

INCORPORANDO A CICLICIDADE DO PIB NA PROJEÇÃO DE TRÁFEGO: UMA ABORDAGEM INOVADORA PARA CONCESSÕES RODOVIÁRIAS

F. Rodrigues, O. B. B. Mendes, J. M. S. Lima, V. H. Uehara e I. J. A. C. Souza

RESUMO

A precisão na projeção do tráfego é crucial para o sucesso das concessões rodoviárias, com impacto direto na estimativa de receitas e no planejamento operacional. No entanto, a maioria dos modelos aplicados no Brasil desconsidera a natureza cíclica do PIB, o que resulta em estimativas imprecisas. Este estudo apresenta uma abordagem inovadora, ao propor modelos que incorporam a variabilidade cíclica e os efeitos atenuantes do PIB nas projeções de tráfego. Com base em dados históricos do PIB brasileiro e do tráfego em 20 concessões rodoviárias, dois modelos foram calibrados e aplicados para projetar o tráfego em cada concessão, com seu desempenho avaliado por meio de indicadores estatísticos. Os resultados indicam que os modelos cíclicos superam consistentemente o modelo tradicional nas concessões analisadas, sendo recomendados como alternativas para reduzir riscos econômicos e promover a sustentabilidade dessas concessões.

1 INTRODUÇÃO

As concessões rodoviárias desempenham um papel crucial no desenvolvimento da infraestrutura nacional (Garcia *et al.*, 2015), conectando pessoas, regiões e impulsionando o crescimento econômico. A viabilidade financeira dessas concessões depende, em grande parte, da precisão das projeções de tráfego, que servem como base para estimativas de receita e planejamento operacional. Essas projeções utilizam, em grande parte dos estudos, modelos econométricos em que o Produto Interno Bruto (PIB) é variável explicativa, devido à grande correlação entre esta e o tráfego (Sousa *et al.*, 2023).

Como evidenciado por Profillidis e Botzoris (2019), o planejamento do transporte depende de uma compreensão precisa das demandas futuras, que são frequentemente baseadas em projeções do PIB. Este indicador econômico é fundamental porque reflete a atividade econômica geral e, portanto, influencia diretamente o volume de bens e pessoas que precisam ser transportados. No contexto brasileiro, a economia é altamente dependente do transporte rodoviário, dado o perfil de produção do país, que inclui grandes volumes de commodities agrícolas e minerais. Assim, o PIB continuará sendo uma variável preponderante para previsões de demanda, pois ele capta as variações na atividade econômica que impactam diretamente o fluxo de tráfego nas rodovias.

Isso também é corroborado por Tjandra *et al.* (2024), que destaca a influência significativa do PIB na demanda de transporte, tanto de passageiros quanto de cargas, até 2050, especialmente nos países em desenvolvimento. Assim, o papel do PIB nas previsões de demanda de transporte rodoviário continua a ser relevante, refletindo a estreita ligação entre o crescimento econômico e a mobilidade no Brasil e em outras economias em desenvolvimento.

Por outro lado, os modelos tradicionais de projeção de tráfego frequentemente falham em capturar a natureza cíclica do PIB, levando a previsões imprecisas que podem comprometer a sustentabilidade financeira das concessões (Amorim, 2023), especialmente durante períodos de recessão ou crescimento acelerado da economia.

Os modelos tradicionais de projeção de tráfego geralmente se baseiam em técnicas estatísticas que assumem uma relação linear entre o tráfego e variáveis explicativas como o PIB. Essa abordagem simplista ignora a complexa dinâmica da economia, que apresenta flutuações cíclicas influenciadas por diversos fatores, como políticas fiscais e monetárias, choques externos e eventos geopolíticos (Fernandes Junior, 2021; Willumsen, 2014). Ao não considerar essa ciclicidade, os modelos tradicionais podem subestimar o tráfego durante períodos de crescimento econômico e superestimar o tráfego durante recessões, resultando em previsões imprecisas de receita e custos operacionais.

Outro aspecto impactado é a garantia da sustentabilidade financeira das concessões rodoviárias. Ao reconhecer que o volume de tráfego não segue um padrão linear, mas sim apresenta flutuações em conjunto com o ciclo econômico, modelos mais robustos podem ser desenvolvidos para fornecer previsões mais precisas. Essa precisão permite que as concessionárias tomem decisões mais assertivas em relação à gestão de tarifas, investimentos em infraestrutura e planejamento operacional, mitigando riscos e maximizando a rentabilidade da concessão ao longo de todo o seu ciclo de vida.

