

Budget Digital Twin e a inovação na previsão das receitas públicas

Flávio Martins Alves

Assessor de Tecnologia da Presidência do Tribunal de Contas do Estado de Santa Catarina. Mestrando em Ciências da Informação pela UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina). MBA em Data Science and Analytics pela USP (Universidade de São Paulo). MBA em Gestão Estratégica pela FGV (Fundação Getúlio Vargas). Especialista em Gestão Financeira pela FCJ (Faculdade Cenecista de Joinville). Administrador de Empresas pela UNIVILLE (Universidade da Região de Joinville).

Resumo: O presente artigo propõe a apresentação de um modelo analítico de previsão das receitas públicas municipais, com o objetivo de qualificar a tomada de decisão dos gestores públicos por meio da produção de informações estruturadas, capazes de tornar o ciclo orçamentário mais responsivo e eficiente. A proposta fundamenta-se na utilização de séries históricas de arrecadação e na aplicação de simulações probabilísticas, por meio do método de Monte Carlo, para a identificação da trajetória estatisticamente mais provável das receitas em determinado exercício, bem como para a definição de bandas de realização. Tal abordagem é concebida como a primeira etapa para a construção de um *Budget Digital Twin* (BDT), ou Gêmeo Digital do Orçamento. O estudo aplica o modelo a seis municípios de diferentes portes populacionais, analisando a relação entre receitas previstas, receitas realizadas e projeções para exercício subsequente, confrontada com os resultados efetivamente observados. Os resultados indicam que a qualificação da fase de previsão das receitas contribui significativamente para a redução de desvios sistemáticos entre planejamento e execução orçamentária, oferecendo subsídios mais realistas à tomada de decisão fiscal. Conclui-se que a adoção de abordagens analíticas baseadas em dados históricos e simulações probabilísticas fortalece a governança fiscal e amplia o potencial de atuação preventiva e o controle concomitante dos tribunais de contas, ao mesmo tempo em que estabelece bases metodológicas para futuras extensões do modelo às demais fases do ciclo orçamentário.

Palavras-chave: *Budget Digital Twin*. Previsão de Receitas. Governança Fiscal.

Sumário: **1** Introdução – **2** Fundamentos do modelo proposto – **2.1** Definição e aplicação de bandas de realização – **2.2** Desdobramento das despesas obrigatórias com base na arrecadação – **2.3** Ajuste mensal da execução e condicionamento das despesas discricionárias – **3** O *Budget Digital Twin* (BDT) – **3.1** Camada de dados históricos – **3.2** Camada preditiva – **3.3** Camada de execução condicionada – **3.4** Camada de *feedback* e monitoramento – **4** Simulações realizadas – **4.1** Diferenças entre a previsão e a realização das receitas – **4.2** Geração das bandas de realização por meio do modelo de Monte Carlo – **4.2.1** Análise e projeção das receitas previstas e realizadas pelos jurisdicionados – **5** Análise geral dos resultados e os benefícios do BDT para os tribunais de contas – **6** Considerações finais – Referências

1 Introdução

O planejamento orçamentário no setor público brasileiro enfrenta limitações históricas de natureza técnica, institucional e normativa. A persistente desconexão entre as previsões de receitas e a efetiva execução do orçamento resulta, com

frequência, em desequilíbrios fiscais e déficits orçamentários, comprometendo a alocação eficiente dos já escassos recursos públicos.

Essa distância entre o planejado e o realizado afeta não apenas a eficiência da gestão fiscal, mas também a credibilidade do processo orçamentário perante a sociedade e os órgãos de controle. As causas desse fenômeno, por sua vez, são multifatoriais, incluindo desde restrições técnicas na elaboração das estimativas de receitas até a elevada volatilidade da arrecadação própria e das transferências constitucionais, agravadas pela rigidez das vinculações legais e pela dificuldade de ajustes tempestivos ao longo do exercício.

Como resultado, o planejamento orçamentário tende a assumir caráter meramente formal, pouco aderente à dinâmica real das finanças públicas e acaba, não raras vezes, limitando a capacidade do gestor público de implementar políticas públicas de forma contínua e sustentável.

Nesse contexto, a incorporação de abordagens analíticas baseadas em séries históricas, aliadas ao uso de métodos probabilísticos e de tecnologias emergentes, apresenta-se como alternativa capaz de qualificar a elaboração e o acompanhamento do orçamento público. A utilização sistemática de dados históricos e de técnicas de simulação permite, nesse sentido, além de ampliar a precisão das previsões de receitas, mitigar a incerteza inerente ao processo arrecadatório, oferecendo subsídios mais robustos à tomada de decisão fiscal.

Diante desse desafio, o presente artigo tem por objetivo apresentar um modelo de previsão das receitas públicas inspirado no conceito de *Digital Twin* ou Gêmeo Digital, aplicado especificamente à realidade da arrecadação municipal. A proposta consiste na elaboração de simulações probabilísticas capazes de identificar a trajetória estatisticamente mais provável da receita para um determinado exercício, a partir do comportamento histórico observado.

Para tanto, são apresentadas seis aplicações do modelo em municípios de grande, médio e pequeno porte, contemplando a análise comparativa entre receitas previstas e realizadas, bem como a simulação de cenários para exercício subsequente, confrontadas com os resultados efetivamente observados.

Diante dessa multiplicidade de entes e de contextos arrecadatórios distintos, torna-se possível avaliar o desempenho do modelo em diferentes contextos fiscais, evidenciando padrões, limitações e potencialidades da abordagem proposta.

Os resultados esperados da referida análise buscam demonstrar que a otimização da previsão das receitas constitui elemento central para o fortalecimento da gestão fiscal, ao permitir maior aderência entre planejamento e execução orçamentária. Desse modo, uma estimativa mais realista da capacidade arrecadatória amplia o espaço para decisões fiscais mais prudentes, favorecendo a continuidade das políticas públicas e a adoção de uma visão estratégica de médio e longo prazo.

O presente estudo representa, portanto, o primeiro passo para a implantação de um *Budget Digital Twin* (BDT) ou Gêmeo Digital do Orçamento, ao abordar de forma aprofundada a fase de projeção das receitas públicas. Embora o artigo se restrinja a essa etapa inicial, os resultados permitem vislumbrar, como agenda de pesquisa futura, a ampliação do modelo para outras fases do ciclo orçamentário, incluindo o detalhamento da execução da despesa e o monitoramento concomitante do equilíbrio fiscal.

Cabe destacar que o conceito de Digital Twin tem origem nos campos da engenharia e da arquitetura, nos quais o Gêmeo Digital corresponde à criação de uma réplica virtual de um sistema físico real, possibilitando simulações, análises preditivas e monitoramento contínuo de desempenho. Nesse sentido, Barachini e Stary (2022, p. 9) afirmam que “[...] originalmente concebidos como duplicatas virtuais de produtos físicos, os gêmeos digitais estão se tornando, cada vez mais, réplicas digitais de Sistemas Ciberfísicos (CPS)”.

Como destacam os autores, a versatilidade desse conceito permite sua transposição para outros domínios e, no presente artigo, pretende-se incluir o campo da gestão fiscal pública. Assim, o artigo propõe a adaptação do conceito de Gêmeo Digital ao contexto orçamentário, por meio da concepção do BDT como ferramenta analítica, preditiva e ajustável, orientada à melhoria da governança fiscal.

Com base nesse referencial, estrutura-se a fase de projeção das receitas municipais a partir de séries históricas, com a definição de bandas de realização e a utilização do método de Simulação de Monte Carlo para a construção de cenários anuais, passíveis, futuramente, de desagregação em projeções mensais ou diárias.

