniciativa. Nesse caso, o boleto deve conter, de forma clara e inequívoca, a indicação de que seu pagamento é facultativo, não acarretando quaisquer obrigações legais para o pagador em caso de inadimplemento. O objetivo central é assegurar que o destinatário do boleto possa analisar a oferta com liberdade e dispor de informações

suficientes antes de formalizar qualquer compromisso. O eventual pagamento do boleto de proposta implica, por sua vez, a aceitação dos termos da obrigação apresentada (BCB, 2025a).

O terceiro tipo é o boleto de depósito ou aporte, cujo propósito é viabilizar o envio de recursos para uma conta de depósito ou conta de pagamento pré-paga, geralmente vinculada a poupança, investimento ou preparação para pagamentos futuros. Trata-se de um instrumento amplamente utilizado por usuários que desejam transferir valores para suas próprias contas ou para terceiros, em contextos que não envolvem cobrança de dívida, mas sim movimentações voluntárias de recursos (BCB, 2025a).

Nos três tipos de boletos mencionados - cobrança comum, proposta e depósito/aporte -, a instituição destinatária dos recursos coincide com a instituição emissora, o que confere coesão ao processo de compensação e liquidação da ordem de pagamento. Essa estrutura contribui para a segurança das transações e para a rastreabilidade das operações dentro dos parâmetros definidos pelo arranjo de pagamento correspondente (BCB, 2025a).

2.4 Cartão de débito

2.4.1 Sistema de Liquidação de Cartões (SLC)

O Sistema de Liquidação de Cartões (SLC) consiste em uma infraestrutura de compensação e liquidação, operada pela Núcleo, voltada especificamente para as transações realizadas por meio de cartões de crédito, débito, pré-pagos, bem como para operações de antecipação de recebíveis associadas a esses instrumentos. Essa solução representa um componente relevante no ecossistema de pagamentos eletrônicos, promovendo maior integração, eficiência e rastreabilidade no fluxo financeiro entre os diversos agentes envolvidos (Núcleo, 2025a).

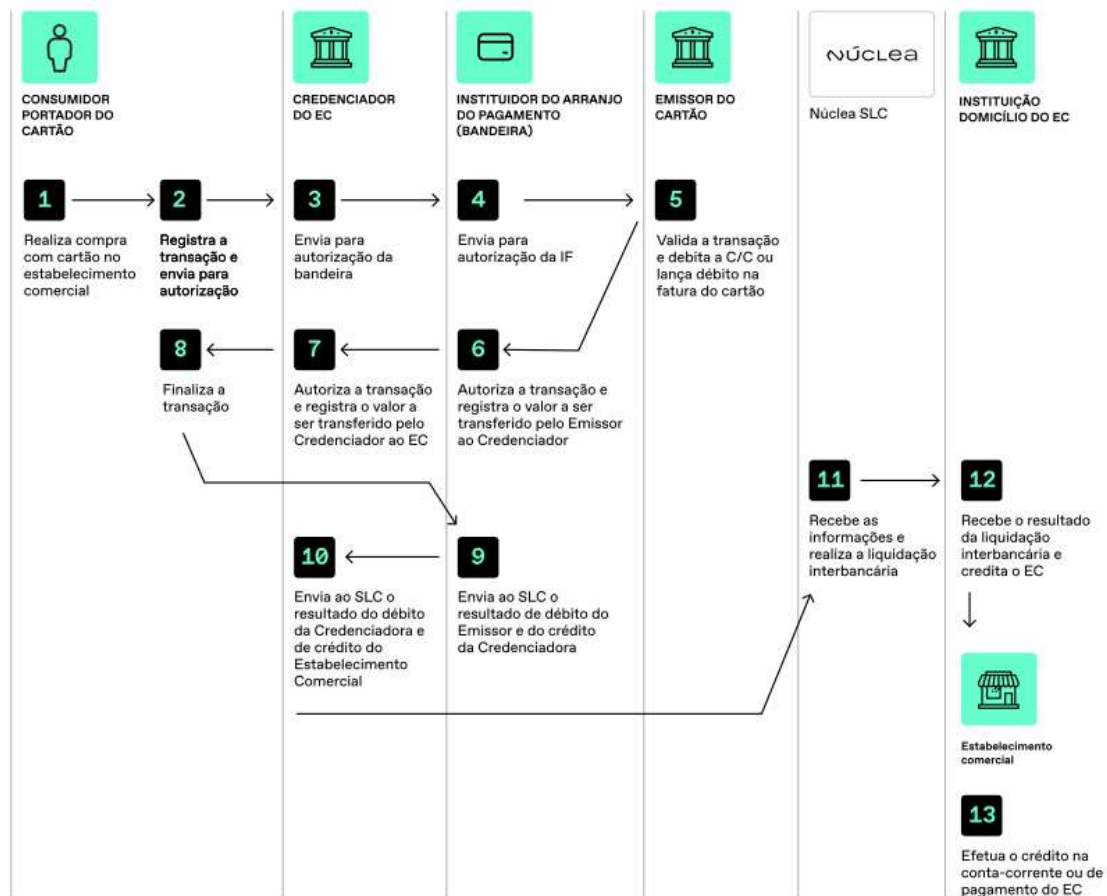
A SLC tem por finalidade processar de forma centralizada e segura as operações realizadas por consumidores junto aos estabelecimentos comerciais, a partir da utilização de cartões emitidos por diferentes instituições. O sistema permite que credenciadoras e subcredenciadoras responsáveis pela captura e intermediação das transações se conectem de maneira simplificada às instituições financeiras ou de pagamento indicadas pelos recebedores (comerciantes ou prestadores de serviço), viabilizando a liquidação dos valores decorrentes das vendas realizadas com cartões (Núcleo, 2025a).

Por meio dessa estrutura, os dados das transações são encaminhados para as instituições de destino previamente indicadas pelos estabelecimentos comerciais que, por sua vez, recebem os créditos correspondentes aos valores transacionados. A solução ainda provê às

credenciadoras e subcredenciadoras informações detalhadas sobre os resultados das liquidações efetuadas, garantindo maior transparência e previsibilidade no recebimento dos recursos (Núcleo, 2025a).

A centralização promovida pela SLC contribui significativamente para a mitigação de riscos operacionais e financeiros, ao mesmo tempo em que simplifica o processo de reconciliação e reduz a complexidade das relações entre os múltiplos agentes do mercado. Nesse sentido, a solução fortalece a infraestrutura do Sistema de Pagamentos Brasileiro (SPB) ao oferecer um modelo padronizado e interoperável para a liquidação de operações com cartões (Núcleo, 2025a).

Figura 1 - Fluxo da Liquidação de Cartões



Fonte: Núcleo (2025a).

2.4.2 Cartão de débito

O cartão de débito é um instrumento de pagamento eletrônico vinculado diretamente a uma conta de depósito ou conta de pagamento, por meio do qual os valores das transações realizadas pelo titular são automaticamente debitados do saldo disponível em sua conta. Essa modalidade de pagamento permite a liquidação imediata da operação, conferindo agilidade, controle financeiro e segurança ao usuário (BCB, 2025b).

Dada sua natureza e ampla utilização, sobretudo por pessoas físicas no cotidiano de suas transações financeiras, o cartão de débito é classificado como um serviço essencial. Nesse contexto, as instituições financeiras e de pagamento que disponibilizam esse tipo de serviço estão obrigadas a oferecê-lo a todos os seus clientes, sem distinção, assegurando o acesso equitativo aos meios eletrônicos de pagamento (BCB, 2025b).

Adicionalmente, é requisito legal que o contrato firmado entre a instituição e o cliente contenha, de forma clara e objetiva, as condições para utilização do cartão de débito, incluindo as regras relativas ao seu funcionamento, limites operacionais, tarifas eventualmente aplicáveis e formas de movimentação da conta. Tal exigência visa garantir a transparência na relação contratual e a proteção dos direitos do consumidor, em consonância com os princípios que regem o Sistema Financeiro Nacional (BCB, 2025b).

2.5 Pix

De acordo com o exposto pelo Banco Central do Brasil (2025f), o Pix é o sistema de pagamento instantâneo desenvolvido pelo Banco Central do Brasil, concebido com o objetivo de proporcionar transferências de recursos de forma ágil, segura e disponível em tempo integral. Trata-se de uma solução que permite a movimentação de valores entre contas em questão de segundos, independentemente do horário ou do dia da semana, incluindo finais de semana e feriados. O Pix pode ser utilizado a partir de contas-correntes, contas-poupança ou contas de pagamento pré-pagas, conferindo ampla acessibilidade aos usuários do sistema financeiro.

A implementação do Pix representa um marco na modernização dos meios de pagamento no Brasil, não apenas pela velocidade com que as transações são realizadas, mas também pelos benefícios estruturais que proporciona ao ecossistema financeiro. Entre os impactos esperados, destaca-se o fortalecimento da competitividade no mercado de pagamentos, ao permitir a entrada de novos agentes e a redução das barreiras de acesso aos serviços financeiros (BCB, 2025f).

Adicionalmente, o Pix contribui para o aumento da eficiência do sistema de pagamentos de varejo, ao reduzir custos operacionais e aprimorar a experiência dos usuários finais. Sua arquitetura tecnológica favorece a segurança das transações e incentiva a adoção de meios eletrônicos de pagamento em substituição aos instrumentos tradicionais baseados em papel, como o dinheiro em espécie e os boletos bancários (BCB, 2025f).

Outro aspecto relevante diz respeito ao seu potencial de promover a inclusão financeira. Ao facilitar o acesso a transações digitais de baixo custo, o Pix amplia a participação de segmentos historicamente excluídos do sistema bancário formal, contribuindo para a democratização dos serviços financeiros no país (BCB, 2025f).

Diante disso, o Pix também se propõe a preencher lacunas identificadas na cesta de instrumentos de pagamento então disponíveis à população brasileira. Ao oferecer uma solução que combina instantaneidade, disponibilidade contínua, baixo custo e facilidade de uso, o sistema responde a demandas não supridas por modalidades tradicionais, como TEDs, boletos e cartões, reposicionando o Brasil como referência em inovação no setor financeiro global (BCB, 2025f).

2.5.1 Início do Pix

De acordo com o exposto pelo Banco Central do Brasil por meio do Relatório de Gestão do Pix (2022), a criação do Pix pertence a um contexto mais amplo da atuação contínua do Banco Central do Brasil (BCB) na supervisão, regulação e aprimoramento do Sistema de Pagamentos Brasileiro (SPB). Essa iniciativa pode ser compreendida como parte de um esforço institucional que remonta à publicação, em 2005, do Diagnóstico do Sistema de Pagamentos de Varejo do Brasil. Desde então, o BCB tem adotado uma postura proativa na promoção de um ambiente de pagamentos de varejo pautado pela competitividade, eficiência, segurança e inclusão financeira. Nesse processo, o Banco Central não apenas desenvolve políticas internas, como também participa de forma ativa nos principais fóruns internacionais dedicados à discussão sobre sistemas de pagamento. Destaca-se, nesse sentido, sua atuação no Comitê de Pagamentos e Infraestruturas do Mercado (CPMI), vinculado ao Banco de Compensações Internacionais (BIS). Assim, o desenvolvimento do Pix pode ser entendido como um desdobramento natural da estratégia institucional do BCB de modernizar o SPB, alinhando-se tanto às demandas nacionais quanto às melhores práticas internacionais.

Em 2014, na sequência da promulgação da Lei n.º 12.865, de 2013 (Brasil, 2013), o BCB divulgou o Relatório de Vigilância do Sistema de Pagamentos Brasileiro (SPB) – 2013, no qual

tornou públicas as diretrizes de sua política de vigilância voltadas à promoção da eficiência e da segurança no âmbito do SPB. Essas diretrizes também contemplavam a ampliação do acesso da população a serviços financeiros que fossem compatíveis com suas necessidades e realidades socioeconômicas (BCB, 2022).

Conforme descrito pelo BCB por meio do Relatório de Gestão do Pix (2022), entre os principais pontos abordados no relatório, destacam-se duas orientações estratégicas: a expansão dos serviços de pagamento por meio de dispositivos móveis, reconhecidos pelo seu elevado potencial de promover a inclusão financeira, e o estímulo à criação de soluções tecnológicas capazes de viabilizar pagamentos de varejo em tempo real, contínuos e com baixos custos operacionais. Dava-se, ainda, ênfase à conveniência de que os valores pagos fossem disponibilizados de forma imediata às contas dos recebedores. Esse documento representou a primeira manifestação oficial do BCB sobre o conceito de “pagamentos de varejo em tempo real e ininterruptos”, posteriormente consolidados sob a denominação de “pagamentos instantâneos”. Ao expressar esse posicionamento, o Banco Central não apenas sinalizou sua visão de futuro, como também incentivou o desenvolvimento, pela indústria, de uma solução que fosse aberta e interoperável, ou seja, que não se restringisse a arranjos proprietários ou limitados.