Ao desenvolver modelos dinâmicos que capturam essa complexa relação, as concessionárias podem obter previsões mais precisas de receita e custos operacionais, permitindo uma gestão de riscos mais eficaz e a maximização da rentabilidade da concessão ao longo de seu ciclo de vida. A adoção de tais práticas contribui para a viabilidade e o sucesso das concessões rodoviárias, impulsionando o desenvolvimento da infraestrutura nacional e promovendo o crescimento econômico sustentável.

Assim, este estudo propõe uma abordagem inovadora para a projeção de tráfego, utilizando equações que capturam a variabilidade cíclica do PIB. Essa metodologia visa suprir as deficiências dos modelos tradicionais, proporcionando estimativas mais precisas e adaptáveis às variações econômicas. Os objetivos principais são avaliar a viabilidade e a eficácia dos modelos cíclicos em comparação com o modelo tradicional e quantificar a melhoria na precisão das projeções de tráfego.

2 METODOLOGIA

2.1 Produto Interno Bruto (PIB)

Sabe-se que o PIB é um indicador macroeconômico que mede o valor total de todos os bens e serviços finais produzidos em um país em um determinado período, e com isso é possível medir o crescimento econômico e identificar tendências que podem afetar a economia de um país. Sabe-se ainda que, segundo Schumpeter (1982), o capitalismo é intrinsecamente instável e sujeito a ciclos de prosperidade e recessão. Ou seja, a economia de um país sofre de altos e baixos, tendo uma variação cíclica ao longo do tempo. Isso pode ser observado em países como o Estados Unidos da América (EUA) e o Brasil, como apresentado na Figura 1.

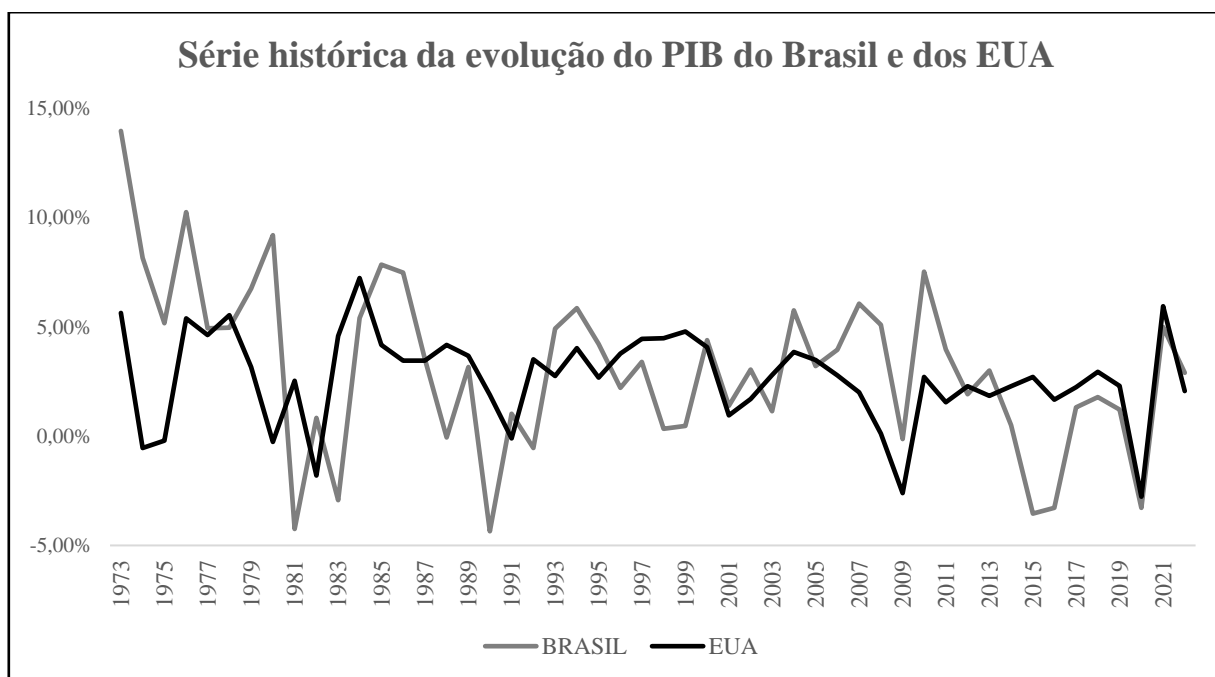


Fig. 1 Série histórica da evolução do PIB do Brasil e dos EUA

Mesmo com o PIB de cada país distinto sendo cíclico no geral, eles podem variar a depender do desenvolvimento do país. Países desenvolvidos tendem a ter a amplitude de variação menor que países subdesenvolvidos, e isso ocorre devido ao nível da estabilidade econômica da nação. A Figura 2 mostra a média da variação do PIB de alguns países desenvolvidos (EUA, Suécia, Dinamarca, Canadá e Japão), subdesenvolvidos (Serra Leoa, Ruanda, El Salvador, Zâmbia e Líbano) e os pertencentes ao agrupamento informal constituído por Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul (BRICS), que são classificados como nações em desenvolvimento.