A metodologia adotada busca, desse modo, ampliar a precisão do planejamento, permitir intervenções preventivas e reforçar a governança fiscal local, em consonância com as atribuições dos tribunais de contas como instituições de controle externo e indutoras de boas práticas na administração pública.

2 Fundamentos do modelo proposto

A análise do comportamento histórico das receitas públicas, diante da tendência de crescimento vegetativo da arrecadação, constitui uma das formas mais eficazes para a projeção da evolução fiscal de cada ente federado.

A utilização de séries históricas como âncora preditiva oferece, portanto, a vantagem metodológica de reduzir a subjetividade na elaboração das previsões orçamentárias, abrindo, assim, espaço para o uso de ferramentas quantitativas na construção de um orçamento público eficiente.

Cabe destacar também que, em decorrência da crescente digitalização dos dados de natureza fiscal e da consolidação das bases públicas de prestação

de contas – como os dados informados aos Tribunais de Contas e ao Tesouro Nacional (Siconfi) –, as Organizações têm ampliado o seu acesso sistemático a séries históricas confiáveis, permitindo a identificação de padrões sazonais, de tendências e de desvios, que podem ser explorados por técnicas estatísticas e algoritmos de previsão.

2.1 Definição e aplicação de bandas de realização

A estimativa orçamentária tradicionalmente realizada no Setor Público, há muito tempo, não tem expressado adequadamente os riscos associados à frustração da arrecadação das receitas em oposição aquilo que Mileski (2018) afirmou ser o propósito delineado na Lei Complementar n. 101, de 2000 (Brasil, 2000), de

[...] viabilizar o alcance de um desenvolvimento sustentável, contendo normas que objetivam estabelecer uma gestão fiscal com responsabilidade, a qual deve estar dirigida por uma ação planejada e transparente, no sentido de prevenir riscos e corrigir desvios capazes de afetar o equilíbrio das contas públicas (Mileski, 2018, p. 325).

Como ressalta o autor, a sustentabilidade da gestão fiscal deveria ser produzida, então, pela utilização de metodologias adequadas, capazes de reduzir o risco de afetação da estabilidade orçamentária e financeira do ente público. E é justamente sobre a importância da escolha de tais modelos que reside a necessidade de otimização procedimental, visando impedir que eventuais limitações informacionais possam ensejar decisões equivocadas na alocação de recursos – sobretudo aquelas atreladas à (natural) instabilidade das fontes de receitas – e causar danos à gestão das políticas públicas.

Nesse diapasão, para alcançar tal objetivo, a utilização do conceito de bandas de realização apresenta-se como um método eficiente, especialmente se realizado a partir da variação histórica observada nas receitas arrecadadas.

As referidas bandas, que consistem em intervalos projetados a partir do exame histórico orçamentário, oferecem a delimitação de margens e podem ser obtidas, dentre outras soluções, por meio da utilização das Simulações de Monte Carlo.

A aplicação do referido método, diante da necessidade de utilização de soluções que dialoguem com o elevado volume informacional disponível para os entes da Federação, torna-se ferramental para o tratamento do problema em destaque, considerando o que afirmou D. James Benton (2018), ao admitir que

[...] em sistemas nos quais há incerteza quanto aos valores exatos das entradas e/ou das respostas, é comum conhecer apenas um intervalo de parâmetros e de possíveis saídas. Supõe-se, com frequência, que tais variáveis oscilem em torno de uma média, com determinada largura ou desvio padrão (Benton, 2018, p. 4).

Como se extrai do autor, esse tipo de abordagem permite capturar o risco associado à variabilidade e fornece uma base probabilística mais sólida para a tomada de decisão orçamentária e financeira.

Nesse contexto, considerando que os intervalos passíveis de serem extraídos por meio da referida análise permitem, além de prever uma tendência provável de realização, o oferecimento de uma estimativa do grau de incerteza associado à previsão, fornecendo uma régua objetiva para a calibragem orçamentária e financeira subsequente, ao longo do exercício.

A utilização do referido método é ainda mais importante em contextos em que a previsibilidade das receitas pode ser baixa e as margens de manobra financeira são estreitas, pois permite a classificação de cenários de arrecadação, estabelecendo faixas de operação que orientam a execução orçamentária ao longo do exercício.

A adoção de bandas de realização das receitas tem condições, portanto, de viabilizar a construção de alertas fiscais dinâmicos, que podem ser utilizados pelas Cortes de Contas para informar gestores, de forma concomitante, sobre a necessidade de replanejamento, de contingenciamento ou de redimensionamento das metas fiscais.

2.2 Desdobramento das despesas obrigatórias com base na arrecadação

No ordenamento jurídico brasileiro, determinadas despesas públicas são vinculadas a percentuais mínimos de aplicação sobre a arrecadação das receitas. A Constituição Federal, notadamente nos arts. 198 e 212, impõe que os municípios destinem, ao menos, 15% à saúde pública e 25% à educação da receita resultante de impostos e transferências (Brasil, 1988).

As referidas vinculações, embora visem assegurar o financiamento mínimo de direitos sociais essenciais, transformam essas despesas obrigatórias em variáveis diretamente dependentes da realização efetiva da arrecadação, e não apenas da previsão constante na LOA.

Soma-se ao desafio acima o que destaca Giacomoni (2018, p. 14), ao afirmar que “[...] boa parte das atividades estatais é do tipo ‘trabalho intensivo’ – educação, por exemplo – característica que as tornam pouco suscetíveis ao

emprego de técnicas de racionalização e de novas tecnologias que visam a diminuição de custos”.

Isso implica dizer que uma superestimação da receita pode comprometer o cumprimento dos mínimos constitucionais, ao passo que uma subestimação pode limitar a capacidade de investimento nessas áreas prioritárias, comprometendo, muitas vezes, o resultado da aplicação ao final do exercício fiscal.

Nesse contexto, o modelo ora proposto, ao utilizar a definição de bandas de realização de receita como insumo direto para a projeção dinâmica dos valores mínimos a serem aplicados, além de respeitar as exigências legais, permite ao gestor um redimensionamento automático da execução orçamentária e financeira, conforme a realização da arrecadação, seja acima ou abaixo do previsto.

Essa abordagem cria, portanto, um vínculo direto entre a realidade arrecadatória e a obrigação de gasto mínimo, promovendo maior aderência fiscal e legal às metas constitucionais. Além disso, ajusta os dados de forma real, evitando, assim, a desorientação durante a execução orçamentária anual.

Como se observa, esse mecanismo fornece, por conseguinte, insumos valiosos para os tribunais de contas, que poderão monitorar, de forma prospectiva, o nível de execução, pelos entes fiscalizados, das vinculações constitucionais, com base em dados dinâmicos de arrecadação, evitando sanções apenas reativas e fortalecendo o papel orientador do controle externo.

2.3 Ajuste mensal da execução e condicionamento das despesas discricionárias

Esse mecanismo constitui o núcleo adaptativo do modelo e tem o objetivo de oferecer maior controle, previsibilidade e alinhamento entre os compromissos assumidos e a capacidade real de pagamento do ente. Com a previsão de receitas estruturada por bandas e o desdobramento automático das despesas obrigatórias, o presente modelo sugere a aplicação de um mecanismo de ajuste mensal da execução orçamentária e financeira, que opere como uma retroalimentação contínua entre a arrecadação efetiva e a autorização de novas despesas.

Em outras palavras, a execução das despesas de livre alocação torna-se condicionada à confirmação da disponibilidade financeira real, corrigida mês a mês. Esse modelo substitui, portanto, o comportamento da execução orçamentária tradicional, em que muitas vezes se autoriza a despesa com base em previsões genéricas ou meramente formais.