Vale destacar que, naquele período, diversas jurisdições ao redor do mundo já se encontravam em fase de concepção ou implementação de sistemas de pagamentos instantâneos, cujos modelos vinham sendo amplamente debatidos e monitorados em fóruns internacionais, em particular no Comitê de Pagamentos e Infraestruturas do Mercado (CPMI), vinculado ao Banco de Compensações Internacionais (BIS). A atuação do BCB, portanto, alinhava-se não apenas a um contexto nacional de modernização, mas também às tendências globais de inovação nos sistemas de pagamento (BCB, 2022).

Em 2016, o BCB retomou sua atuação proativa no fomento ao desenvolvimento de uma solução nacional de pagamentos instantâneos, com foco em uma arquitetura aberta e interoperável. Como parte desse esforço, a instituição organizou um *workshop* internacional dedicado ao tema, no âmbito do fórum voltado à discussão de questões relacionadas a arranjos e instituições de pagamento. Esse evento teve como principal objetivo promover o intercâmbio de experiências e boas práticas internacionais com os diversos agentes do setor de pagamentos no Brasil. Durante o encontro, foram apresentados e discutidos casos de países que já haviam implementado, ou estavam em processo de implantação, sistemas de pagamentos instantâneos, destacando-se aspectos técnicos, operacionais e regulatórios dessas soluções. Ao viabilizar esse diálogo, o BCB buscou preparar o mercado doméstico para os desafios e oportunidades

associados à adoção desse tipo de tecnologia, reforçando seu compromisso com a modernização do SPB e com a promoção da inovação financeira no país (BCB, 2022).

Já em 2018, tornava-se evidente que o setor privado, isoladamente, enfrentava dificuldades significativas para coordenar esforços em prol da construção de uma solução aberta e abrangente para pagamentos instantâneos. Embora importantes avanços tenham sido observados na prestação de serviços de pagamento como, por exemplo, a introdução de soluções baseadas em QR Code para dispositivos móveis, tais inovações, em sua maioria, foram estruturadas sob modelos de operação fechados. Nesses arranjos, a efetivação dos pagamentos dependia de que tanto o pagador quanto o recebedor estivessem vinculados à mesma instituição financeira ou de pagamento, limitando, assim, a interoperabilidade e a amplitude do uso dessas tecnologias (BCB, 2022).

A ausência de uma mobilização efetiva e articulada entre os diversos agentes do mercado revelava um cenário de fragmentação, característico de uma indústria complexa e marcada por interesses heterogêneos. Diante dessa conjuntura, o BCB, reconhecendo seu papel de agente regulador neutro e sua capacidade de articulação institucional, assumiu a liderança no processo de desenvolvimento de um sistema nacional de pagamentos instantâneos, bem como da infraestrutura tecnológica necessária à sua viabilização. Esse movimento resultou na criação do ecossistema de pagamentos que viria a ser denominado Pix (BCB, 2022).

O ponto de partida para a construção dessa solução foi a constituição, pelo BCB, do Grupo de Trabalho de Pagamentos Instantâneos (GT-PI). Este grupo teve como principal objetivo estabelecer um canal de diálogo estruturado, amplo e inclusivo com os diversos segmentos do mercado interessados no tema. O GT-PI foi concebido com caráter aberto, permitindo a participação de qualquer instituição ou indivíduo com interesse na matéria, e contou com a adesão de mais de 130 participantes. As discussões foram conduzidas de forma transparente, com a adoção de consultas públicas interativas. Todas as contribuições recebidas foram integralmente disponibilizadas no portal do BCB, garantindo publicidade às opiniões e promovendo um ambiente colaborativo de construção da proposta (BCB, 2022).

Segundo o BCB por meio do Relatório de Gestão do Pix (2022), o trabalho desenvolvido no âmbito do GT-PI resultou na formulação dos requisitos fundamentais do Pix, posteriormente aprovados pela Diretoria Colegiada do BCB e formalizados por meio do Comunicado n.º 32.927, de 21 de dezembro de 2018. Esse documento estabeleceu as diretrizes estruturantes do ecossistema nacional de pagamentos instantâneos, delineando aspectos como o modelo de governança, as formas de participação no arranjo, a infraestrutura centralizada de liquidação, os serviços de conectividade e o mecanismo de provimento de liquidez. Além disso, o

comunicado marcou o posicionamento oficial do BCB como protagonista no processo de desenvolvimento e implementação do Pix, atribuindo à instituição as funções de instituidor do arranjo de pagamentos e de operador das plataformas tecnológicas centrais. Esse papel conferiu ao Banco Central uma responsabilidade dupla: a de regulador e condutor técnico do sistema.

Diante dos resultados positivos alcançados com a abordagem participativa adotada no GT-PI, o BCB instituiu, em março de 2019, o Fórum Pix -, um comitê consultivo permanente, voltado ao diálogo contínuo e estruturado com os diversos agentes do ecossistema. O Fórum tem como finalidade apoiar o Banco Central na definição das regras e especificações técnicas do Pix, abordando temas como padrões operacionais, requisitos técnicos, segurança da informação, mensageria e novos produtos (BCB, 2022).

O Fórum Pix está organizado em quatro grupos de trabalho temáticos, compostos por representantes de instituições participantes do Pix, de associações representativas do setor financeiro, de instituições de pagamento, de usuários finais e de quaisquer outros agentes interessados atuantes no mercado de pagamentos de varejo. Essa configuração plural e aberta promove um ambiente colaborativo e transparente, assegurando representatividade dos diversos segmentos envolvidos e ampliando a legitimidade das decisões normativas e técnicas adotadas (BCB, 2022).

Paralelamente à sua função reguladora, o Banco Central também assumiu a responsabilidade pelo desenvolvimento, operação e gestão da infraestrutura tecnológica do Pix. Essa infraestrutura é composta por dois elementos centrais: o Sistema de Pagamentos Instantâneos (SPI), responsável pela liquidação das transações em tempo real, e o Diretório de Identificadores de Contas Transacionais (DICT), que mantém a base de dados centralizada para o gerenciamento das chaves Pix. Ao assumir o controle direto desses componentes, o BCB reafirmou seu compromisso com a segurança, a eficiência e a interoperabilidade do sistema de pagamentos instantâneos brasileiro (BCB, 2022).

O desenvolvimento da infraestrutura tecnológica do Pix foi iniciado pelo BCB em outubro de 2019, marcando uma nova fase no processo de modernização do Sistema de Pagamentos Brasileiro. Esse movimento institucional foi precedido por um processo de consulta pública, que visou assegurar a transparência e a participação ativa dos diversos agentes do mercado e da sociedade na construção normativa do novo arranjo. Como resultado dessa etapa participativa, em 12 de agosto de 2020 foi publicada a Resolução BCB n.º 1 (Brasil, 2020), que instituiu formalmente o Regulamento do Pix. Essa norma, acompanhada de um conjunto de documentos técnicos complementares, estabeleceu as regras operacionais, os critérios de participação, os

requisitos de segurança e as especificações técnicas essenciais para o funcionamento do sistema de pagamentos instantâneos (BCB, 2022).

A primeira ação concreta voltada ao uso pelos usuários finais ocorreu em 5 de outubro de 2020, exatamente um ano após o início do desenvolvimento técnico do sistema. Naquela data, foi iniciado o cadastramento das chamadas chaves Pix identificadores vinculados às contas transacionais dos usuários, o que permitiu maior agilidade e simplicidade no processo de iniciação de pagamentos. A adesão foi expressiva desde o início, com mais de 25 milhões de registros de chaves contabilizados nos primeiros dias de disponibilização, refletindo o elevado grau de interesse da população pela nova ferramenta (BCB, 2022).

Em 3 de novembro de 2020, teve início a fase de operação restrita do Pix. Nesse período, as instituições participantes passaram a ofertar o serviço a um grupo limitado de seus clientes, como estratégia para permitir uma implementação gradual. Essa abordagem possibilitou a realização de testes finais e ajustes operacionais tanto por parte do Banco Central quanto das instituições envolvidas, de forma a assegurar a estabilidade e a segurança do sistema antes de sua abertura definitiva (BCB, 2022).

A operação plena do Pix foi oficialmente lançada em 16 de novembro de 2020. A partir de então, o Brasil passou a integrar o conjunto de países que dispõem de um sistema de pagamentos instantâneos em funcionamento, promovendo uma transformação significativa no ambiente dos pagamentos de varejo. Desde sua implementação, o Pix permite a realização de transações financeiras em tempo real, 24 horas por dia, todos os dias da semana, inclusive feriados, por meio de contas-correntes, contas-poupança ou contas de pagamento pré-pagas (BCB, 2022).

O sistema está disponível para pessoas físicas, jurídicas e entes governamentais, que podem efetuar transferências e pagamentos em poucos segundos, utilizando canais digitais como aplicativos móveis e plataformas de *internet banking*. Essa inovação representa um marco na promoção da inclusão financeira, na elevação da eficiência dos meios de pagamento e na ampliação do acesso da população a serviços financeiros modernos, seguros e acessíveis (BCB, 2022).

Figura 2 - Linha do tempo de criação do Pix



Fonte: Relatório de Gestão do Pix (BCB, 2022).

2.5.2 Sistema de Pagamentos Instantâneos (SPI)

Conforme Banco Central do Brasil (2025g), o Sistema de Pagamentos Instantâneos (SPI) constitui a infraestrutura tecnológica centralizada responsável pela liquidação das transações realizadas no âmbito dos pagamentos instantâneos no Brasil. Trata-se de uma plataforma única que viabiliza a transferência de recursos entre instituições financeiras e instituições de pagamento de forma eficiente, segura e em tempo real.

Operado e gerido pelo Banco Central do Brasil (BCB), o SPI entrou em funcionamento em novembro de 2020, concomitantemente com o lançamento do Pix, e desempenha papel fundamental na viabilização das transferências instantâneas no país. Seu modelo operacional adota o princípio de Liquidação Bruta em Tempo Real (LBTR), o que significa que cada transação é processada e liquidada individualmente, no exato momento em que ocorre. Uma vez efetivada, a transação assume caráter irrevogável, assegurando a definitividade da liquidação (BCB, 2025g).

O mecanismo de liquidação do SPI ocorre por meio de lançamentos nas Contas de Pagamento Instantâneo (Contas PI), que são contas de propósito específico mantidas no Banco Central pelas instituições participantes diretas do sistema. Essas contas são exclusivamente destinadas às operações de pagamentos instantâneos, segregando, portanto, esses fluxos financeiros dos demais tipos de liquidação realizados no Sistema de Transferência de Reservas (BCB, 2025g).

De modo a preservar a integridade e a robustez do sistema, o SPI adota uma política rigorosa de controle de liquidez, não permitindo a realização de operações que resultem em saldo negativo nas Contas PI. Assim, não há possibilidade de lançamentos a descoberto, sendo exigido que as instituições participantes mantenham saldo suficiente para a efetivação de suas transações. Essa característica é fundamental para assegurar a estabilidade do sistema, mitigar riscos operacionais e garantir a continuidade das operações em tempo real, de forma segura e eficiente (BCB, 2025g).

2.5.3 Diretório de Identificadores de Contas Transacionais (DICT)

De acordo com o Banco Central do Brasil (2025c), o Diretório de Identificadores de Contas Transacionais (DICT) constitui uma base de dados centralizada que armazena as informações cadastrais associadas às chaves Pix dos usuários recebedores. Essa estrutura contém dados essenciais para a identificação e vinculação entre os usuários e suas contas transacionais, tais como nome completo, número do CPF ou CNPJ, instituição financeira ou de pagamento de relacionamento, número da agência e da conta, tipo de conta, data de registro da chave e data de abertura da conta, entre outras informações relevantes.

Gerido e operado pelo BCB, o DICT é um componente fundamental da infraestrutura do sistema Pix, uma vez que viabiliza a iniciação de pagamentos de forma simplificada, segura e eficiente. Sua função principal é permitir que a identificação do destinatário de uma transação seja feita por meio de uma chave única — a chave Pix — dispensando a necessidade de inserção manual de múltiplos dados bancários, como ocorre nas modalidades tradicionais de transferência, a exemplo de TED, DOC ou transferências diretas entre contas (BCB, 2025c).