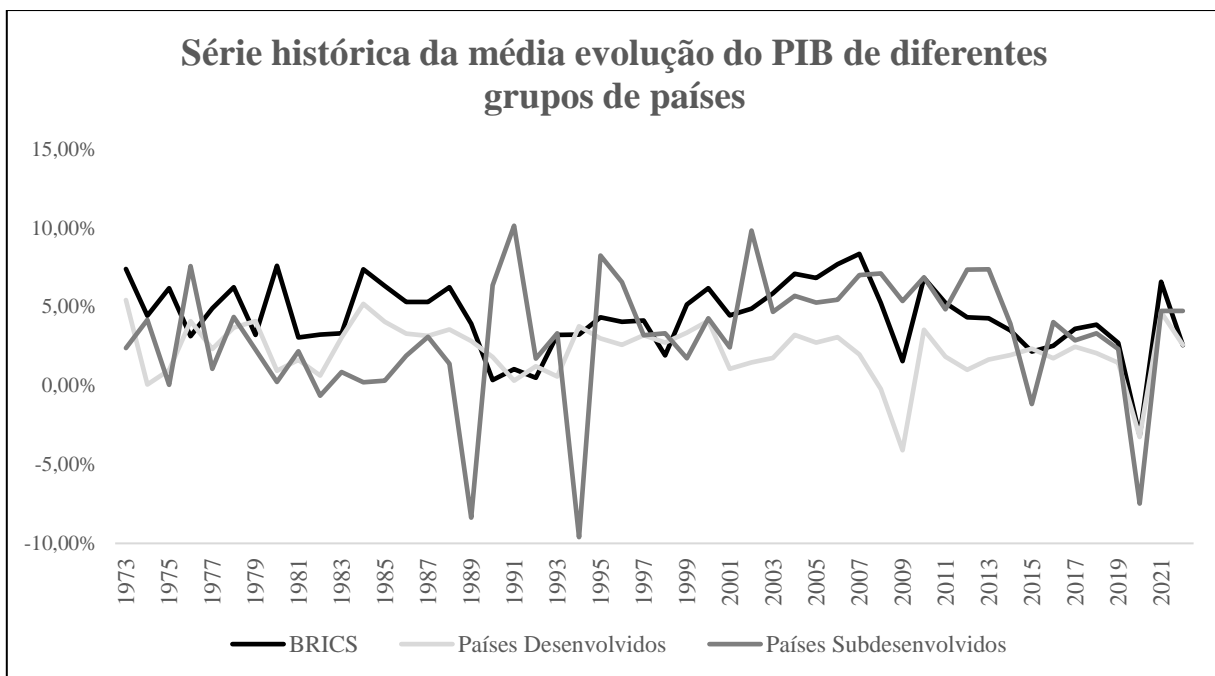


Fig. 2 Série histórica da média evolução do PIB de diferentes grupos de países

Os BRICS possuem uma amplitude de variação do PIB, ou seja, a diferença entre a maior e a menor taxa de crescimento do PIB estimada em 11,54%, enquanto essa estimativa para os países desenvolvidos é de 9,53% e de 19,75% para os países subdesenvolvido. Desta forma, pode-se perceber que os países subdesenvolvidos possuem maior amplitude de variação da taxa de crescimento do PIB, seguido dos BRICS e dos países desenvolvidos (Figura 3).