O resultado estimado é a construção de uma trajetória fiscal mais eficiente e sustentável, que previne déficits orçamentários, elimina a geração artificial de

superávits por não execução de despesas planejadas e, embasado em dados vivos e projeções atualizadas a partir de métodos estatísticos sólidos, impede um comportamento fiscal reativo.

Adicionalmente, essa lógica de execução condicional tem o poder de transformar a Administração Orçamentária e Financeira ao minimizar a necessidade de contingenciamentos drásticos durante o exercício, ao estimular o planejamento realista e ao favorecer tanto o cumprimento das metas fiscais quanto a execução qualificada das políticas públicas locais.

Do ponto de vista dos tribunais de contas, o modelo favorece o controle concomitante, o que, para Mileski (2018) deve ser exercido

[...] no momento em que se realiza a atividade administrativa, acompanhando a regularidade da ação desenvolvida pela Administração Pública, com o objetivo de evitar distorções e proceder a correções imediatas, para manter a atuação pública dentro de uma continuidade de procedimentos regulares (Mileski, 2018, p. 178).

Como se extrai do autor, o referido controle, aplicado no momento adequado, permite que as cortes de contas monitorem a coerência entre o ritmo da execução da despesa e a efetiva arrecadação, emitindo alertas precoces quando forem detectadas tendências de desequilíbrio.

Isso fortalece o papel preventivo do controle, contribuindo para a responsabilização mais justa e técnica dos gestores públicos, bem como incentiva a adoção de medidas ancoradas em expectativas reais de realização orçamentária e financeira e não em percentuais correlacionados a planejamentos inexatos.

3 O *Budget Digital Twin* (BDT)

O *Budget Digital Twin* (BDT), ou Gêmeo Digital do Orçamento, em português, pode ser definido como um modelo dinâmico, interativo e sincronizado com os dados reais de arrecadação e de execução, capaz de simular comportamentos futuros e de orientar decisões em tempo real.

Em que pese as aplicações dos Gêmeos Digitais serem mais associadas ao campo da Engenharia, a proposta desenvolvida neste artigo apresenta os elementos essenciais do modelo à esfera orçamentária e financeira da Administração Pública brasileira.

A versatilidade do modelo é, inclusive, destacada por Barachini e Stary (2022, p. 19), ao afirmar que “[...] os gêmeos digitais não apenas refletem entidades físicas, mas cada vez mais encapsulam modelos comportamentais, contextuais e até mesmo emocionais de seus equivalentes no mundo real”.

Nesse sentido, no que tange ao domínio da Gestão Fiscal, sua aplicação à realidade da execução orçamentária e financeira requer, para o seu adequado funcionamento, a utilização conceitual de 4 (quatro) camadas principais, que traduzem os pilares conceituais do modelo, a saber: (i) camada de dados históricos; (ii) camada preditiva; (iii) camada de execução condicionada e (iv) camada de *feedback* e monitoramento.

3.1 Camada de dados históricos

Essa camada representa o núcleo informacional do BDT. É formada pelas séries históricas de receitas mensais, acompanhadas de dados sobre composição da arrecadação, sazonalidade, desvios médios, choques extraordinários e vinculações legais.

Conforme Barachini e Stary (2022), os gêmeos digitais dependem de capacidades de modelagem e de execução sustentadas por dados que reflitam o comportamento real do sistema. Nesse sentido, a utilização de base de dados estruturadas torna-se de fundamental importância, uma vez que esses dados alimentam os modelos preditivos e possibilitam a construção das bandas de realização, funcionando como base para todas as simulações subsequentes.

3.2 Camada preditiva

Com base na camada de dados históricos, considerando a qualidade requerida dos registros estruturados, o modelo fica habilitado para a execução de projeções para o exercício subsequente, incorporando incertezas e delimitando bandas de referência.

Segundo Barachini e Stary (2022), como estruturas preditivas, os gêmeos digitais exigem capacidades de modelagem e simulação, baseadas em dados históricos estruturados que possibilitem o espelhamento do comportamento real em tempo quase real.

Como destacam os autores, uma vez construída a base de dados necessária para o processamento das informações, surge a necessidade da realização das referidas projeções, úteis para a comparação da execução real e ajustadas em ciclos mensais, sendo que a lógica de simulação permite a geração de cenários, que apoiam o gestor na antecipação de riscos e na construção de diferentes estratégias operacionais.

3.3 Camada de execução condicionada

Em que pese essa fase não ser o foco desta obra, uma vez que está inclinada prioritariamente ao estudo das camadas de dados históricos e de predição das

receitas, cabe destacar a importância de estudos futuros relativos à camada de execução condicionada como um núcleo vital para a extensão do BDT nas suas esferas de controle e execução das despesas, o que seria possível na ampliação da granularidade dos dados associada ao efetivo detalhamento dos gastos públicos.

Nesse sentido, a camada de execução condicionada traz à luz a inteligência de controle do BDT. Nela, a execução das despesas é ajustada mês a mês, com base na distância entre a arrecadação efetiva e a projeção central.

Nessa etapa, como destacam Barachini e Stary (2022), os gêmeos digitais devem incorporar mecanismos de adaptação em tempo de execução, com o objetivo de espelhar o comportamento real e de atuar responsivamente com base em dados observados.

Dessa forma, o acompanhamento técnico-humano reveste-se de protagonismo, uma vez que, embora a realização comparada ao projetado demonstre adequadamente a situação orçamentária e financeira, os ajustes decorrentes da análise precisam ser realizados a tempo de evitar impactos fiscais ou perdas de oportunidades na disponibilização de produtos e/ou serviços à população.

Assim, uma vez realizadas as avaliações dos cenários, as despesas obrigatórias podem ser automaticamente recalculadas com base nas receitas vinculadas realizadas, enquanto as discricionárias seguem condicionadas à margem disponível, tornando o orçamento público um sistema reativo e responsivo que rompe com a rigidez tradicional do ciclo orçamentário anual.

3.4 Camada de *feedback* e monitoramento

A última camada é responsável pela retroalimentação contínua do modelo, atualizando parâmetros conforme a execução avança. Ela permite a construção de *dashboards* de monitoramento, a emissão de alertas, a avaliação da aderência entre previsão e arrecadação das receitas, com a eventual identificação de desvios críticos.

Como sugere Benton (2018), simulações robustas devem ser acompanhadas por mecanismos que avaliem continuamente a sensibilidade das variáveis e a aderência entre os resultados esperados e os observados.

Considerando o que trata o autor, essa camada possibilita, no âmbito das Cortes de Contas, o acompanhamento detalhado e dinâmico dos resultados em nível orçamentário e financeiro, além de permitir a observação da continuidade das políticas públicas, antecipando riscos e apoiando tecnicamente os jurisdicionados em relação às melhores práticas a serem adotadas de acordo com os cenários observados.