A utilização do DICT proporciona maior praticidade ao usuário e contribui significativamente para a mitigação de riscos de erro operacional e de fraudes, uma vez que reduz a exposição e o compartilhamento de dados sensíveis. O sistema permite que os usuários registrem chaves Pix que funcionam como identificadores simplificados, podendo ser o número do CPF ou CNPJ, endereço de e-mail, número de telefone celular ou uma chave aleatória -, essa última, particularmente útil para aqueles que preferem não divulgar informações pessoais (BCB, 2025c).

Na prática, a transação se torna mais ágil e acessível. O pagador necessita apenas saber qual chave o recebedor deseja utilizar para receber o valor. Em muitos casos, inclusive, essa informação pode estar previamente armazenada no aplicativo bancário do pagador, o que torna

o processo ainda mais automatizado, sendo possível iniciar a transferência diretamente a partir da lista de contatos do telefone celular (BCB, 2025c).

Todas as instituições que participam diretamente do Sistema de Pagamentos Instantâneos (SPI) devem ter acesso ao DICT, de forma a garantir a interoperabilidade e o correto encaminhamento das ordens de pagamento. Além disso, o Banco Central autoriza o acesso ao DICT por parte de determinados órgãos públicos, quando houver justificativa legal, o que amplia as possibilidades de uso institucional dos dados, preservando, entretanto, os princípios de segurança e sigilo bancário (BCB, 2025c).

2.5.4 Participantes do Pix

Conforme exposto pelo Banco Central do Brasil (2022), a estrutura de participação no Pix foi concebida de forma ampla, flexível e inclusiva, com o propósito de estimular a adesão de uma diversidade de agentes ao ecossistema de pagamentos instantâneos, promovendo, assim, maior competitividade, interoperabilidade e capilaridade no Sistema de Pagamentos Brasileiro.

No que se refere aos critérios de participação, todas as instituições financeiras e instituições de pagamento que oferecem contas transacionais, sejam estas contas de depósito à vista, contas de poupança ou contas de pagamento pré-pagas, estão aptas a integrar o Pix na qualidade de provedores de conta transacional. A possibilidade de adesão estende-se inclusive àquelas instituições de pagamento que, embora ainda não tenham alcançado os requisitos necessários para requerer autorização de funcionamento junto ao Banco Central, manifestem interesse em participar do sistema (BCB, 2022).

Entretanto, para garantir uma oferta ampla do serviço à população, a regulamentação prevê a obrigatoriedade de participação para instituições autorizadas pelo Banco Central do Brasil que possuam mais de 500 mil contas de clientes ativas, considerando-se o total de contas de depósito à vista, poupança e contas de pagamento pré-pagas. Essas instituições devem disponibilizar aos seus clientes, obrigatoriamente, a funcionalidade de iniciação de transações via Pix por meio de diferentes métodos, como a inserção manual de dados, utilização de chaves Pix, leitura de QR Codes dinâmicos ou estáticos, e a opção "PIX copia e cola", além da funcionalidade de recebimento de pagamentos. Essa exigência tem como objetivo assegurar que o Pix esteja efetivamente disponível a uma parcela significativa da população, promovendo a inclusão e a modernização dos meios de pagamento (BCB, 2022).

As demais instituições que ainda não atingiram o referido limite de contas ativas podem optar por participar do sistema de forma voluntária. No entanto, uma vez alcançado o marco de

500 mil contas transacionais ativas, a instituição, se autorizada pelo Banco Central, passa a ter a obrigação de requerer sua adesão formal ao Pix no prazo máximo de 90 dias, conforme determinado pela regulamentação vigente (BCB, 2022).

Os critérios e modalidades de participação no Pix e DICT foram estabelecidos pela Resolução BCB n.º 1. Já os parâmetros normativos para o funcionamento da infraestrutura de liquidação do Pix, o Sistema de Pagamentos Instantâneos, foram definidos pela Resolução BCB n.º 195. Esses dispositivos normativos fornecem a base regulatória necessária para assegurar o funcionamento seguro, eficiente e equitativo do sistema, estabelecendo os deveres e as condições técnicas para os agentes participantes (BCB, 2022).

Figura 3 - Regras de participação no Pix



Fonte: Banco Central do Brasil (2025).

2.5 Inovações no ambiente financeiro

2.5.1 Drex

De acordo com o Banco Central do Brasil (2025d), o Drex, projeto conduzido pelo BCB, viabiliza a realização de diversas modalidades de transações financeiras com ativos digitais e contratos inteligentes, de forma segura e eficiente. Trata-se de uma infraestrutura que está sendo desenvolvida com base na tecnologia de registro distribuído (Distributed Ledger Technology – DLT), a qual possibilita o registro descentralizado, transparente e imutável das transações realizadas no ambiente digital.

Essa nova plataforma será operada pelas instituições financeiras autorizadas e permitirá a liquidação de serviços financeiros inteligentes diretamente nesse ambiente digital. As liquidações ocorrerão no âmbito das instituições participantes, de maneira semelhante ao que já ocorre nos sistemas tradicionais de pagamentos e transferências, porém com maior grau de automação, programabilidade e integração com ativos tokenizados (BCB, 2025d).

O acesso à Plataforma Drex será viabilizado por meio de intermediários financeiros devidamente autorizados pelo Banco Central, como bancos ou instituições de pagamento reguladas. Esses intermediários desempenharão um papel essencial na conversão de recursos: serão responsáveis por transferir os valores depositados em contas bancárias tradicionais para carteiras digitais associadas à infraestrutura Drex. A partir dessa conversão, os usuários poderão realizar transações com ativos digitais de forma segura, transparente e respaldada pela regulamentação vigente (BCB, 2025d).

Ao permitir o uso de contratos inteligentes, o Drex amplia as possibilidades de automação de operações financeiras, contribuindo para a modernização da infraestrutura do sistema financeiro nacional, ao mesmo tempo em que reforça princípios fundamentais como segurança jurídica, integridade das transações e eficiência operacional. Essa inovação representa um passo importante rumo à digitalização da economia e à integração de tecnologias emergentes ao arcabouço regulatório brasileiro (BCB, 2025d).

Até o presente momento, não foi estabelecida uma data oficial para o lançamento do Drex. O projeto encontra-se atualmente em fase de testes preliminares, conduzidos em ambiente controlado e restrito, por meio da iniciativa denominada Piloto Drex, que teve início em março de 2023. Essa fase tem como principal objetivo avaliar aspectos operacionais, tecnológicos e regulatórios da infraestrutura baseada em tecnologia de registro distribuído (DLT), que sustentará o funcionamento do Drex (BCB, 2025d).

A evolução do projeto está condicionada aos resultados obtidos nesse ambiente de testes. A expectativa do Banco Central do Brasil é que, a partir da consolidação dos aprendizados e da validação das funcionalidades fundamentais, seja possível avançar para uma nova etapa, que incluirá a realização de testes com a participação do público em geral. No entanto, essa ampliação do escopo depende diretamente do nível de maturidade alcançado tanto pelo projeto quanto pelas instituições participantes do ecossistema, especialmente no que se refere à segurança, interoperabilidade, governança e estabilidade das operações (BCB, 2025d).

Assim, o cronograma de implantação do Drex será determinado com base na evolução técnica e na prontidão do mercado, assegurando que o ambiente esteja suficientemente robusto para suportar a interação com usuários finais de forma segura, eficiente e aderente às normas regulatórias (BCB, 2025).

2.5.2 Open Finance

Segundo o Banco Central do Brasil (2025e) o Open Finance, ou sistema financeiro aberto, representa uma transformação significativa na forma como os dados e os serviços financeiros são compartilhados e utilizados no Brasil. Trata-se de uma iniciativa regulatória que permite aos clientes de produtos e serviços financeiros o direito de portar suas informações pessoais e financeiras entre diferentes instituições autorizadas, bem como realizar transações como movimentações bancárias por meio de múltiplas plataformas, e não exclusivamente pelos canais oferecidos pela instituição com a qual possuem vínculo contratual. A proposta central do Open Finance é assegurar ao consumidor maior autonomia sobre seus dados, promovendo um ambiente mais ágil, conveniente e seguro, com base no consentimento informado e sob forte supervisão regulatória.

No modelo anterior ao Open Finance, as instituições financeiras detinham de forma exclusiva os dados cadastrais, transacionais e comportamentais de seus clientes. Essa assimetria de informações dificultava a concorrência, restringia o acesso da população a melhores produtos e serviços financeiros e limitava a capacidade do mercado de ofertar soluções personalizadas e eficientes. A ausência de compartilhamento estruturado de dados também criava barreiras para a inclusão financeira, uma vez que consumidores com histórico financeiro em apenas uma instituição, muitas vezes, não conseguiam comprovar sua capacidade de crédito ou obter condições mais vantajosas em outras instituições (BCB, 2025e).

Com a introdução do Open Finance, esse cenário passou a se modificar substancialmente. Por meio de interfaces digitais disponibilizadas pelas instituições participantes como

aplicativos móveis ou plataformas de *internet banking*, o cliente pode autorizar o compartilhamento de seus dados com outras instituições financeiras, de forma segmentada e controlada. O processo de autorização é realizado em ambiente seguro, sendo possível ao cliente, a qualquer momento, revogar a permissão concedida. Somente as informações expressamente autorizadas pelo usuário são transmitidas, assegurando-se, assim, o respeito à privacidade e aos princípios da Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) (BCB, 2025e).

O escopo do Open Finance não se limita apenas aos dados referentes a produtos bancários tradicionais, como contas e operações de crédito. A iniciativa abrange também informações relativas a investimentos, operações de câmbio e, futuramente, seguros e previdência complementar. Esse avanço normativo e tecnológico permite às instituições uma compreensão mais ampla e precisa do perfil financeiro de seus clientes, viabilizando a oferta de produtos mais adequados às necessidades individuais de cada consumidor (BCB, 2025e).

Além do compartilhamento de dados, o Open Finance tem possibilitado o surgimento de novas formas de realizar pagamentos, transferências e aplicações financeiras, promovendo uma experiência integrada e inovadora no relacionamento com o sistema financeiro. Essa reconfiguração da infraestrutura de dados e serviços financeiros tende a estimular a competição, reduzir custos operacionais e fortalecer o protagonismo do cidadão na gestão de sua vida financeira (BCB, 2025e).

3 MÉTODOS E TÉCNICAS

A metodologia consistiu na realização de pesquisa quantitativa, apoiada em métodos estatísticos, para avaliar os índices de correlação, causalidade e regressão entre a variável dependente Pix e as variáveis independentes TED, boleto e cartão de débito.

A metodologia quantitativa parte da coleta e análise de dados, apoiada no uso da estatística. Conforme Sampieri, Collado e Lucio (2006), a estatística faz uso da coleta e interpretação de dados para investigar as perguntas da pesquisa e verificar as hipóteses formuladas anteriormente. Baseia-se em medições numéricas, quantificações e, com frequência, na aplicação de métodos estatísticos para identificar com precisão os padrões de comportamento de um determinado grupo populacional.

3.1 Autoregressive Moving Average with Exogenous Variables (ARMAX)

O modelo ARMAX (p, q, b) é uma extensão do modelo ARMA que incorpora variáveis exógenas (ou covariáveis) para explicar a série temporal (Hamilton, 2020). O modelo ARMAX (p, q, b) é definido pela seguinte equação:

$$Y_t = \mu + \sum_{i=1}^p \phi_i Y_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j} + \sum_{k=1}^b \beta_k X_{t-k} + \varepsilon_t \quad (1)$$

Onde, Y_t é o valor da série temporal no instante t ; μ é a média constante da série; $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$ são coeficientes autorregressivos (AR); $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ são coeficientes de médias móveis (MA); X_t é a variável exógena no instante t ; $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_b$ são os coeficientes da variável exógena; p é a ordem do componente autorregressivo; q é a ordem do componente de médias móveis; b é o número de defasagens da variável exógena; $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$ é o termo de erro aleatório.

As propriedades do modelo ARMAX são:

1. A série temporal deve ser estacionária, com média e variância constantes ao longo do tempo;
2. A componente MA deve ser invertível para garantir que o modelo tenha uma representação estável e única;
3. A função de autocorrelação (FAC) e a função de autocorrelação parcial (FACP) são utilizadas para identificar a ordem do modelo. No ARMAX (p, q, b) , ambas FAC e FACP decaem exponencialmente ou oscilam.

Semelhante ao ARMA, O modelo ARMAX é geralmente estimado usando o método de Máxima Verossimilhança (MLE).