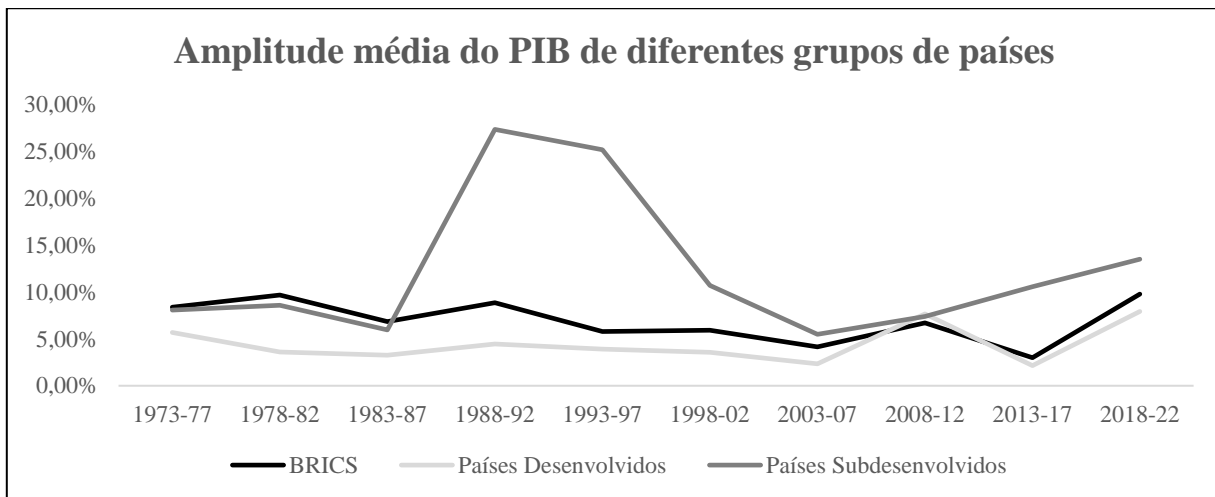


Fig. 3 Amplitude média do PIB de diferentes grupos de países para grupos de 5 anos

Pode-se afirmar, portanto, hipoteticamente, que quanto mais desenvolvido o país, menor é a amplitude da variação da taxa de crescimento do PIB e, conseqüentemente, menor a instabilidade da economia. Uma vez que países considerados desenvolvidos têm maior

estabilidade econômica e menor amplitude na variação da economia, sugere-se uma possível amortização da taxa de crescimento do PIB de um país a partir do seu desenvolvimento econômico. Ou seja, com o desenvolvimento econômico de um dado país, a amplitude da série histórica da evolução do PIB tende a reduzir, devido à sua maior estabilidade econômica.

2.2 Tráfego

O tráfego, por sua vez, também possui seus ciclos e uma relação complexa e multifacetada como o PIB. O índice criado pela Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias (ABCR), é um indicador mensal que mede o fluxo de veículos leves e pesados nas rodovias pedagiadas de sete estados brasileiros. A Figura 4 apresenta a variação deste índice ao longo do tempo e sua correlação com a variação do PIB do Brasil. A partir do gráfico é possível notar uma correlação entre os índices ABCR de veículos leves e pesados com a taxa de crescimento do PIB: nos períodos de crescimento do PIB, o índice ABCR também cresce em uma semelhante magnitude, assim como nos períodos de recessão do PIB.

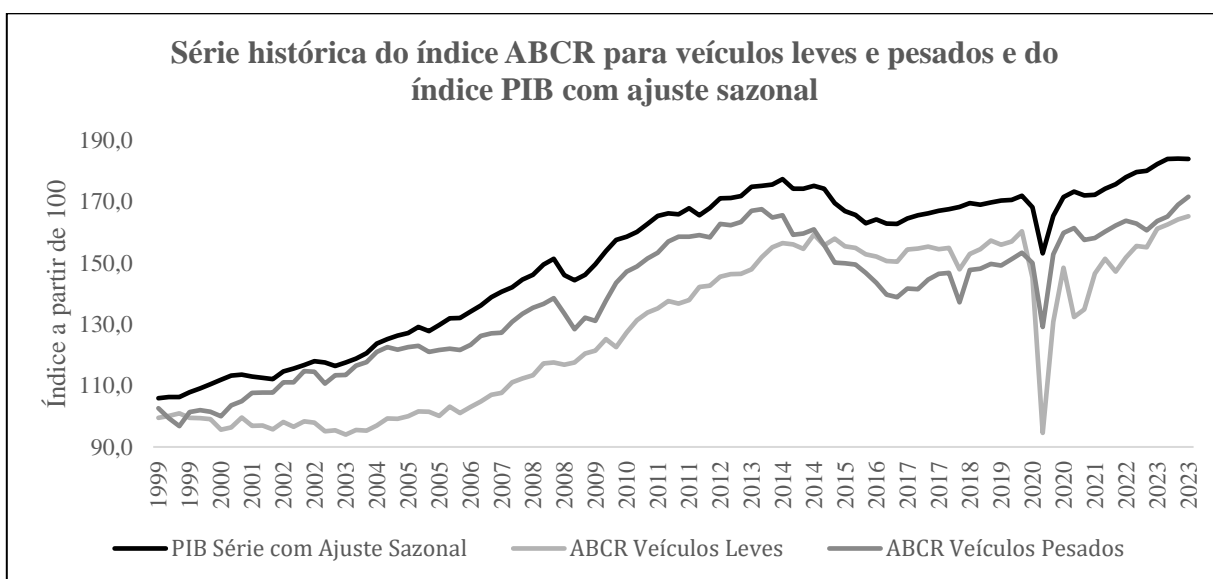


Fig. 4 Série histórica do índice ABCR e do PIB brasileiro

Além disso, a Figura 5 apresenta a correlação do índice ABCR com o PIB brasileiro, confirmada a partir do coeficiente de determinação (R^2) de 0,9563 para veículos leves e de 0,9624 para veículos pesados.