4 Simulações realizadas

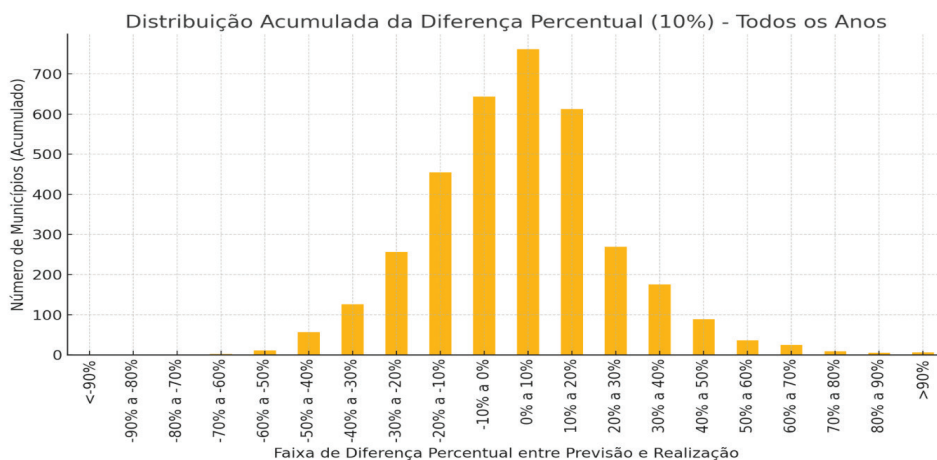
É inequívoco que a implementação computacional do BDT requer a consolidação de dados fiscais estruturados e o desenvolvimento de uma aplicação de elevada envergadura, entretanto, inobstante aos desafios do referido processo, com o intuito de demonstrar o potencial do BDT no campo das projeções das receitas, o autor deste artigo, por meio de um código desenvolvido em Python, na plataforma Visual Studio Code, propôs a apresentação de uma amostra de dados de 6 (seis) jurisdicionados.

A escolha por essa linguagem justifica-se por sua versatilidade, acessibilidade, ampla base comunitária e compatibilidade com métodos estatísticos, aprendizado de máquina e visualização de dados – todos essenciais para a construção de simulações orçamentárias dinâmicas. No que tange ao método, como já detalhado, o modelo de Monte Carlo foi a metodologia escolhida diante do volume e da característica dos dados coletados.

4.1 Diferenças entre a previsão e a realização das receitas

Para a obtenção dos registros necessários para a realização das referidas simulações, foi efetuada a extração de dados de todos os jurisdicionados catarinenses, do período compreendido entre 2012 e 2023. As informações em destaque estão disponíveis na página do Tribunal de Contas do Estado de Santa Catarina (TCE/SC) e são de amplo acesso, por meio do Serviço Farol TCESC.

Gráfico 1: Distribuição Acumulada da Diferença entre a Previsão e a Realização das Receitas entre 2012 e 2023 nas Prefeituras Catarinenses



Fonte: Elaboração Própria (2026).

Como se observa no GRAF. 1, um número expressivo dos Jurisdicionados apresentou diferenças superiores a 10% – para mais ou para menos – entre a receita prevista e a realizada no intervalo analisado. Considerando o volume de 3.550 registros avaliados, em 2.146 ocorrências, o parâmetro destacado foi extrapolado, ou seja, em mais de 60,5% das vezes a taxa de erro demonstrou fragilidades relevantes no processo de estimativa.

Nesse cenário, destaca-se 105 ocorrências em que o percentual excedente foi maior que 50%, sendo que, dessas, 22 ultrapassaram 80% de diferença entre o projetado e o realizado, o que denota um risco alarmante de desestabilização das finanças dos respectivos entes.

Diante dos dados supramencionados, é possível verificar a relevância e a urgência da adoção de mecanismos que propiciem a otimização das previsões, como forma de reduzir o grau de incerteza na gestão fiscal, bem como que auxiliem na alocação dos recursos orçamentários e financeiros.

4.2 Geração das bandas de realização por meio do modelo de Monte Carlo

Visando à geração das bandas de realização, foi efetuada uma série de projeções, utilizando, para tanto, o modelo de Simulação de Monte Carlo, em todos os Municípios catarinenses. Contudo, por razões de objetividade, apresenta-se o resultado de apenas 6 (seis) jurisdicionados, subdivididos de acordo com o volume de receitas registradas.

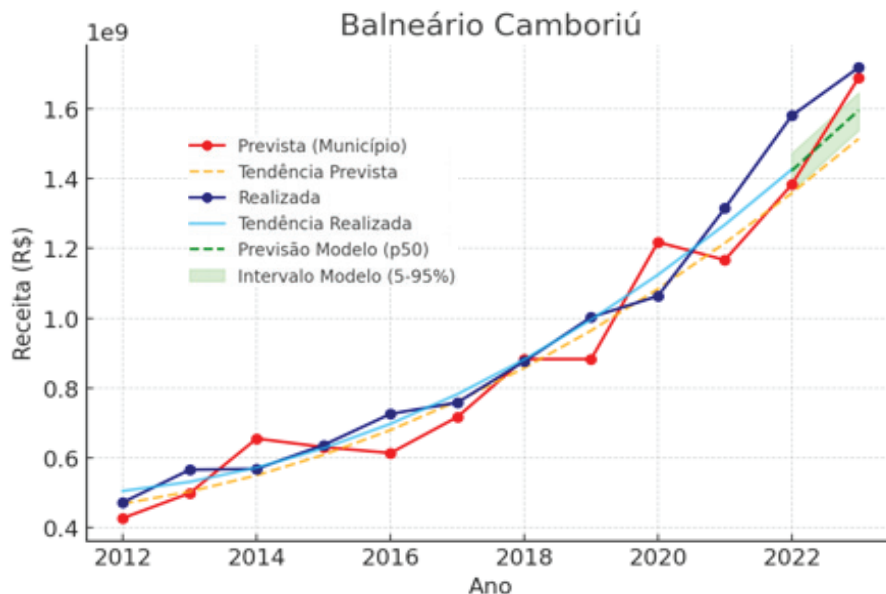
O método consistiu em verificar, em 10.000 (dez mil) simulações, quantas vezes o valor das receitas projetadas seria próximo das observações históricas, a fim de inferir qual seria o valor ideal para o exercício subsequente em torno de uma banda de realização.

Em síntese, a metodologia busca demonstrar a viabilidade de criar as referidas bandas para as simulações, destacadamente aquelas que se posicionam em volume relevante em torno da média, permitindo, assim, que o orçamento do exercício seguinte tenha uma referência adequada, uma vez comparada aos exercícios anteriores.

4.2.1 Análise e projeção das receitas previstas e realizadas pelos jurisdicionados

O primeiro Município que a projeção dos dados é apresentada é Balneário Camboriú. Para tal elaboração, foram utilizados os dados da Receita prevista e arrecadada entre 2012 e 2022, e efetuada a projeção para 2023, por meio do método de Simulações de Monte Carlo.

Gráfico 2: Receita Prevista *versus* arrecadada em Balneário Camboriú entre 2012 e 2022 e projetada para 2023



Fonte: Elaboração Própria (2026).

Como se extrai do GRAF. 2, a linha vermelha, correspondente à previsão central da receita elaborada pela própria Prefeitura, acompanha a tendência estrutural de crescimento observada na série histórica do Município de Balneário Camboriú, ainda que apresente oscilações pontuais em anos de maior volatilidade da arrecadação.

Nota-se que, até 2018, a previsão mantém trajetória próxima aos valores realizados, com leve subestimação em períodos de aceleração do crescimento. Já em 2020, a linha de previsão apresenta inflexão positiva e, embora diferente do valor efetivamente realizado, antecipa parcialmente o salto arrecadatório observado no exercício seguinte. A partir de 2021, a previsão retoma alinhamento progressivo, com a trajetória ascendente da receita, ainda assim, distante do realizado, salvo em 2023.