3.2 Critério de Informação Akaike

O Critério de informação Akaike (AIC) (Akaike, 1974) é uma medida que permite seleção de modelos estatísticos a fim de identificar o modelo que melhor se ajusta aos dados, levando em consideração a penalização pela quantidade de parâmetros no modelo (Akaike, 1974). O AIC é definido pela seguinte fórmula:

$$AIC = 2\ln(L) + 2k \quad (2)$$

onde L é a função de verossimilhança do modelo estimado e k é o número de parâmetros no modelo. Este termo penaliza a complexidade do modelo. A inclusão de mais parâmetros tende a aumentar o valor da função de verossimilhança, mas também pode levar ao sobreajuste, o que resulta em uma pior generalização para dados fora da amostra.

O AIC busca encontrar um equilíbrio entre o ajuste do modelo (medido pela verossimilhança) e a penalização pela complexidade (medida pelo número de parâmetros). Um valor menor de AIC indica um modelo que oferece um bom ajuste aos dados, sem ser excessivamente complexo.

A ordem p e q de um modelo ARMA (p, q) são parâmetros que determinam a quantidade de termos autorregressivos e de média móvel no modelo. A escolha da ordem adequada é crucial, pois um valor muito alto pode levar ao sobre ajuste, enquanto um valor muito baixo pode deixar de capturar a dinâmica importante dos dados.

A seleção da ordem modelo ARMA (p, q) usando o AIC passa pela Estimativa de Modelos com Diferentes Ordens (para diferentes valores de p e q , o modelo ARMA é estimado e a função de verossimilhança é calculada para cada combinação, isso envolve a modelagem dos erros como processos autoregressivos e de média móvel), Cálculo do AIC para Cada Modelo e Seleção da Ordem ótima (a combinação de p e q que resulta no menor valor de AIC é considerada a ordem ótima do modelo ARMA, este modelo é o que melhor equilibra o ajuste aos dados e à complexidade do modelo).

3.3 Causalidade de Granger

O Teste de Causalidade de Granger (1969) é amplamente utilizado para investigar relações de causalidade entre variáveis em séries temporais. Ele é particularmente relevante em contextos econométricos, como no uso de modelos ARMAX, onde o objetivo é verificar se uma variável exógena ou endógena tem impacto preditivo sobre outra variável, considerando as dinâmicas temporais e a presença de outras variáveis no modelo (Granger, 1969). Causalidade não significa causalidade no sentido estrito de causa e efeito. Em vez disso, o teste avalia se as informações contidas no passado de uma série temporal X_t ajudam a prever outra série temporal Y_t além das informações contidas no passado de Y_t por si só. Em termos matemáticos, diz-se que X_t causa Y_t no sentido de Granger se a inclusão de defasagens de X_t melhora significativamente a capacidade de prever Y_t .

Matematicamente, o teste de Granger é baseado na comparação de dois modelos:

- Modelo restrito (sem X_t)

$$Y_t = \alpha + \sum_{i=1}^p \beta_i Y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (3)$$

- Modelo irrestrito (com X_t).

$$Y_t = \alpha + \sum_{i=1}^p \beta_i Y_{t-i} + \sum_{j=1}^q \gamma_j X_{t-j} + \varepsilon_t \quad (4)$$

Onde, Y_t é a variável dependente no tempo t ; X_t é a variável candidata à causalidade; p e q representam, respectivamente, as ordens de defasagem de Y_t e X_t ; $\alpha, \beta_i, \gamma_j$ são os coeficientes estimados; e ε_t é o termo de erro aleatório.

A hipótese nula H_0 do teste de Granger é que os coeficientes de X_t são todos iguais a zero ($\gamma_j = 0$ para todo j).

Se H_0 for rejeitada, conclui-se que X_t causa Y_t no sentido de Granger.

No caso em estudo, será utilizado apenas o modelo irrestrito, pois o objetivo é verificar se a variável candidata à causalidade (X_t) exerce influência significativa sobre a variável dependente (Y_t). Em outras palavras, avalia-se os coeficientes associados às defasagens de X_t (γ_j) diferem significativamente de zero.

Dessa forma, ao focar no modelo irrestrito, consegue-se avaliar diretamente a relação de causalidade entre X_t e Y_t sem a necessidade de realizar a comparação explícita entre os dois modelos.

3.4 Correlação de Pearson

A Correlação de Pearson, representada por r , é uma medida estatística que quantifica o grau de associação linear entre duas variáveis numéricas, X e Y . Seu valor varia de -1 a 1. Um valor de -1 indica uma correlação negativa perfeita, significando que quando uma variável aumenta, a outra diminui na mesma proporção. Um valor de 0 indica que não há correlação linear, ou seja, as variáveis não estão linearmente relacionadas. Um valor de 1 indica uma correlação positiva perfeita, significando que quando uma variável aumenta, a outra também aumenta na mesma proporção (Bussab e Pedro, 2010).

A Correlação de Pearson é calculada da seguinte forma:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (5)$$

Nessa equação, X_i e Y_i representam os valores individuais das variáveis X e Y para a i -ésima observação, respectivamente. \bar{X} e \bar{Y} são as médias de X e Y , respectivamente. n representa o número total de observações.

A interpretação da Correlação de Pearson é feita da seguinte forma:

- **Correlação positiva:** Quando $r > 0$, as variáveis X e Y tendem a aumentar ou diminuir juntas. Quanto mais próximo de 1, mais forte é a correlação positiva.
- **Correlação negativa:** Quando $r < 0$, as variáveis X e Y tendem a se mover em direções opostas. Quanto mais próximo de -1, mais forte é a correlação negativa.
- **Correlação fraca ou nula:** Quando r está próximo de 0, a correlação linear entre as variáveis é fraca ou inexistente.

Em conclusão, a Correlação de Pearson mede apenas a associação linear entre as variáveis, não detectando relações não lineares. Além disso, a Correlação de Pearson não implica causalidade, ou seja, uma correlação alta não significa que uma variável causa a outra. Outro ponto importante é que a Correlação de Pearson é sensível a *outliers*, o que significa que valores extremos podem afetar o valor da correlação.

3.5 Processo de Coleta de Dados

A presente análise investiga a intrincada relação entre a dinâmica do Pix e três variáveis independentes cruciais: boleto, cartão de débito e TED. O estudo se concentra em dados de frequência trimestral, coletados do sítio eletrônico do Banco Central do Brasil, abrangendo um período de 15 observações, o máximo disponível para a variável dependente, em função de os valores serem disponibilizados pelo Banco Central do Brasil em frequência trimestral a partir do quarto trimestre de 2020 até o segundo trimestre de 2024. A variável Pix, designada como dependente, é o foco central da análise, buscando-se desvendar sua sensibilidade e correlação com as demais variáveis.

Toda a análise estatística foi realizada com o auxílio do software estatístico R e os pacotes de modelagem *tseries*, *forecast*, *MASS*, *urca* e *lmtest*, e dos pacotes para análise, tratamento e plotagem dos dados, *ggplot2*, *tidyverse* e *dplyr*. A escolha desta ferramenta para a manipulação e o desenvolvimento dos cálculos ocorreu em função da segurança e qualidade dos resultados que são disponibilizados pela ferramenta, incluindo os gráficos de dispersão, de alta correlação serial e *boxplot*.

A metodologia empregada combina elementos de análise de séries temporais com técnicas de robustez estatística. Inicialmente, a fim de mitigar a influência da dispersão dos resíduos, uma transformação logarítmica é aplicada à variável Pix dado que valores monetários estão sendo considerados durante a análise. Tal procedimento é justificado pela necessidade de estabilizar a variância e promover a normalidade dos erros, pressupostos fundamentais para a aplicação de modelos de séries temporais.

Na sequência, o teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF) (Dickey e Fuller, 1979) é utilizado para verificar a presença de raiz unitária nas séries temporais. A identificação de raiz unitária é crucial, pois sua presença indica não estacionaridade, condição que pode levar a resultados espúrios na modelagem. Caso a raiz unitária seja detectada, a primeira diferença da série é calculada, visando torná-la estacionária e adequada para a modelagem, conforme especificado no apêndice A.

O modelo Autorregressivo de Médias Móveis com variáveis Exógenas (ARMAX) é a ferramenta central da análise. Este modelo permite não apenas capturar a dinâmica temporal da variável Pix, mas também incorporar o efeito das variáveis independentes (boleto, cartão de débito e TED) em sua análise. A escolha do modelo ARMAX reside em sua capacidade de lidar com a complexidade das relações entre as variáveis, oferecendo uma estrutura flexível para modelar a influência das variáveis externas sobre a variável dependente.

A fim de assegurar a robustez e a confiabilidade dos resultados, a análise inclui testes de robustez abrangentes. O sumário dos resíduos, compreendendo estatísticas descritivas como mínimo, primeiro quartil, mediana, média, terceiro quartil e máximo, auxilia na verificação da simetria e da distribuição dos resíduos em torno da média. Adicionalmente, análises visuais, como histogramas e gráficos de dispersão dos resíduos ao longo do tempo, são conduzidas para identificar possíveis padrões ou tendências, conforme Apêndice C.

A função de autocorrelação (ACF) dos resíduos complementa a análise, fornecendo *insights* sobre a presença de autocorrelação serial, conforme detalhado no Apêndice C.3. De acordo com as Figuras 9, 10 e 11, pode-se observar a ausência de autocorrelação significativa nos resíduos, o que indica que o modelo ARMAX capturou adequadamente a dependência temporal da série, corroborando a qualidade do ajuste.

Os resultados detalhados dos testes de robustez, incluindo o sumário dos resíduos, histogramas, gráficos de dispersão e ACFs, são apresentados em apêndices específicos. Estes elementos fornecem evidências empíricas sobre a adequação do modelo ARMAX para descrever a relação entre o Pix e as variáveis independentes, permitindo uma avaliação crítica da qualidade do ajuste e da validade das conclusões.

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O modelo ARMAX foi ajustado para a série Pix, utilizando TED, boleto e cartão de débito como variáveis explicativas. A Tabela 1 resume os principais resultados dos modelos estimados.

Tabela 1- Resumo dos Modelos ARMAX para Pix

Variável Explicativa	R^2 Ajustado (%)	Erro Padrão	Breusch-Pagan (p -valor)
TED	66,78	0,2005	0,331
Boleto	49,36	0,2476	0,00118
Cartão de Débito	49,40	0,2475	0,00090

Fonte: Dados da pesquisa.

* R^2 Ajustado: Proporção da variação explicada pelo modelo, corrigida para o número de variáveis.

† Erro Padrão: Mede a precisão das previsões, com valores menores indicando maior confiabilidade.

‡ Breusch-Pagan: Testa a heterocedasticidade, com baixos p -valores sugerindo variância não constante nos resíduos.

A Tabela apresenta os resultados dos modelos ARMAX estimados para valores do Pix com três variáveis explicativas: TED, boleto e cartão de débito. O R^2 Ajustado indica a

proporção da variação do Pix explicada por cada variável, corrigida pelo número de parâmetros no modelo. Quanto maior esse valor, melhor a variável explicativa (TED, boleto e cartão de débito) ajuda a explicar variações do Pix. O modelo com TED apresentou o maior R^2 Ajustado (66,78%), sugerindo que essa variável tem maior capacidade explicativa em relação ao Pix. Já os modelos com boleto e cartão de débito tiveram valores similares, próximos de 49,4%, indicando um poder explicativo menor em comparação com TED.

O Erro Padrão mede a precisão das variáveis do modelo, em que valores menores indicam estimativas mais confiáveis. O modelo com TED apresentou o menor erro (0,2005), enquanto os modelos com boleto e cartão de débito tiveram erros ligeiramente maiores e quase idênticos (0,2476 e 0,2475, respectivamente). Isso sugere que as estimativas baseadas na TED são menos dispersas e, portanto, mais precisas.

O teste de Breusch-Pagan (1979) avalia a presença de heterocedasticidade nos resíduos do modelo, ou seja, se a variância do erro se mantém constante ao longo do tempo. O p -valor associado ao teste indica a significância da heterocedasticidade. Para TED ($p=0,331$), o teste sugere que os resíduos não apresentam heterocedasticidade significativa, garantindo maior robustez ao modelo. No entanto, para boleto ($p=0,00118$) e cartão de débito ($p=0,00090$), os baixos valores de p indicam a presença de heterocedasticidade, sugerindo que a variância dos erros não é constante, o que pode impactar a eficiência das estimativas e a confiabilidade dos intervalos de confiança. A heterocedasticidade é um problema principalmente em modelos de regressão, pois é possível conduzir a erros de predição mais elevados e modelos menos robustos. No entanto, para a análise de correlação, a heterocedasticidade não é necessariamente um problema, visto o resultado obtido seja apenas a relação linear entre duas variáveis o que não depende diretamente da homoscedasticidade.

A análise dos resíduos mostrou que os erros possuem um padrão relativamente baixo em torno da média, com leves indícios de heterocedasticidade para os modelos com boleto e cartão de débito, conforme indicado pelos testes de Breusch-Pagan (1979).