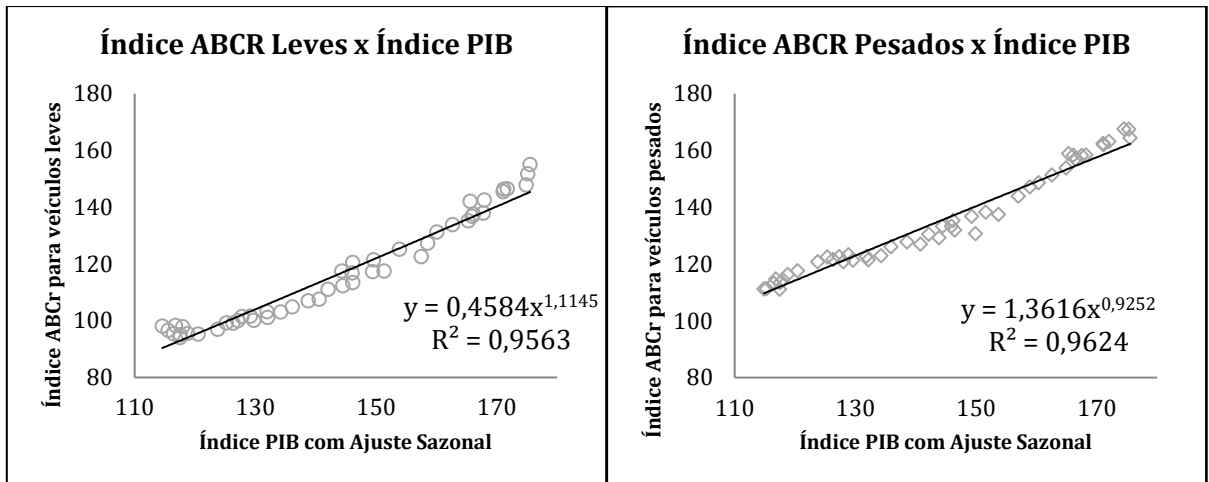


Fig. 5 Correlação do índice ABCR com o PIB brasileiro

2.3 Modelos

Conforme discutido no capítulo 2.1, o PIB tende a ter um comportamento cíclico no tempo. Visando encontrar um modelo matemático que consiga projetar esse comportamento cíclico para o futuro, foram propostos 2 modelos: senoidal e senoidal subamortecido. A calibração de cada modelo foi realizada utilizando a ferramenta Solver do Microsoft Excel e a qualidade de ajuste da curva medida através do teste de hipóteses para a menor soma de raiz quadrada dos erros quadráticos médios (RMSE).

2.3.1 Modelo senoidal

Tendo uma abordagem cíclica constante, o modelo senoidal foi proposto visando uma continuidade na amplitude da taxa de crescimento do PIB no Brasil. Neste sentido, o modelo não prevê um futuro desenvolvimento econômico nacional a ponto da amplitude da taxa de crescimento do PIB ser amortizada. A equação 1 detalha a equação base utilizada para o teste de hipóteses e Figura 6 apresenta o comportamento da curva em comparação ao PIB.

$$\delta PIB(ano) = v \cdot sen[(w \cdot ano) + x] + y \quad (1)$$

Sendo:

ano: ano a partir do ano base;

v: amplitude;

w: frequência angular;

x: deslocamento horizontal;