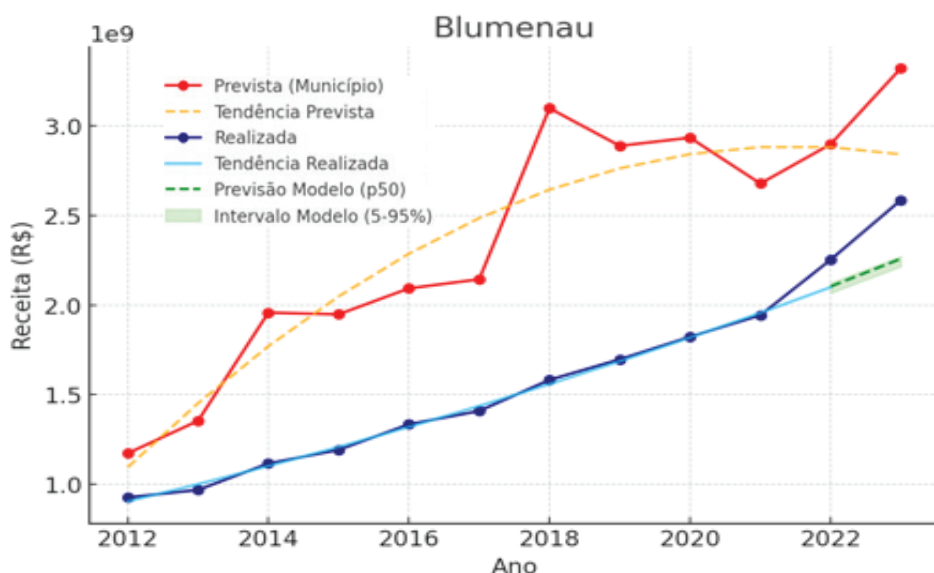
A banda verde, que representa o intervalo de projeção gerado a partir do Modelo de Simulação de Monte Carlo, envolve de forma consistente tanto a linha de previsão quanto os valores efetivamente arrecadados nos exercícios mais recentes. Observa-se que, especialmente a partir de 2021, a arrecadação realizada posiciona-se dentro da faixa probabilística projetada, evidenciando que o modelo

foi capaz de capturar a variabilidade associada a choques positivos de receita sem comprometer a coerência estatística da projeção.

A amplitude moderada da banda indica relativa estabilidade estrutural da arrecadação municipal, ao passo que sua inclinação ascendente reflete adequadamente o padrão de crescimento observado no período. Esse comportamento reforça a utilidade da Simulação de Monte Carlo como instrumento de quantificação do risco fiscal, permitindo que a execução orçamentária seja orientada não por valores pontuais, mas por intervalos probabilísticos de realização.

Desse modo, no contexto do BDT, a banda verde assume papel central como delimitadora das margens operacionais de decisão, oferecendo subsídios técnicos para ajustes mensais da execução e da mitigação preventiva de desequilíbrios fiscais.

Gráfico 3: Receita Prevista *versus* arrecadada em Blumenau entre 2012 e 2022 e projetada para 2023



Fonte: Elaboração Própria (2026).

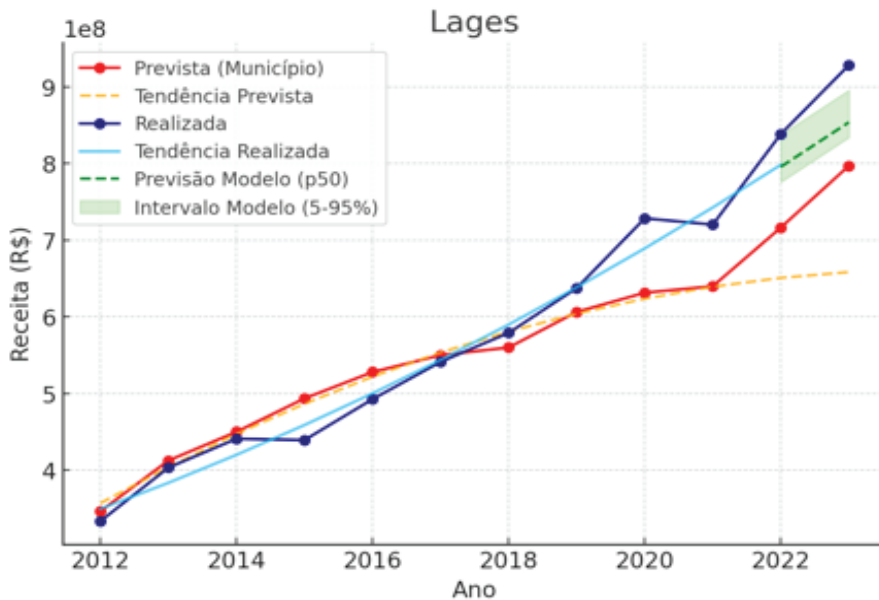
Como se extrai do GRAF. 3, a linha vermelha, correspondente à previsão da receita, apresenta comportamento bastante volátil ao longo da série. Observa-se que, a partir de 2014, a previsão passa a incorporar um ritmo de crescimento ainda mais acelerado, posicionando-se sistematicamente acima da trajetória histórica observada e desalinhada com a efetiva realização das receitas.

Em 2018, constata-se o maior descolamento entre a previsão e os valores historicamente realizados e, ainda que apresente oscilações descendentes pontuais a partir de 2021, o resultado não expressa a realidade da arrecadação Blumenauense.

A banda verde, derivada da Simulação de Monte Carlo, apresenta-se mais estreita em relação à amplitude da linha de previsão, acompanhando a trajetória de crescimento observada nos valores realizados ao longo do período. Nota-se que, a partir de 2018, a arrecadação efetiva se manteve próxima ao limite superior da faixa probabilística projetada, o que indica que o crescimento recente da receita superou o centro da distribuição esperada, sem, contudo, romper os intervalos de confiança definidos pelo modelo. Esse comportamento sugere que a banda de Monte Carlo preserva coerência estatística e fornece uma referência mais estável para a avaliação do risco fiscal.

No contexto do BDT, esse arranjo evidencia a importância da distinção entre previsão central e faixa probabilística de realização, uma vez que a banda verde cumpre o papel de delimitar margens operacionais mais realistas para uma execução fiscal prudente.

Gráfico 4: Receita Prevista *versus* arrecadada em Lages entre 2012 e 2022 e projetada para 2023



Fonte: Elaboração Própria (2026).

Como se extrai do GRAF. 4, a linha vermelha, correspondente à previsão da receita elaborada pelo Município de Lages, apresenta trajetória de crescimento relativamente linear ao longo do período analisado, com inclinação moderada e baixo grau de sensibilidade às variações mais recentes da arrecadação.

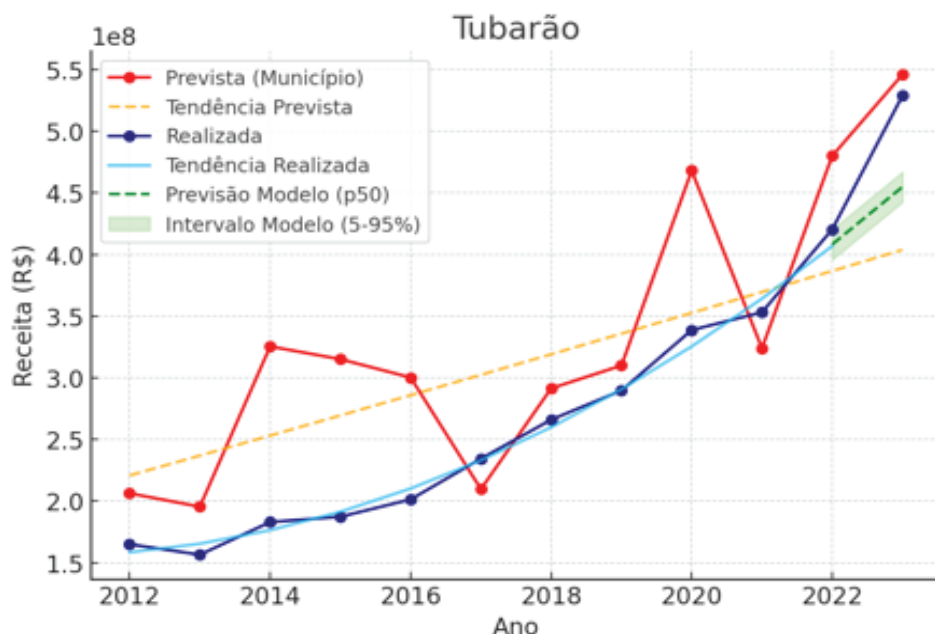
Observa-se que, até aproximadamente 2017, a previsão municipal manteve-se próxima aos valores realizados, acompanhando adequadamente a tendência histórica. A partir de 2018, contudo, a linha de previsão passou a subestimar de forma progressiva a arrecadação efetivamente realizada, evidenciando uma postura excessivamente conservadora frente à aceleração do crescimento das receitas observada nos exercícios seguintes.