Para avaliar a adequação dos modelos, foram realizados os testes de Ljung-Box (1978), Durbin-Watson (1971) e Breusch-Pagan (1979), conforme demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2: Testes de Diagnóstico dos Modelos ARMAX

Teste	TED (p -valor)	Boleto (p -valor)	Cartão de Débito (p -valor)
Ljung-Box	0,9975	0,8236	0,7688
Durbin-Watson	1,9752	1,9808	2,0406
Breusch-Pagan	0,331	0,00118	0,00090

Fonte: Dados da pesquisa.

* Teste Ljung-Box: Verifica se há autocorrelação nos resíduos do modelo. Valores altos de p -valor sugerem ausência de autocorrelação significativa.

† Durbin-Watson: Mede a presença de autocorrelação serial nos resíduos. Valores próximos de 2 indicam pouca ou nenhuma autocorrelação.

‡ Teste Breusch-Pagan: Avalia a heterocedasticidade nos resíduos. Valores baixos de p -valor indicam variância não constante.

A Tabela 2 apresenta os testes de diagnóstico aplicados aos modelos ARMAX estimados para explicar o comportamento do Pix em função das variáveis TED, Boleto e Cartão de Débito. Esses testes são fundamentais para avaliar a adequação dos modelos e garantir a validade estatística das inferências. Os principais aspectos analisados são a presença de autocorrelação nos resíduos, a dependência serial e a heterocedasticidade.

O teste de Ljung-Box (1978) examina se os resíduos do modelo apresentam autocorrelação significativa. Como os p -valores para todas as variáveis explicativas são elevados (próximos de 1), isso sugere que não há evidências estatísticas de autocorrelação nos resíduos. Esse resultado é desejável, pois indica que os modelos ARMAX estão capturando corretamente as estruturas temporais das séries, sem deixar padrões remanescentes.

O teste de Durbin-Watson (1971) mede a presença de autocorrelação serial nos resíduos, com valores próximos de 2 indicando pouca ou nenhuma autocorrelação. Para os três modelos, os valores do teste estão muito próximos de 2 (TED: 1,9752; boleto: 1,9808; cartão de débito: 2,0406), reforçando a ideia de que os resíduos se comportam de forma aleatória e não apresentam dependência serial significativa.

O teste de Breusch-Pagan (1979) avalia a heterocedasticidade dos resíduos, ou seja, se a variância dos erros permanece constante ao longo do tempo. No caso da variável TED, o p -valor de 0,331 indica que não há evidências de heterocedasticidade, o que significa que a dispersão dos resíduos não varia sistematicamente. Isso é positivo, pois sugere que a incerteza dos erros é homogênea.

No entanto, para as variáveis boleto e cartão de débito, os p -valores são extremamente baixos (0,00118 e 0,00090, respectivamente), indicando a presença de heterocedasticidade. Isso significa que a variância dos erros pode estar mudando ao longo do tempo, o que pode

comprometer a eficiência dos estimadores e exigir correções, como a utilização de testes robustos para heterocedasticidade.

A relação entre Pix e as variáveis explicativas foi analisada utilizando o teste de causalidade de Granger (1969) e o coeficiente de correlação de Pearson (Bussab, 2010), cujos resultados estão resumidos na Tabela 3.

Tabela 3 - Teste de Causalidade de Granger e Correlação de Pearson

Variável Explicativa	Granger (<i>p</i> -valor)	Correlação de Pearson
TED	0,8413	0,0518
Boleto	0,1783	-0,3635
Cartão de Débito	0,0062	-0,4431

Fonte: Dados da pesquisa.

* Teste de Causalidade de Granger: Avalia se uma variável ajuda a prever outra ao longo do tempo. *P*-valores baixos indicam que a variável explicativa tem poder preditivo sobre a variável dependente.

† Correlação de Pearson: Mede a força e a direção da relação linear entre duas variáveis. Valores positivos indicam relação direta, enquanto valores negativos indicam relação inversa.

A Tabela 3 apresenta os resultados do teste de Causalidade de Granger (1969) e da Correlação de Pearson (2010) entre as variáveis explicativas (TED, boleto e cartão de débito) e o Pix. Esses testes são essenciais para avaliar a relação dinâmica e estática entre as séries temporais, permitindo entender se há uma conexão estatística significativa entre os meios de pagamento analisados e o volume de transações via Pix.

O teste de Causalidade de Granger (1969) investiga se uma variável possui poder preditivo sobre outra ao longo do tempo. Um *p*-valor baixo indica que a variável explicativa ajuda a prever a variável dependente, enquanto valores elevados sugerem ausência de relação causal no sentido de Granger. No caso da TED, o *p*-valor de 0,8413 é bastante alto, indicando que não há evidências de que a TED cause o Pix no sentido de Granger. Isso sugere que a TED e o Pix evoluem independentemente no tempo, sem uma relação preditiva clara.

Para a variável boleto, o *p*-valor de 0,1783, embora menor que o da TED, ainda é relativamente alto. Esse resultado implica que, embora possa haver alguma relação entre o uso de boletos e o volume de transações via Pix, a evidência não é estatisticamente significativa o suficiente para afirmar que o boleto influencia diretamente o Pix no sentido de Granger. Dessa forma, o boleto pode estar associado ao Pix de outras maneiras, mas não necessariamente de forma preditiva.

Por outro lado, o cartão de débito apresenta um *p*-valor de 0,0062, indicando uma relação estatisticamente significativa entre essa variável e o Pix. Isso sugere que o comportamento das transações com cartão de débito pode fornecer informações úteis para

prever a dinâmica do Pix. Esse resultado pode ser interpretado como um indício de substituição ou complementaridade entre os meios de pagamento, em que o uso do cartão de débito pode estar sendo impactado pelo aumento das transações via Pix.

A análise da Correlação de Pearson complementa os achados do teste de Granger ao medir a força e a direção da relação linear entre as variáveis. No caso da TED, a correlação de 0,0518 é muito próxima de zero, sugerindo uma relação praticamente inexistente entre TED e Pix. Esse resultado reforça a evidência do teste de Granger, indicando que a TED e o Pix não estão fortemente associados em termos de comportamento.

A correlação entre boleto e Pix é de -0,3635, o que sugere uma relação negativa fraca entre essas variáveis. Esse resultado indica que um aumento no uso do Pix pode estar associado a uma redução no uso de boletos. Embora essa relação não seja extremamente significativa, ela pode sugerir uma possível substituição parcial entre os dois meios de pagamento, em que os usuários que antes utilizavam boletos podem migrar para o Pix.

Já a correlação entre cartão de débito e Pix é de -0,4431, indicando uma relação negativa ainda fraca, mas superior à observada para o boleto. Esse resultado sugere que um aumento no volume de transações com Pix está associado a uma redução no uso do cartão de débito. Esse achado, combinado com a significância do teste de Granger, reforça a hipótese de que é possível que o Pix esteja substituindo o cartão de débito como meio de pagamento preferido por parte dos usuários.

De maneira geral, os resultados da Tabela 3 indicam que, enquanto a TED não apresenta relação estatística relevante com o Pix, o boleto e, principalmente, o cartão de débito apresentam sinais de substituição pelo Pix. O fato de o cartão de débito exibir uma relação negativa mais forte e significativa sugere que o Pix possivelmente desempenha um papel crescente na substituição de pagamentos anteriormente realizados por esses meios.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos a partir da modelagem ARMAX e das análises estatísticas realizadas mostram dados significativos sobre a relação entre o Pix e os demais meios de pagamento analisados (TED, boleto e cartão de débito). A variável TED demonstrou o maior poder explicativo individual, com um R^2 Ajustado de 66,78%, o que transparece uma correlação moderada, além de resíduos sem autocorrelação ou heterocedasticidade significativa, indicando um modelo aceitável. No entanto, tanto o teste de causalidade de Granger quanto a correlação de Pearson não apontaram resultados estatisticamente significativos entre a relação de TED e

Pix, esse fato sugere que, apesar da boa capacidade explicativa do modelo, não há evidências de causalidade ou de uma associação linear forte entre essas variáveis.

Em contrapartida, boleto e cartão de débito apresentaram R^2 Ajustados próximos de 49%, demonstrando um poder explicativo moderado, mas com evidências de heterocedasticidade nos resíduos, o que pode afetar a eficiência das estimativas. A análise de causalidade de Granger mostrou que o cartão de débito possui um efeito preditivo significativo sobre o Pix (p -valor = 0,0062), enquanto que o boleto não apontou causalidade no sentido de Granger. Ambas as variáveis exibiram correlações negativas; embora fracas, com o Pix (-0,3635 para boleto e -0,4431 para cartão de débito), sugerindo uma possível substituição do Pix por esses meios de pagamento.

Esses achados sinalizam que o Pix, possivelmente, ocupa um espaço antes dominado por transações com cartão de débito e, em menor medida, por boletos, reforçando a hipótese de que a inovação trazida pelo Pix está alterando os padrões de pagamento no Brasil. A ausência de relação significativa com a TED sugere que esses dois instrumentos atendem a propósitos distintos, sem competição direta.

Em linhas gerais, os resultados corroboram a hipótese de que o Pix está se consolidando como uma alternativa aos meios de pagamento tradicionais, especialmente, ao cartão de débito, ao mesmo tempo em que mantém uma dinâmica independente em relação à TED.

REFERÊNCIAS

AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification, **IEEE transactions on automatic control**, v.19, n. 6, 716–723, 1974.

BANCO CENTRAL DO BRASIL (BCB). **Transferência Eletrônica Disponível (TED)**, Brasília, [2019]. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/detalhenoticia/327/noticia>. Acesso em: 24 jun. 2025

BANCO CENTRAL DO BRASIL (BCB). **Relatório de Gestão do PIX**. Brasília, 2022. Disponível em: https://www.bcb.gov.br/content/estabilidadefinanceira/pix/relatorio_de_gestao/pix/relatorio_gestao_pix_2023.pdf, 2020-2022. Acesso em: 25 mar. 2025.

BANCO CENTRAL DO BRASIL (BCB). **Arranjos de Pagamento**. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/arranjospagamento?ano=2023,2023>. Acesso em: 30 jun. 2025.

BANCO CENTRAL DO BRASIL (BCB). **Boleto**. Brasília, [2025a]. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/meubc/faqs/s/boleto>. Acesso em: 30 jun. 2025.

BANCO CENTRAL DO BRASIL (BCB). **Cartão**. Brasília, [2025b]. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/meubc/faqs/s/cartao>. Acesso em: 30 jun. 2025.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Diretório de Identificadores de Contas Transacionais**. Brasília, [2025c]. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/dict>, Acesso em: 24 jun. 2025.

BANCO CENTRAL DO BRASIL (BCB). **Drex – Real Digital**, [2025d]. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/drex>. Acesso em: 30 jun. 2025.

BANCO CENTRAL DO BRASIL (BCB). **Open Finance**. Brasília, [2025e]. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/openfinance>. Acesso em: 30 jun. 2025.

BANCO CENTRAL DO BRASIL (BCB). **Pix**. Brasília, [2025f]. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/openfinance>. Acesso em: 30 jun. 2025.

BANCO CENTRAL DO BRASIL (BCB). **Sistema de Pagamentos Instantâneos (SPI)**, Brasília, [2025g]. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/sistemapagamentosinstantaneos?ano=2025>. Acesso em: 19 mar. 2025.

BANCO CENTRAL DO BRASIL (BCB). **Sistema de Pagamentos Brasileiro (SPB)**, Brasília, [2025g]. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/spb>. Acesso em: 19 mar. 2025.

BANCO CENTRAL DO BRASIL (BCB). **Sistema de Transferência de Reservas (STR)**, Brasília, [2025h]. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/str?ano=2025>. Acesso em: 24 jun. 2025.

BRASIL. Lei n.º 12.865, de 9 de outubro de 2013. Dispõe sobre os arranjos de pagamento e as instituições de pagamento integrantes do Sistema de Pagamentos Brasileiro (SPB), e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 10 out. 2013.

BRASIL. Banco Central do Brasil. Resolução BCB n.º 1, de 12 de agosto de 2020. Dispõe sobre a prestação de serviço de iniciação de transação de pagamento no âmbito do Pix. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 13 ago. 2020.

BOX, G. E.; JENKINS, G. M.; REINSEL, G. C.; Ljung, G. M. Time series analysis: forecasting and control, **John Wiley & Sons Inc.**, Hoboken: New Jersey, p. 712, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/299459188_Time_Series_Analysis_Forecasting_and_Control5th_Edition_by_George_E_P_Box_Gwilym_M_Jenkins_Gregory_C_Reinsel_and_Greta_M_Ljung_2015_Published_by_John_Wiley_and_Sons_Inc_Hoboken_New_Jersey_pp_712_ISBN_. Acesso em: 24 jun. 2025.