y: deslocamento vertical

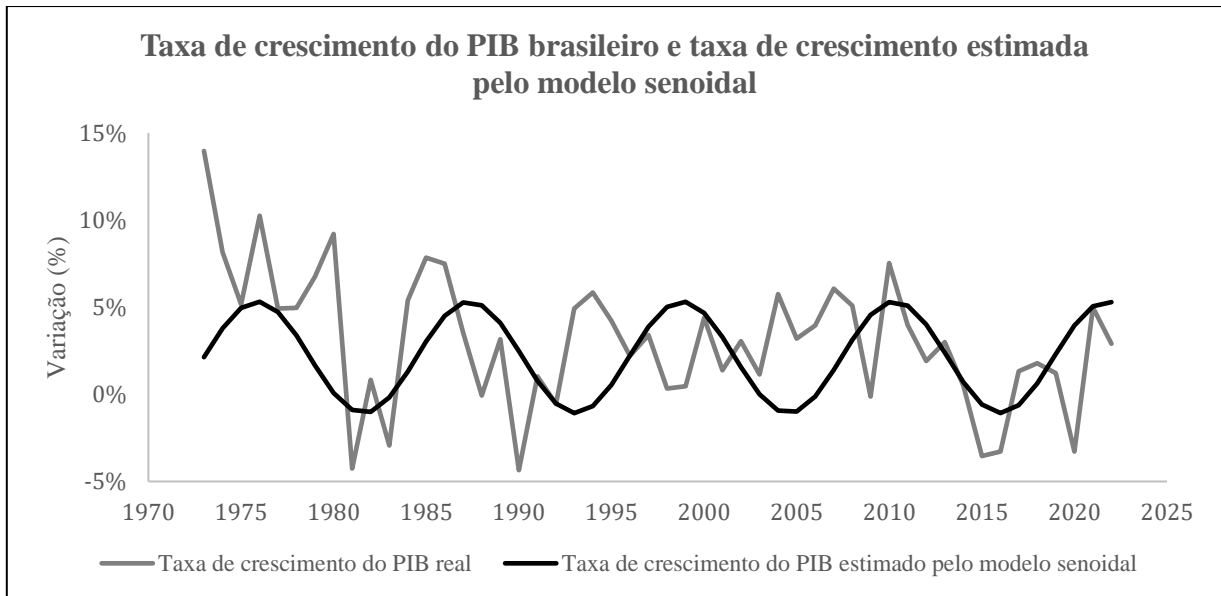


Fig. 6 Comparativo da taxa de crescimento do PIB brasileiro com a taxa de crescimento do PIB brasileiro estimada pelo modelo senoidal

2.3.2 Modelo senoidal subamortecido

Neste modelo, visa-se prever em uma possível amortização na amplitude da taxa de crescimento do PIB, conforme discutido no capítulo 2.1. Assim, o modelo subamortecido possui um termo amortecedor na equação. Desta forma, o modelo busca estimar o PIB sob uma ótica otimista de um desenvolvimento e estabilidade econômica do país a ponto de ocorrer uma amortização na amplitude da taxa de crescimento do PIB. A equação 2 detalha a equação base utilizada para o teste de hipóteses e a Figura 7 apresenta a curva em comparação com o PIB.

$$\delta PIB(ano) = (v \cdot \text{sen}[(w \cdot ano) + x] + y) \cdot e^{-z \cdot ano} \quad (2)$$

Sendo:

ano: ano a partir do ano base;

v: amplitude;

w: frequência angular;

x: deslocamento horizontal;

y: deslocamento vertical;

z: termo amortecedor.