Em contraste, a previsão derivada do Modelo de Monte Carlo, representada pela linha verde pontilhada, demonstra maior aderência à trajetória recente da arrecadação, posicionando-se de forma intermediária entre a tendência histórica e os valores realizados mais elevados.

Observa-se que a receita efetivamente arrecadada, especialmente nos exercícios mais recentes, situa-se próxima ao limite superior do intervalo probabilístico, sem, contudo, extrapolá-lo, o que evidencia a capacidade do modelo em incorporar a aceleração do crescimento mantendo coerência estatística.

A amplitude moderada do intervalo de confiança (5%-95%) sugere que, embora o Município apresente variabilidade arrecadatória, essa não se caracteriza por instabilidade extrema, permitindo a construção de bandas de realização operacionalmente úteis para o planejamento fiscal, sendo que, no contexto do BDT, esse comportamento reforça a superioridade de abordagens probabilísticas em relação a previsões lineares tradicionais.

Gráfico 5: Receita Prevista *versus* arrecadada em Tubarão entre 2012 e 2022 e projetada para 2023



Fonte: Elaboração Própria (2026).

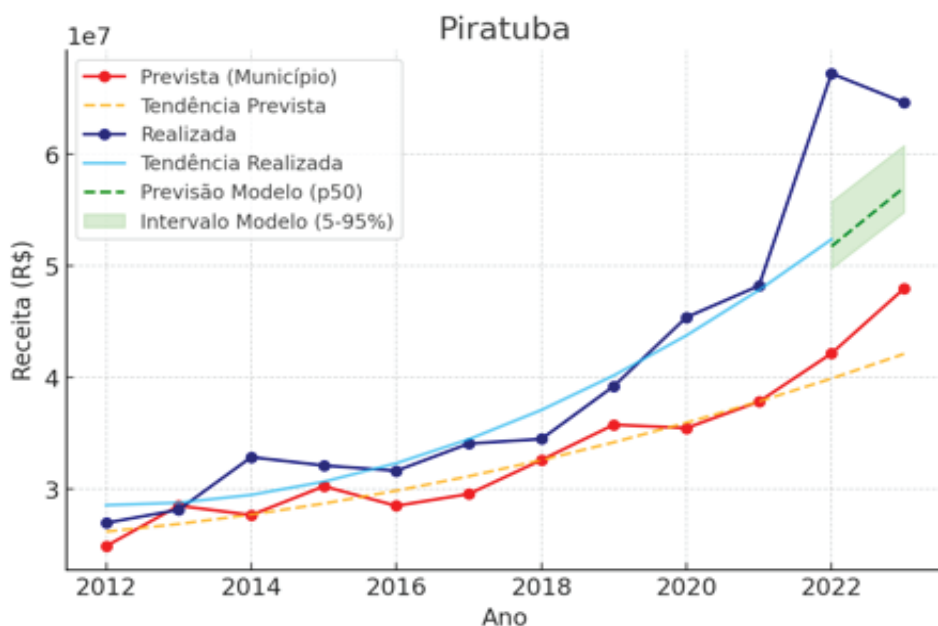
Como se extrai do GRAF. 5, a linha vermelha, correspondente à previsão da receita elaborada pela Prefeitura de Tubarão, apresenta elevada volatilidade ao longo do período analisado, com variações abruptas que não acompanham de forma consistente a trajetória efetiva da arrecadação.

Observa-se que, em determinados exercícios, como 2014 e 2020, a previsão municipal projetou saltos expressivos de receita, seguidos por revisões igualmente acentuadas em períodos subsequentes, indicando forte sensibilidade a fatores pontuais e ausência de uma âncora estrutural de longo prazo.

Em contraste, a arrecadação realizada, representada pela linha azul, exibe trajetória de crescimento mais regular e progressiva, com tendência positiva contínua a partir de 2014, ainda que sujeita a oscilações moderadas. Essa discrepância entre a volatilidade da previsão e a estabilidade relativa da realização evidencia fragilidades nos métodos tradicionais de estimativa, que tendem a reagir de forma excessiva a eventos recentes, comprometendo a previsibilidade da execução orçamentária.

A previsão derivada do Modelo de Monte Carlo, indicada pela linha verde pontilhada, posiciona-se de forma intermediária entre a tendência histórica e os valores efetivamente realizados, capturando o padrão de crescimento da arrecadação sem reproduzir os extremos observados na previsão municipal. Nota-se que a arrecadação efetiva, especialmente nos exercícios mais recentes, manteve-se próxima ao centro da faixa probabilística projetada, permanecendo integralmente contida no intervalo de confiança de 5% a 95%.

Gráfico 6: Receita Prevista *versus* arrecadada em Piratuba entre 2012 e 2022 e projetada para 2023



Fonte: Elaboração Própria (2026).

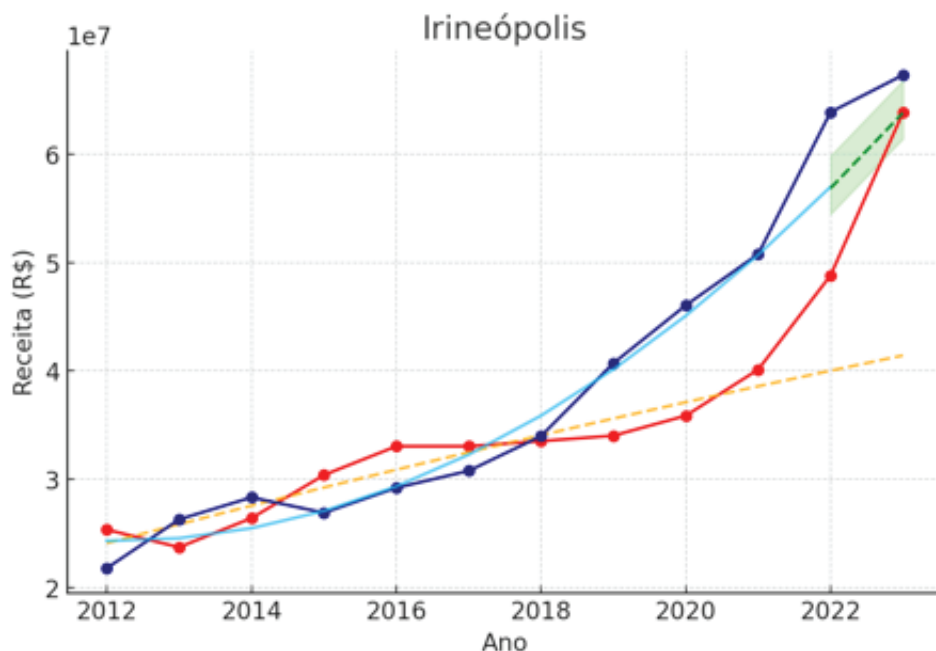
Como se extrai do gráfico, a linha vermelha, correspondente à previsão da receita elaborada pelo Município de Piratuba, apresenta trajetória de crescimento gradual e relativamente linear ao longo do período analisado, com baixa sensibilidade às variações mais acentuadas da arrecadação efetivamente realizada. Observa-se que, embora a previsão acompanhe a tendência geral de elevação da receita, ela sistematicamente se posiciona abaixo dos valores realizados, especialmente a partir de 2020, evidenciando uma subestimação recorrente da capacidade arrecadatória do Município.