BREUSCH, T. S.; PAGAN, A. R. A simple test for heteroscedasticity and random coefficient variation, **Econometrica**: Journal of the econometric society, pp. 1287–1294, 1979.

BUSSAB, W. de O.; PEDRO, A. M. **Estatística básica**. 6. ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

DICKEY, D. A.; FULLER, W. A. Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. **Journal of the American Statistical Association**, v. 74, n. 366, p. 427–431, 1979.

DURBIN, J; WATSON, G. S. Testing for serial correlation in least squares regression. III. **Biometrika**, v. 58, n. 1, p. 1–19, 1971.

ENDERS, W. Applied econometric time series, Hoboken: **John Wiley & Sons**, 2008.

FIGUEIREDO, R. P. **A evolução do sistema de pagamentos brasileiro e o desaparecimento do cheque**: realidade ou exagero? Dissertação (Mestrado em Economia). Faculdade Ibmec, São Paulo, 2006.

FORTUNA, E. **O sistema de pagamento brasileiro - SPB**. In: FORTUNA, Eduardo. *Mercado financeiro: produtos e serviços*. 21. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2017.

GRANGER, C. W. Investigating causal relations by econometric models and crossspectral methods, **Econometrica**: journal of the Econometric Society, p. 424–438, 1969.

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Basic econometrics**. New York: McGraw-Hill, 2003.

HAMILTON, J. D. Time series analysis. Princeton: **University Press**, 2020.

LJUNG, G. M.; BOX, G. E. On a measure of lack of fit in time series models. **Biometrika**, v. 65, n. 2, p.297–303, 1978.

NÚCLEA. **Liquidação de Cartões**. [2025a]. Disponível em: <https://www.nuclea.com.br/liqui-dacao-de-cartoes-slc/>. Acesso em: 30 jun 2025.

NÚCLEA. **Liquidação de Ordens de Crédito (SILOC)**. [2025b]. Disponível em: <https://www.nuclea.com.br/liquidacao-de-transferencia-de-fundos/>. Acesso em: 30 jun. 2025.

NÚCLEA. **Liquidação de transferência de fundos (SITRAF)**. [2025c]. Disponível em: <https://www.nuclea.com.br/liquidacao-de-transferencia-de-fundos/>. Acesso em: 30 jun. 2025.

SAMPIERI, R.H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M.P.B. **Metodologia de pesquisa**. 3. ed. São Paulo: MacGraw-Hill, 2006.

WOOLDRIDGE, J. M. **Introductory econometrics: a modern approach**. 3. ed.,1996.

APÊNDICE A

AUTOREGRESSIVE (AR)

O modelo AR descreve a dependência linear de uma variável com seus próprios valores passados de maneira que, para prever valores atuais, é preciso somente do histórico das variáveis. Ele é definido por:

$$Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (6)$$

Onde Y_t é o valor da série temporal no período t ; $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$ são os parâmetros do modelo que representam os coeficientes de autorregressão, p é a ordem do modelo AR^1 , ε_t é o termo de erro².

As propriedades do modelo $AR(q)$ são:

(1) A série deve ser estacionária. A condição para estacionaridade é que as raízes do polinômio característico estejam fora do círculo unitário;

(2) A função de autocorrelação parcial (FACP) é a ferramenta principal para identificar a ordem. Em um $AR(p)$, a FACP corta em zero após a defasagem.

MOVING AVERAGE (MA)

O modelo Moving Average (MA) descreve a relação entre o valor atual de uma série temporal e os erros passados (choques aleatórios). Ele é especialmente útil para capturar padrões temporais em que o valor presente é influenciado por choques anteriores de forma direta, sem uma dependência estrutural com os valores passados da variável. A especificação geral de um modelo MA de ordem q é dada por:

$$Y_t = \mu + \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (7)$$

¹ Número de defasagens consideradas.

² O termo de erro (ε_t) é um ruído branco. Ou seja, $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$, onde $N(0, \sigma^2)$ é uma distribuição normal com média zero e variância σ^2 .

Onde, Y_t é o valor da série temporal no tempo t , μ é a média da série³, $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$ é um termo de erro aleatório com média zero e variância σ^2 , $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ são os coeficientes de médias móveis⁴ e q é a ordem do modelo⁵.

As propriedades do modelo MA são: (1) Todo modelo MA é intrinsecamente estacionário, já que a média e variância são constantes ao longo do tempo, desde que o erro seja um ruído branco, ou seja, os resíduos do modelo são aleatórios e não correlacionados; (2) A função de autocorrelação (FAC) de um modelo MA(q) torna-se zero após a defasagem. (3) Embora o modelo MA descreva choques passados, ele não captura relações dinâmicas entre os valores passados da variável em si, apenas dos erros.

AUTORREGRESSIVE MOVING AVERAGE (ARMA)

O modelo ARMA (p, q) combina as componentes autorregressiva (AR) e de médias móveis (MA) em um único modelo, permitindo tanto dependências de valores passados da série quanto de choques aleatórios passados.

O modelo ARMA (p, q) é definido pela seguinte equação:

$$Y_t = \mu + \sum_{i=1}^p \phi_i Y_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j} + \varepsilon_t \quad (8)$$

Onde Y_t é o valor da série temporal no instante t , μ é a média constante da série, $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$ são coeficientes autorregressivos⁵ (AR), $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ são coeficientes de médias móveis⁶ (MA), p é a ordem do componente autorregressivo, q é a ordem do componente de médias móveis e $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$ é o termo de erro aleatório.

As propriedades do modelo ARMA são: (1) A série temporal deve ser estacionária, com média e variância constantes ao longo do tempo; (2) A componente MA deve ser invertível para garantir que o modelo tenha uma representação estável e única; (3) A função de autocorrelação (FAC) e a função de autocorrelação parcial (FACP) são utilizadas para identificar a ordem do modelo. No ARMA (p, q), ambas FAC e FACP decaem exponencialmente ou oscilam.

³ em alguns casos pode ser omitida se a série já estiver centrada

⁴ Coeficientes de médias móveis medem o impacto dos erros passados sobre o valor atual da série ⁵Número de defasagens consideradas no termo de erro.

⁵ Capturam o efeito linear dos valores passados da série sobre o valor atual.

⁶ Capturam o efeito linear dos erros passados sobre o valor atual.

O modelo ARMA é geralmente estimado usando o método de Máxima Verossimilhança (MLE). A função de verossimilhança⁷ a ser maximizada é dada por:

$$L(\phi, \theta, \beta, \sigma^2) = \prod_{k=1}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{\varepsilon_t^2}{2\sigma^2}\right) \quad (9)$$

Pode-se, ainda, simplificar a estimação transformando a função de verossimilhança para sua forma logarítmica, Log-verossimilhança⁸. Dessa forma, fica:

$$\ln L(\phi, \theta, \beta, \sigma^2) = -\frac{n}{2} \ln(2\pi) - \frac{n}{2} \ln(\sigma^2) - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{t=1}^n \varepsilon_t^2 \quad (10)$$

Onde é a densidade condicional da distribuição normal dos erros.

TESTE DE RAIZ UNITÁRIA

Uma série temporal é considerada estacionária se a média e todas as autocovariâncias não são afetadas por uma mudança na origem do tempo (Enders, 2008). Em contrapartida, séries não estacionárias apresentam uma média e uma variância que não permanecem constantes ao longo do tempo.

Existem dois tipos principais de tendências em séries temporais: determinística e estocástica. No caso de tendências determinísticas, a série temporal oscila ao redor de um componente fixo, como uma média constante ou uma tendência linear bem definida. Já no caso de tendências estocásticas, a série apresenta padrões de crescimento ou decréscimo aleatórios, sem um comportamento previsível ou fixo.

Uma série temporal é não estacionária se possuir uma raiz unitária. Isso significa que a raiz de sua equação característica, denotada por ρ , é igual a 1. Matematicamente, essa relação pode ser expressa da seguinte forma:

$$Y_t = \rho Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (11)$$

⁷ A função de verossimilhança é uma medida da probabilidade dos dados observados, dado o modelo e seus parâmetros. Quanto maior o valor de L , melhor o modelo se ajusta aos dados.

⁸ Forma logarítmica da verossimilhança é geralmente utilizada, pois transforma o produto em uma soma e facilita o cálculo numérico.

Nesse contexto, $\rho = 1$ indica que Y_t possui uma raiz unitária. O termo ϵ_t representa um processo de ruído branco, ou seja, um termo aleatório com média zero, variância constante e sem correlação temporal. A equação acima é amplamente conhecida como o caso clássico de raiz unitária, ou "*passeio aleatório*" (*random walk*). Nessa configuração, o valor da série no período t (Y_t) será simplesmente o valor da série no período anterior (Y_{t-1}) somado a um choque aleatório ϵ_t .

A presença de uma raiz unitária em uma série temporal pode ser detectada por meio de testes estatísticos específicos. O mais utilizado é o teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF), que é uma extensão do teste de Dickey-Fuller (DF). O ADF incorpora diferenças defasadas da variável dependente para eliminar a correlação existente no termo de erro e transformá-lo em ruído branco. Em outras palavras, ele ajusta os erros para que não apresentem correlação temporal, tornando o teste mais robusto. O teste ADF abrange três possíveis especificações:

(i) Sem constante (sem drift):

(ii) Com constante (drift):

(iii) Com constante e tendência determinística (drift e trend):

É fundamental definir corretamente os termos determinísticos que influenciam a série, ou seja, determinar se ela não possui constante, possui constante ou apresenta tendência e constante. Uma especificação incorreta da série pode levar à aceitação da hipótese nula de raiz unitária, mesmo quando ela é falsa (Enders, 2008). Matematicamente, esses casos podem ser descritos pelas seguintes equações:

Caso sem constante (sem drift):

$$\Delta Y_t = \delta Y_{t-1} + \sum_{i=2}^p \beta_i \Delta Y_{t-i+1} + \epsilon_t \quad (12)$$

Caso com constante (com drift):

$$\Delta Y_t = a_0 + \delta Y_{t-1} + \sum_{i=2}^p \beta_i \Delta Y_{t-i+1} + \epsilon_t \quad (13)$$

Caso com constante e tendência determinística:

$$\Delta Y_t = a_0 + \delta Y_{t-1} + a_2 t + \sum_{i=2}^p \beta_i \Delta Y_{t-i+1} + \epsilon_t \quad (14)$$

O número de defasagens (p) na variável dependente pode ser selecionado com base em critérios de informação. No presente caso, utilizamos o Critério de Informação de Akaike (AIC)(1974), que busca minimizar o número de defasagens considerando o princípio da parcimônia. Esse critério penaliza a inclusão de termos desnecessários, equilibrando a redução do erro residual com a perda de graus de liberdade.

Após a aplicação do teste ADF, caso a série seja identificada como não estacionária e apresente raiz unitária, pode-se aplicar a diferença primeira na série temporal para torná-la estacionária. Se, mesmo após a diferenciação, a raiz unitária ainda estiver presente, o processo de diferenciação pode ser repetido até que a série atinja a estacionaridade.

APÊNDICE B

DIAGNÓSTICO DO MODELO

Teste de Ljung-Box (1978)

O teste de Ljung-Box (1978) é uma ferramenta estatística utilizada para avaliar a independência de uma série temporal, testando se há correlação serial significativa entre os seus resíduos (Ljung e Box, 1978). No contexto de modelos de séries temporais - a exemplo de aplicações utilizando ARMAX - ele é particularmente útil, pois a ausência de autocorrelação nos resíduos é um dos requisitos para que o modelo seja considerado bem ajustado.

O teste tem como hipótese nula (H_0) que todas as autocorrelações de ordem " k " dos resíduos são iguais a zero, ou seja, os resíduos são independentes. Dessa forma, fica:

1. H_0 : As autocorrelações até a ordem " k " são iguais a zero.
2. H_1 : Pelo menos uma autocorrelação é diferente de zero.

A estatística de teste Ljung-Box (1978) é calculada seguindo a equação abaixo:

$$Q = n(n + 2) + \sum_{t=1}^h \frac{\rho_t^2}{n-t} \quad (15)$$

onde:

- Q é a estatística do teste Ljung-Box (1978);
- n é o tamanho da amostra;
- ρ_t^2 é a autocorrelação amostral na defasagem t ;
- h é o número de defasagens testadas.

Além disso, sob hipótese nula, a estatística do teste segue uma distribuição qui-quadrado com graus de liberdade.