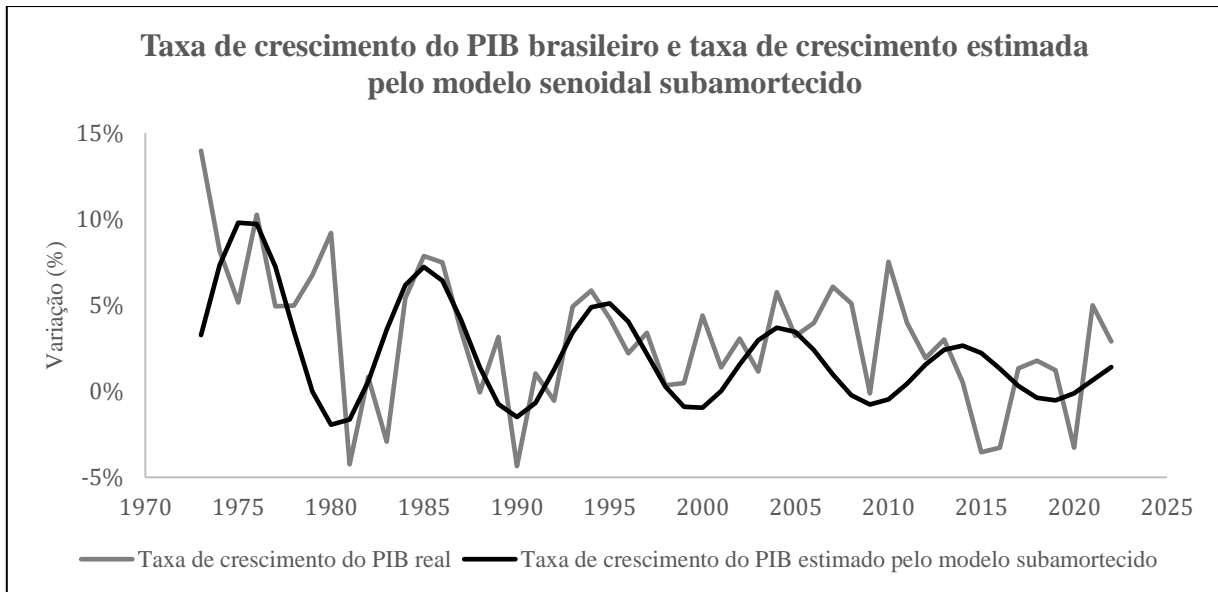


Fig. 7 Comparativo da taxa de crescimento do PIB brasileiro com a taxa de crescimento do PIB brasileiro estimada pelo modelo senoidal subamortecido

2.4 Análise de 20 Concessões Rodoviárias Brasileiras

Tendo em vista a necessidade identificar a influência da incorporação da ciclicidade do PIB na previsão de demanda de concessões rodoviárias, os dados reais como volume equivalente de tráfego observado e projetado de 20 concessões foram testados. As concessões rodoviárias utilizadas nesta pesquisa foram: Concepa, Concer, CRT, Ecosul, Nova Dutra, Fernão Dias, Autopista Fluminense, Autopista Litoral Sul, Autopista Planalto Sul, Autopista Régis Bittencourt, Rodovia do Aço e Transbrasiliana.

O volume equivalente observado (real) trata-se do volume que passou nas praças de pedágio de cada uma das concessões, enquanto o volume equivalente projetado trata-se do volume estimado pelo poder concedente no estudo de tráfego incluídos no Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental de rodovias (EVTEA) de cada uma.

3 RESULTADOS

Para as duas curvas projetadas, realizou-se testes estatísticos para encontrar a que melhor se encaixava no propósito do estudo: encontrar o modelo de projeção do PIB brasileiro mais preciso. Para isso, foram verificados em toda a série histórica projetada (Tabela 1), em comparação com o PIB real: erro médio, mediana dos erros, maior erro e RMSE.

Tabela 1 Testes estatísticos para a escolha de modelo de projeção do PIB brasileiro

Testes	Erro médio (%)	Mediana do erro (%)	Maior erro (%)	RMSE (%)
Senoidal	3,00%	2,46%	10,18%	3,84%
Senoidal Subamortecido	2,69%	1,73%	11,14%	3,69%

A partir da análise dos volumes de cada concessão e comparação destes com os projetados nos estudos, constatou-se que 40% dos estudos de tráfego (volume projetado) erraram em mais de 25% o volume total acumulado ao final da concessão, a Tabela 2 indica quantos estudos superestimaram e quantos superestimaram o volume total.

Tabela 2 Número de concessões subestimadas e superestimadas, incluindo o erro no modelo projetado no EVTEA das concessões estudadas

Erro	Até 5%	Entre 5 e 15%	Entre 15 e 25%	Mais que 25%
Subestimaram	3	0	1	4
Superestimaram	2	7	3	0
Total	5	7	4	4
% do total	25,00%	35,00%	20,00%	40,00%

As Tabelas 3 e 4 apresentam análises para os modelos senoidal e senoidal subamortecido, respectivamente. Observa-se que nos modelos propostos, pelo menos 50% acertaram a estimativa de volume, considerando aceitável o erro de até 5%.

Tabela 3 Número de concessões subestimadas e superestimadas, incluindo o erro no modelo senoidal das concessões estudadas

Erro	Até 5%	Entre 5 e 15%	Entre 15 e 25%	Mais que 25%
Subestimaram	4	2	1	1
Superestimaram	7	5	0	0
Total	11	7	1	1
% do total	55,00%	35,00%	5,00%	5,00%

Tabela 4 Número de concessões subestimadas e superestimadas, incluindo o erro no modelo senoidal subamortecido das concessões estudadas

Erro	Até 5%	Entre 5 e 15%	Entre 15 e 25%	Mais que 25%
Subestimaram	6	6	1	2
Superestimaram	4	1	0	0
Total	10	7	1	2
% do total	50,00%	35,00%	5,00%	10,00%

4 DISCUSSÃO

O erro na previsão de tráfego representa cerca de 20% do risco associado aos contratos de concessão. Em alguns casos no Brasil, como na rodovia MG-050, o governo compartilha esse risco com o concessionário quando a diferença entre o volume de tráfego real e o projetado excede 10%. Isso evidencia que o compartilhamento de riscos entre governo e concessionário é cada vez mais crucial para garantir o equilíbrio econômico-financeiro dos contratos.