Essa diferença torna-se mais expressiva nos exercícios recentes, notadamente em 2022 e 2023, quando a arrecadação realizada apresentou salto significativo, enquanto a previsão municipal reagiu de forma mais lenta e contida.

A previsão derivada do Modelo de Monte Carlo, por sua vez, representada pela linha verde pontilhada, demonstra maior aderência à trajetória recente da arrecadação, posicionando-se acima da previsão municipal e mais próxima dos valores efetivamente realizados. Observa-se que a arrecadação efetiva se situa próxima ao limite superior do intervalo probabilístico projetado, especialmente nos exercícios mais recentes, o que indica que o modelo foi capaz de incorporar a aceleração do crescimento mantendo consistência estatística.

No contexto do BDT, esse comportamento reforça a importância da utilização de bandas de realização como instrumento de gestão do risco fiscal, o que permite que a execução orçamentária seja orientada por margens probabilísticas e não por estimativas pontuais excessivamente rígidas.

Gráfico 7: Receita Prevista *versus* arrecadada em Irineópolis entre 2012 e 2022 e projetada para 2023



Fonte: Elaboração Própria (2026).

Como se extrai do gráfico, a linha vermelha, correspondente à previsão da receita elaborada pelo Município de Irineópolis, apresenta trajetória de crescimento gradual ao longo do período analisado, porém com inclinação inferior àquela observada na arrecadação efetivamente realizada a partir de 2019.

Nota-se que, até aproximadamente 2018, a previsão municipal manteve-se relativamente próxima dos valores realizados, acompanhando a tendência histórica com pequenas oscilações. A partir desse ponto, contudo, observa-se um descolamento progressivo entre a previsão e a arrecadação efetiva, evidenciando uma subestimação crescente da capacidade arrecadatória do Município.

Essa diferença torna-se mais pronunciada nos exercícios recentes, especialmente entre 2020 e 2022, quando a arrecadação realizada apresentou aceleração significativa, enquanto a previsão municipal reagiu de forma tardia e mais conservadora. Tal comportamento indica limitação dos métodos tradicionais de previsão em capturar mudanças estruturais ou choques positivos em municípios de pequeno porte, nos quais variações absolutas relativamente modestas produzem impactos percentuais expressivos.

A previsão derivada do Modelo de Monte Carlo demonstra, contudo, maior aderência à trajetória recente da arrecadação, posicionando-se entre a previsão municipal e os valores efetivamente realizados. Observa-se que a arrecadação efetiva se situou próxima ao limite superior do intervalo probabilístico projetado, sem ultrapassá-lo, o que evidencia que o modelo foi capaz de incorporar a aceleração do crescimento mantendo consistência estatística.

A amplitude relativamente ampla do intervalo de confiança (5%-95%) reflete a elevada volatilidade da arrecadação em municípios de pequeno porte, característica que reforça a inadequação de estimativas pontuais rígidas. No contexto do BDT, esse comportamento evidencia a relevância das bandas de realização como instrumentos centrais de gestão do risco fiscal, permitindo decisões orçamentárias mais prudentes e aderentes à realidade financeira efetiva.

5 Análise geral dos resultados e os benefícios do BDT para os tribunais de contas

A análise aplicada conduzida neste estudo, a partir da aplicação do conceito de BDT a municípios catarinenses com distintos portes populacionais, bases econômicas e perfis arrecadatórios, permite extrair conclusões relevantes acerca das limitações estruturais do planejamento orçamentário tradicional e das potencialidades associadas ao uso de modelos preditivos probabilísticos na gestão fiscal pública.

Os resultados observados nos casos de Balneário Camboriú e Blumenau evidenciam que, mesmo em municípios de grande porte e com bases arrecadatórias

diversificadas, as previsões tradicionais tendem a apresentar comportamentos assimétricos: ora excessivamente conservadores, ora excessivamente reativos a choques conjunturais recentes.

Em Balneário Camboriú, a previsão mostrou-se mais estável e suavizada, mas incapaz de capturar integralmente picos relevantes de crescimento. Em Blumenau, por sua vez, verificou-se maior volatilidade da previsão central, com reações mais abruptas a eventos recentes, nem sempre acompanhadas pela trajetória efetiva da arrecadação realizada. Em ambos os casos, as bandas probabilísticas geradas pelo Modelo de Monte Carlo demonstraram maior capacidade de organizar a incerteza e oferecer referências mais consistentes para a tomada de decisão orçamentária.

Nos municípios de médio porte analisados, como Lages e Tubarão, a evidência empírica revelou de forma ainda mais clara as fragilidades dos modelos tradicionais de estimativa. Em Lages, a previsão municipal apresentou caráter excessivamente linear, reagindo com atraso a uma aceleração significativa da arrecadação observada a partir de 2019, o que resultou em subestimações recorrentes da capacidade financeira do ente. Em Tubarão, por sua vez, a previsão revelou elevado grau de volatilidade, com revisões abruptas entre exercícios, contrastando com uma arrecadação realizada que seguiu trajetória de crescimento mais regular e previsível. Em ambos os contextos, a aplicação do Modelo de Monte Carlo mostrou-se capaz de fornecer uma leitura intermediária e estatisticamente disciplinada, mitigando tanto o excesso de conservadorismo quanto o excesso de otimismo presentes nas previsões pontuais.

A análise dos municípios de pequeno porte, representados por Piratuba e Irineópolis, reforça de maneira contundente a tese central deste artigo. Nesses entes, as previsões tradicionais revelaram-se estruturalmente incapazes de capturar mudanças relevantes na dinâmica arrecadatória, sobretudo em cenários de choques positivos recentes.

Observou-se subestimação sistemática da receita justamente nos períodos em que a arrecadação apresentou maior aceleração, fenômeno que, em municípios de menor escala, gera impactos percentuais expressivos e compromete tanto a execução orçamentária quanto a programação das políticas públicas. As bandas probabilísticas derivadas do Modelo de Monte Carlo, embora mais amplas e refletindo corretamente a maior volatilidade relativa desses entes, mostraram-se mais aderentes à realidade observada, oferecendo parâmetros operacionais mais adequados à gestão do risco fiscal.

De forma transversal, os resultados indicam que o principal desafio do planejamento orçamentário não reside apenas na existência de erros de previsão, mas na adoção de metodologias rígidas e determinísticas, pouco sensíveis às características estruturais de cada ente federado.

Os dados ora apresentados sugerem que, quanto menor o porte do município, maior a necessidade de modelos que reconheçam explicitamente a incerteza e que operem por meio de intervalos probabilísticos, sob pena de o planejamento se tornar excessivamente defensivo, limitando a capacidade de execução e a efetividade das políticas públicas.

Nesse contexto, o BDT apresenta-se como uma resposta metodológica consistente a tais limitações, ao substituir a lógica estática da previsão pontual por uma arquitetura dinâmica, orientada por dados históricos, por simulações probabilísticas e por mecanismos de ajuste contínuo da execução orçamentária.

Ao organizar a incerteza em bandas de realização e permitir a comparação sistemática entre previsão, realização e cenários projetados, o BDT contribui para uma leitura mais realista da capacidade financeira dos entes públicos, favorecendo decisões tempestivas e baseadas em evidências.