Este teste é frequentemente usado para a validação de modelos econométricos, verificando se os resíduos do modelo ajustado são "ruído branco". Caso o p -valor do teste seja menor que o nível de significância escolhido, rejeita-se H_0 e conclui-se que há evidências de autocorrelação. Dessa forma, o teste Ljung-Box é importante para assegurar a robustez na modelagem de séries temporais, prevenindo a subestimação da incerteza em previsões (Box *et al.*, 2015).

Teste de Breusch-Pagan (1979)

O teste de Breusch-Pagan (1979) é utilizado para detectar a presença de heterocedasticidade nos resíduos de um modelo de regressão (Breusch e Pagan 1979). Heterocedasticidade ocorre quando a variância dos erros não é constante, o que pode comprometer a eficiência dos estimadores de mínimos quadrados ordinários (MQO).

O teste tem como hipótese nula H_0 que os resíduos têm variância constante, ou seja, são homocedásticos. Enquanto a hipótese alternativa H_1 afirma que os resíduos apresentam variância não constante assumindo, assim, caráter heterocedástico. Assim, fica:

1. H_0 : Os resíduos têm variância constante (homocedasticidade).
2. H_1 : Os resíduos apresentam variância não constante (heterocedasticidade).

A estatística do teste é baseada na seguinte regressão:

$$e_t^2 = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + u_t \quad (16)$$

onde e_t^2 é o quadrado dos resíduos estimados da regressão original.

A estatística LM é dada por:

$$LM = n \cdot R^2 \quad (17)$$

onde:

- R^2 é o coeficiente de determinação da regressão auxiliar;
- n é o tamanho da amostra.

Sob a hipótese nula H_0 , a estatística LM segue uma distribuição qui-quadrado (χ^2) com k graus de liberdade, onde k é o número de regressores (excluindo o intercepto) na regressão auxiliar.

Este teste é comumente aplicado na análise de modelos econométricos para garantir que as inferências realizadas sejam robustas de maneira a detectar problemas de especificação que afetam a confiabilidade dos modelos (Gujarati & Porter 2003).

Teste de Durbin-Watson (1971)

O teste de Durbin-Watson (1971) é utilizado para detectar a presença de autocorrelação de primeira ordem nos resíduos de um modelo de regressão (Durbin e Watson, 1971). Ele é amplamente utilizado para avaliar se os resíduos são correlacionados.

O teste tem como hipótese nula H_0 que não existe autocorrelação nos resíduos. Enquanto a hipótese alternativa H_1 afirma que existe autocorrelação nos resíduos. Assim, fica:

1. H_0 : Não há autocorrelação nos resíduos.
2. H_1 : Há autocorrelação nos resíduos.

A estatística do teste é dada por:

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n e_t^2} \quad (18)$$

onde e_t é o resíduo estimado no tempo t .

A estatística DW varia entre 0 e 4, com os seguintes critérios de interpretação:

- $DW \approx 2$: Indica ausência de autocorrelação nos resíduos, o que é desejável em modelos de regressão. Esse valor sugere que as observações são independentes no tempo.
- $DW < 2$: Sugere autocorrelação positiva. Isso implica que os resíduos consecutivos estão positivamente correlacionados, ou seja, erros em uma direção (positiva ou negativa) tendem a ser seguidos por erros na mesma direção.
- $DW > 2$: Indica autocorrelação negativa. Neste caso, resíduos consecutivos tendem a alternar sinais (um positivo seguido por um negativo, e assim por diante).

A interpretação exata do teste depende, no entanto, de valores críticos fornecidos para diferentes níveis de significância, número de observações e variáveis explicativas do modelo. Esses valores estão tabelados em referências econométricas, como em Gujarati e Porter (2003), que sugerem o uso da tabela Durbin-Watson (1971) ou de testes alternativos (como Breusch-Godfrey, 1979) para confirmação em cenários com variáveis dinâmicas.

Existem algumas implicações práticas que podem ser extraídas do teste DW . São elas:

- DW próximo de 0 ou 4: Indica autocorrelação severa e sugere que o modelo pode não ser adequado para capturar a estrutura de dependência da série.
- Autocorrelação positiva $DW < 2$: Pode levar a estimativas ineficientes e subestimação dos erros padrão. Isso resulta em intervalos de confiança muito estreitos e estatísticas t infladas, aumentando o risco de rejeitar a hipótese nula incorretamente.
- Autocorrelação negativa $DW > 2$: É menos comum em séries econômicas, mas pode indicar que o modelo está superestimando a dependência temporal inversa entre observações consecutivas.

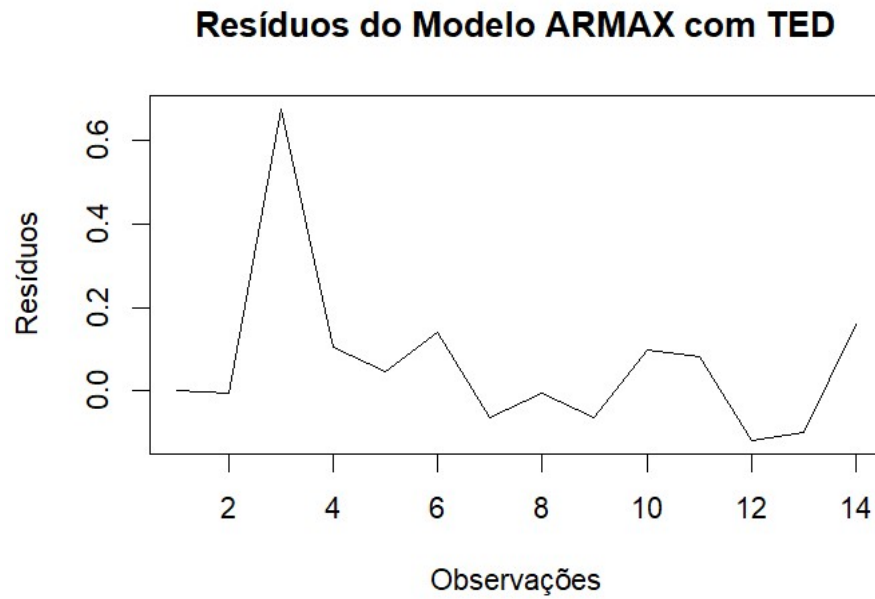
O teste é amplamente aplicado em modelos econométricos para assegurar a validade das inferências. Wooldridge (1996) reforça a importância de corrigir autocorrelação, quando presente, utilizando abordagens como estimadores robustos ou modelos dinâmicos.

APÊNDICE C

RESULTADOS

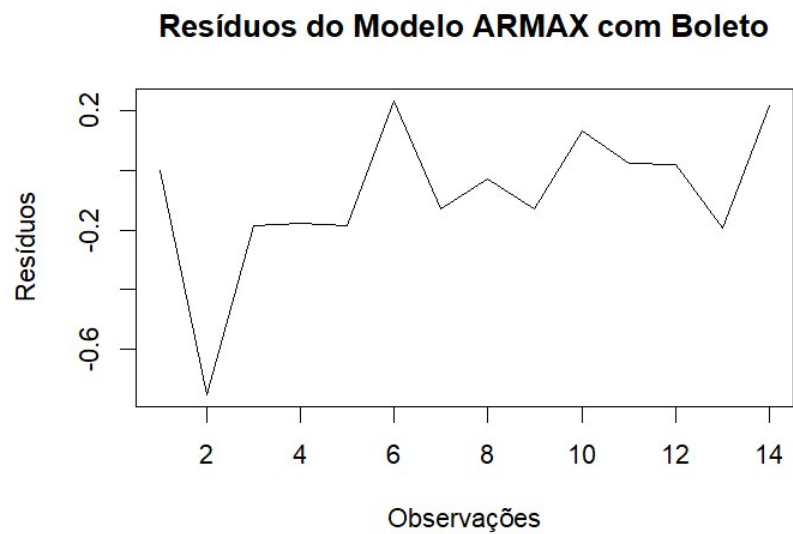
Análise de resíduos ao longo do tempo

Figura 4 - Análise dos resíduos ao longo do tempo – TED



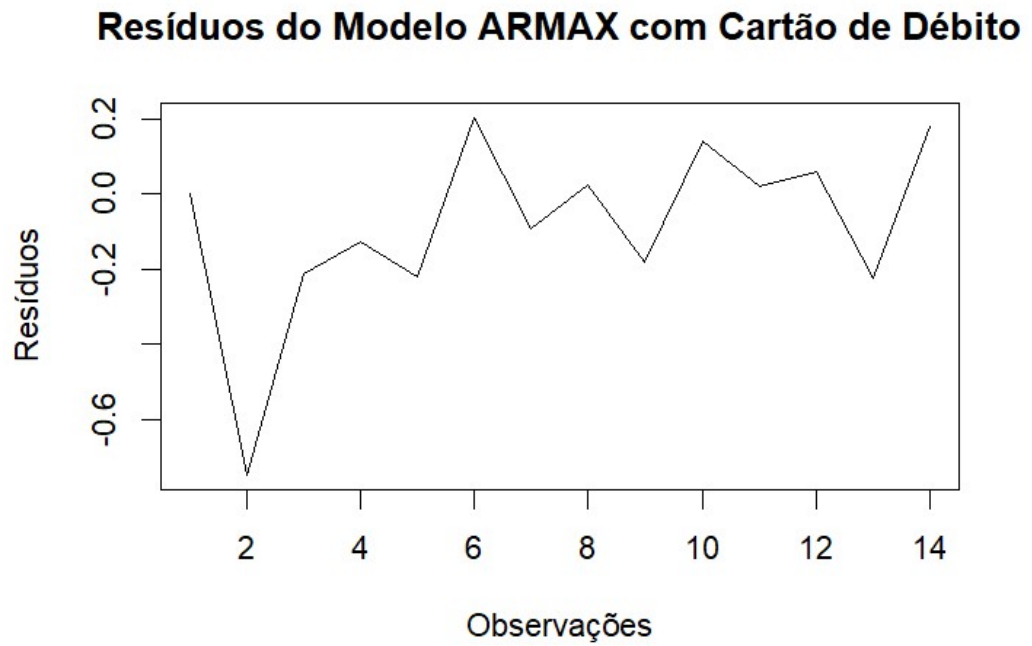
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5 - Análise dos resíduos ao longo do tempo – Boletão



Fonte: Elaborado pelo autor.

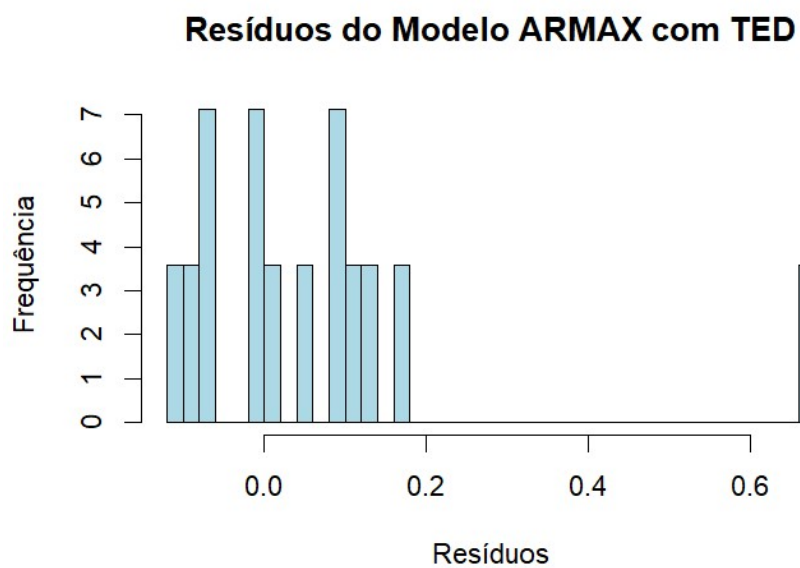
Figura 6- Análise dos resíduos ao longo do tempo – Cartão de Débito



Fonte: Elaborado pelo autor.