Nos resultados analisados, constatou-se que aproximadamente 60% dos estudos de tráfego apresentaram uma margem de erro superior a 15%, enquanto essa discrepância ocorre em apenas 15% dos casos com o uso dos modelos propostos. Dessa forma, os modelos sugeridos podem promover o desenvolvimento de cenários que considerem a ciclicidade do PIB, integrando esses elementos na análise de risco dos estudos de viabilidade técnica.

A partir dos resultados apresentados, é perceptível que a adoção de um modelo que prevê o PIB de forma cíclica possui uma maior aderência com a realidade. No entanto, é importante ressaltar que os dois modelos propostos foram obtidos e comparados a partir de dados já existentes. Assim, é esperado que os resultados obtidos tenham melhor desempenho do que os modelos utilizados nas concessões rodoviárias, visto que estas tinham que, de fato, prever o crescimento do PIB futuro.

Sugere-se, portanto, a aplicação dos modelos propostos em estudos de viabilidade técnica e a sua comparação com o modelo econométrico clássico. A aplicação dos modelos propostos pode ser realizada de forma calibrada, dada a natureza cíclica dos modelos. Neste sentido, é possível realizar uma calibração dos modelos no que tange a projeção futura próxima a partir dos termos da sua equação que se referem ao deslocamento horizontal. Assim, se existem estimativas otimistas do mercado para a economia nacional para os próximos anos, é possível deslocar as curvas dos modelos a fim de se obter um início crescente, por exemplo.

5 CONCLUSÃO

Pode-se concluir, com base nos resultados apresentados, que os estudos de tráfego possuem uma tendência de superestimação do volume de tráfego, gerando assim um otimismo em relação à realidade. Os modelos propostos sugerem a adoção da ciclicidade do PIB para as projeções de futuras concessões rodoviárias. A adoção de modelos cíclicos na projeção de tráfego pode melhorar significativamente a precisão das estimativas, reduzir riscos econômicos e contribuir para a sustentabilidade das concessões rodoviárias.

As percepções fornecidas são valiosas para o poder concedente, empresas em licitações de concessões e formulação de políticas públicas no setor de infraestrutura de transporte. Recomendações derivadas do estudo incluem a adoção imediata de modelos cíclicos em novos contratos de concessões rodoviárias, a revisão dos modelos existentes incorporando a natureza cíclica do PIB, e a realização de estudos adicionais para avaliar o desempenho desses modelos em contextos internacionais.

6 REFERÊNCIAS

Amorim, F. A. (2023). O viés do otimismo em concessões rodoviárias: evidências, causas e soluções. [Monografia (Especialização em Controle da Desestatização e da Regulação)]. **Instituto Serzedello Corrêa**, Escola Superior do Tribunal de Contas da União.

Garcia, S., Vicens-Salort, E., & Nääs, I. A. (2015). Investimentos em Transporte Intermodal no Brasil Poderia Beneficiar o Crescimento Do PIB. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering** v, 9(1), 90–98.

Leomar Fernandes Junior, J. (2021). O Impacto Econômico e Social dos Investimentos do Programa Federal de Concessões Rodoviárias no Estado de Santa Catarina. **9º Congresso Luso-Brasileiro Para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável**.

Profillidis, V.A. and Botzoris, G.N. (2019) ‘Transport Demand and Factors Affecting It’, in *Modeling of Transport Demand*. **Elsevier**, pp. 1–46.

SCHUMPETER, J. A Teoria do Desenvolvimento Econômico. São Paulo: Abril Cultural, 1982. **Coleção Os Economistas**.

Sousa, H. V. D., Magalhães Júnior, A. M., Sousa, Í. V. D., Silva, A. L., Gontijo, M. R., De Jesus, K. W., Barbosa, V. P., & Fonseca, R. S. (2023). O impacto do PIB e do investimento em infraestrutura rodoviária na produção de caminhões no Brasil: análise de 1995 a 2022. **Revista de Gestão e Secretariado** (Management and Administrative Professional Review), 14(10), 16876–16883.

Tjandra, S. *et al.* (2024) ‘Model-based analysis of future global transport demand’, **Transportation Research Interdisciplinary Perspectives**, 23.

The World Bank 2023, **The World Bank**, acessado em 23 outubro 2023, <https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=2&series=NY.GDP.MKTP.KD.ZG&country=#>

Willumsen, L. (2014). **Better Traffic and Revenue Forecasting** (Maida Vale Press, Ed.).