Essa transformação metodológica possui implicações diretas para o papel institucional dos tribunais de contas. Conforme estabelecido pela Constituição Federal de 1988 e pela Lei de Responsabilidade Fiscal (LRF), essas instituições exercem funções que transcendem a verificação formal de conformidade normativa e que abrangem, também, atribuições preventivas, orientadoras e indutoras de boas práticas na gestão fiscal.

Cabe destaque, oportunamente, para o que assevera a LRF, no art. 59, ao afirmar que compete aos tribunais de contas verificar o cumprimento das normas fiscais, com ênfase no atingimento das metas e limites legais, bem como alertar os Poderes ou órgãos quando constatadas irregularidades ou riscos iminentes.

Nesse sentido, para Mileski (2018),

[...] sendo o orçamento um instrumento de programação da ação governamental, um instrumento de execução dos planos governamentais, visando a realização dos projetos e atividades concernentes a obras e serviços, com a finalidade de alcançar a satisfação dos interesses e necessidades da comunidade, a utilização desse instrumento de exercício do poder estatal tem que estar sob controle e avaliação (Mileski, 2018, p. 277).

Como destaca o autor, essa atribuição confere às cortes de contas não apenas a prerrogativa de verificar a aderência do planejamento às normas legais, mas também a oportunidade de alertar preventivamente os gestores sobre riscos fiscais iminentes, inclusive aqueles decorrentes de desvios sistemáticos entre previsão e realização nas arrecadações.

A adoção de mecanismos de previsão de receitas pelos tribunais de contas, como o ora apresentado por meio do BDT, mostra-se plenamente coerente com esse papel institucional. O presente modelo oferece subsídios técnicos para

a construção de painéis preditivos por município, a definição de parâmetros orientativos baseados na realidade financeira consolidada de cada ente, a emissão de alertas tempestivos nos termos da LRF e a incorporação de abordagens analíticas mais sofisticadas às auditorias operacionais.

Ademais, ao permitir a disseminação de uma cultura de planejamento orientado por dados, por meio de capacitações e de orientações técnicas, o BDT contribui para o fortalecimento das capacidades institucionais dos jurisdicionados.

Esses desdobramentos favorecem a transição de um modelo predominantemente reativo de controle para um paradigma analítico, preditivo e concomitante, no qual os tribunais de contas atuam não apenas como fiscalizadores *ex post*, mas como agentes ativos na qualificação do ciclo orçamentário. Essa convergência entre inteligência fiscal, ciência de dados e função constitucional de controle representa uma oportunidade estratégica para o fortalecimento do equilíbrio fiscal, da eficácia administrativa e da legitimidade das decisões públicas.

6 Considerações finais

O presente artigo propôs a apresentação de um modelo analítico de previsão das receitas públicas municipais, concebido como a primeira etapa para a construção de um BDT, ou Gêmeo Digital do Orçamento, a partir da utilização de séries históricas de arrecadação e da aplicação de simulações probabilísticas por meio do Método de Monte Carlo.

Os resultados obtidos a partir da aplicação do modelo a municípios de diferentes portes populacionais evidenciou que a qualificação da previsão das receitas contribui de forma significativa para a redução de desvios sistemáticos entre planejamento e execução orçamentária. Observou-se, ainda, que a utilização de bandas de realização, em substituição a estimativas pontuais rígidas, permite minimizar a incerteza inerente ao processo arrecadatório e oferecer referências mais realistas à tomada de decisão fiscal.

A análise comparativa entre os municípios estudados também demonstrou que as limitações do planejamento orçamentário não decorrem apenas de fatores conjunturais ou de falhas pontuais de gestão, mas refletem, em grande medida, restrições metodológicas presentes nos modelos tradicionais de previsão.

Nesse sentido, a abordagem mostrou-se capaz de capturar padrões estruturais distintos, ajustando-se às especificidades de cada Jurisdicionado e evidenciando a importância de soluções analíticas sensíveis ao porte e à base econômica das receitas municipais.

Sob a perspectiva da governança fiscal, a adoção de modelos analíticos baseados em dados históricos e simulações probabilísticas fortalece a capacidade do gestor público de planejar com maior realismo e responsabilidade, ao mesmo

tempo que a qualificação da fase de previsão das receitas contribui para o fortalecimento do papel preventivo dos tribunais de contas, ao oferecer subsídios técnicos, ações de orientação e de indução de boas práticas.

Ressalta-se, oportunamente, que o escopo deste estudo se concentrou na fase de projeção das receitas, entendida como etapa estruturante do ciclo orçamentário, e que a eventual ampliação do modelo para as demais fases constitui agenda de pesquisa futura, a ser desenvolvida a partir das bases metodológicas aqui apresentadas.

Conclui-se, portanto, que a proposta de utilização do BDT representa avanço relevante para a qualificação do planejamento orçamentário municipal. O BDT, ao mitigar a incerteza, ampliar a transparência e oferecer referências mais aderentes à realidade fiscal, contribui para a construção de uma gestão pública mais eficiente, responsável e orientada por dados, em consonância com os princípios da Lei de Responsabilidade Fiscal e com o papel institucional dos tribunais de contas no fortalecimento da governança das finanças públicas.

Budget Digital Twin and Innovation in Public Revenue Forecasting

Abstract: This article presents an analytical model for municipal public revenue forecasting, aimed at enhancing public managers' decision-making through the production of structured information capable of making the budget cycle more responsive and efficient. The proposed approach is grounded in the use of historical revenue series and probabilistic simulations, employing the Monte Carlo method to identify the statistically most likely revenue trajectory for a given fiscal year, as well as to define revenue realization bands. This framework is conceived as the first stage in the development of a Budget Digital Twin (BDT). The model is applied to six municipalities with different population sizes, analyzing the relationship between forecasted revenues, realized revenues, and projections for the subsequent fiscal year, compared with the actual outcomes observed. The results indicate that improving the revenue forecasting stage significantly contributes to reducing systematic deviations between budget planning and execution, providing more realistic inputs for fiscal decision-making. The study concludes that data-driven and probabilistic analytical approaches strengthen fiscal governance and expand the preventive role and concurrent oversight capacity of Audit Institutions, while also establishing methodological foundations for future extensions of the model to other phases of the budget cycle.

Keywords: Budget Digital Twin. Revenue Forecasting. Fiscal Governance.

Referências

BARACHINI, Franz; STARY, Christian. *Digital Twins for Cyber-Physical Systems*. Vienna: Springer Nature, 2022.

BENTON, D. James. *Monte Carlo Simulation: a practical introduction*. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2018.

BRASIL. [Constituição (1988)]. *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 2 jan. 2026.

BRASIL. *Lei Complementar n. 101*, de 4 de maio de 2000. Estabelece normas de finanças públicas voltadas para a responsabilidade na gestão fiscal e dá outras providências. Lei de Responsabilidade Fiscal. Brasília, DF: Presidência da República, 2000. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 2 jan. 2026.

GIACOMONI, James. *Orçamento público*. 17. ed. São Paulo: Atlas, 2018.

MILESKI, Hélio. *O controle da gestão pública*. Belo Horizonte: Fórum, 2018.

Informação bibliográfica deste texto, conforme a NBR 6023:2025 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT):

ALVES, Flávio Martins. *Budget Digital Twin e a inovação na previsão das receitas públicas*. *Revista do Tribunal de Contas do Estado de Santa Catarina – RTCE/SC*, Belo Horizonte, ano 4, n. 6, p. 73-96, nov. 2025/abr. 2026. DOI: 10.52028/tce-sc.v04.i06.ART.04.SP