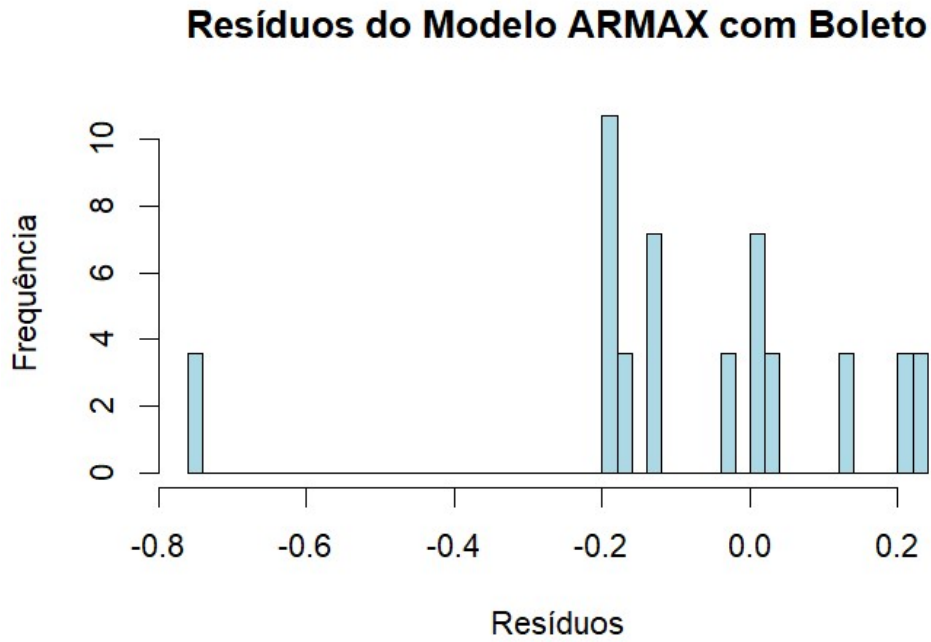
Histograma de resíduos

Figura 7 -Histograma dos resíduos - TED (Elaborado pelo Autor)



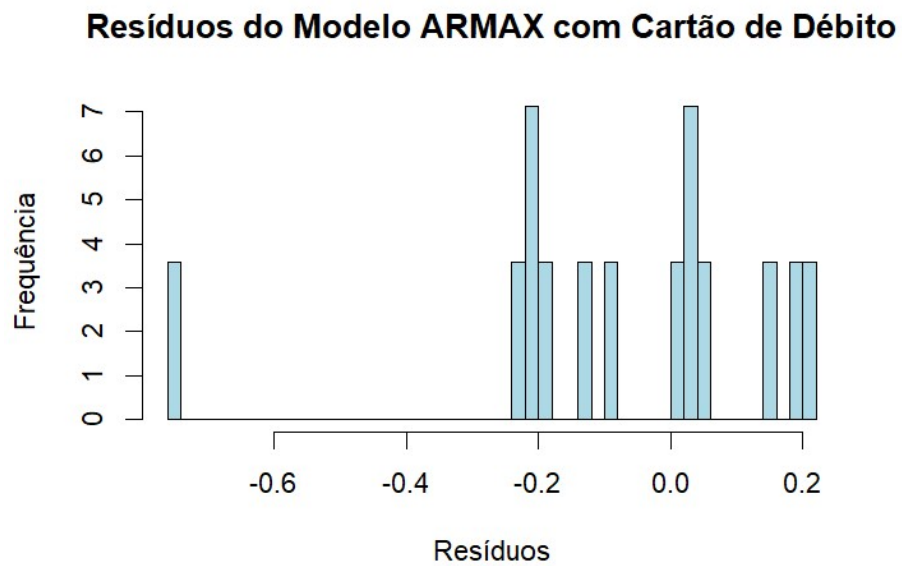
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 8 - Histograma dos resíduos – Boleto



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 9 - Histograma dos resíduos – Cartão de Débito.

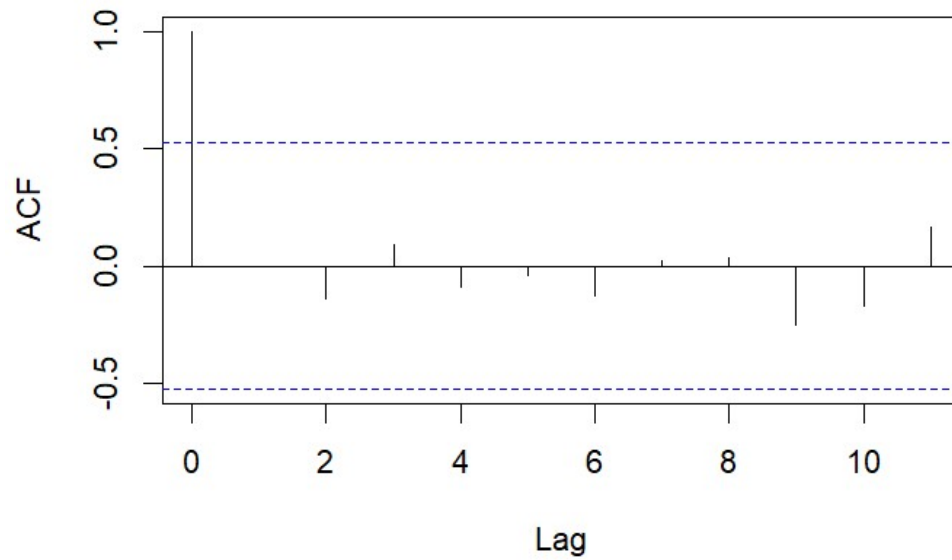


Fonte: Elaborado pelo autor.

Função de autocorrelação

Figura 10 - Função de autocorrelação – TED

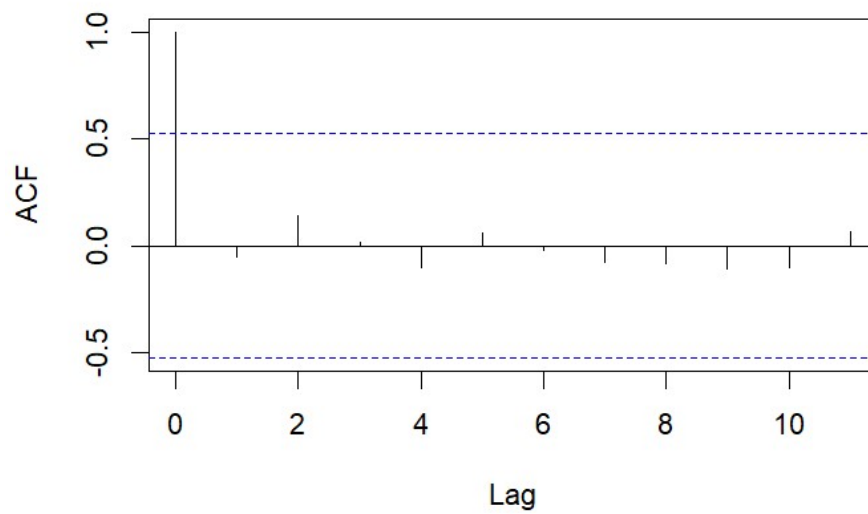
Autocorrelação dos Resíduos - TED



Fonte: Elaborado pelo autor.

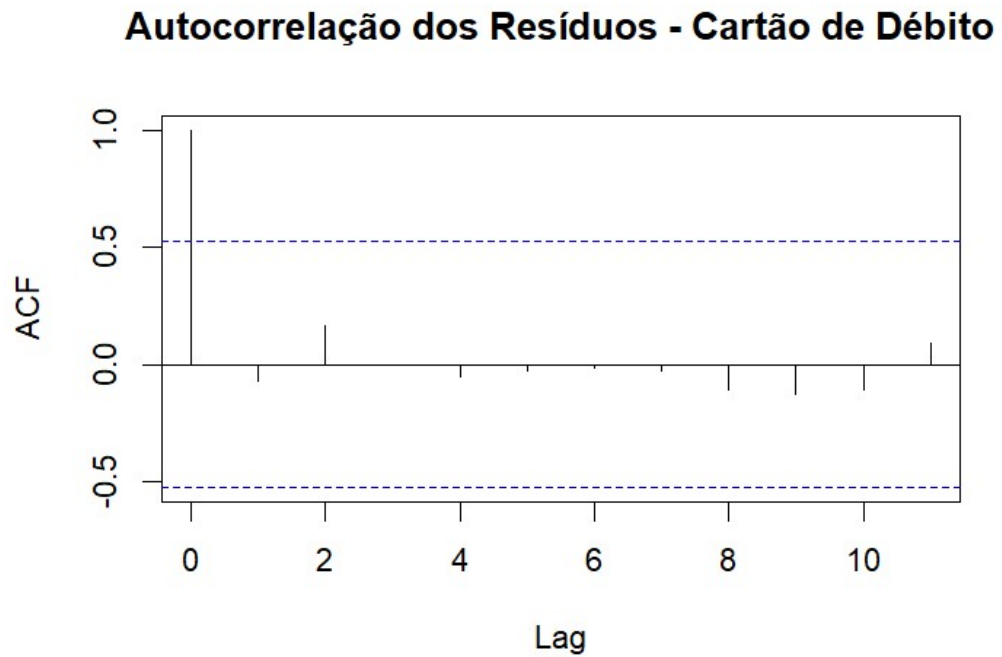
Figura 11 - Função de autocorrelação – Boletto

Autocorrelação dos Resíduos - Boletto



Fonte: Elaborado pelo autor.

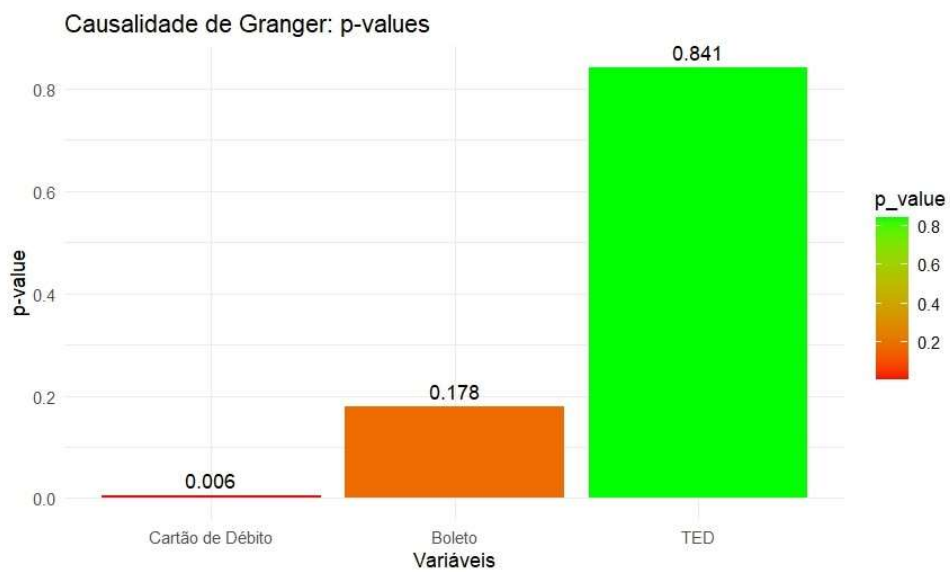
Figura 12 - Função de autocorrelação – Cartão de Débito



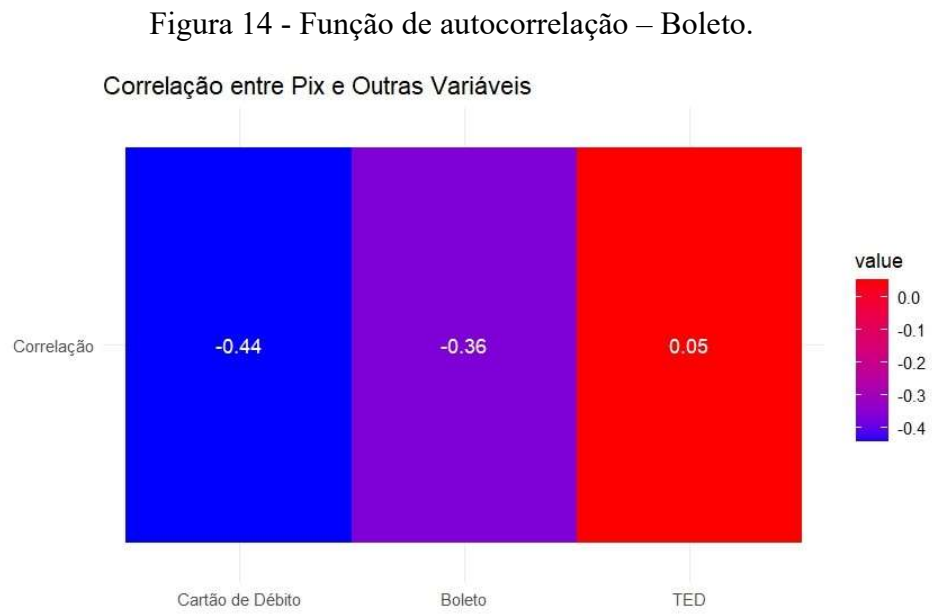
Fonte: Elaborado pelo autor.

Causalidade de Granger e correlação de Pearson

Figura 13 - Função de autocorrelação – TED



Fonte: Elaborado pelo autor.



Fonte: Elaborado pelo autor.