

# XXII SITRAER 2025

## Simpósio de Transporte Aéreo



---

### ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS PARA A PREVISÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM VOOS DOMÉSTICOS NO BRASIL

Jovanna Pinheiro Ferreira<sup>1</sup>, Bruno de Athayde Prata<sup>1</sup>, Viviane Adriano Falcão<sup>2</sup>, Hélio da Silva Queiroz Júnior<sup>2</sup>

1. Universidade Federal do Ceará (UFC)

2. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

\* Corresponding author e-mail address: baprata@ufc.br

---

**PAPER ID: SITXXX**

#### ABSTRACT

O consumo de combustível na aviação civil é um dos fatores que mais impactam o meio ambiente. Este trabalho propõe um modelo de séries temporais para a previsão do consumo de combustível em voos domésticos no Brasil, analisando padrões, sazonalidades e impactos de eventos externos, como a pandemia de COVID-19. Utilizou-se a biblioteca Prophet para modelagem preditiva, incluindo feriados nacionais e eventos especiais. Os resultados evidenciam quedas significativas no consumo em 2020, recuperação parcial em 2021, e uma previsão de crescimento estável nos próximos meses. O estudo contribui para decisões mais eficazes e sustentáveis no setor aéreo.

**Keywords:** consumo de combustível; séries temporais; aviação civil; previsão; Prophet.

#### GENERATIVE AI USAGE STATEMENT

This research did not use generative AI.

**PAPER ID: SITXXX**

## **ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS PARA A PREVISÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM VOOS DOMÉSTICOS NO BRASIL**

### **1 INTRODUÇÃO**

O setor de transporte aéreo representa uma das engrenagens fundamentais da economia moderna, sendo responsável por conectar regiões, viabilizar o turismo, dinamizar o comércio e facilitar o intercâmbio cultural e profissional. No entanto, sua relevância econômica contrasta com o impacto ambiental associado ao elevado consumo de combustíveis fósseis. Segundo Mazraati e Faquih (2008), a aviação consome cerca de 12,7% do petróleo destinado ao setor de transportes, com uma taxa média de crescimento do consumo de 2,32% ao ano entre 1995 e 2004.

A crescente demanda por transporte aéreo, impulsionada pelo crescimento econômico e pela urbanização, tem elevado o consumo de combustível na aviação a níveis preocupantes, especialmente no que se refere à sustentabilidade e à gestão de custos. Chai et al. (2014) destacam que o crescimento acelerado da aviação na China levou a um aumento expressivo no consumo de combustível. Já na África do Sul, Boshoff (2012) observa que a renda é o principal fator explicativo da demanda por combustível de aviação, superando significativamente a sensibilidade ao preço.

No contexto brasileiro, segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2025), a aviação doméstica responde por 4,9% das emissões do setor de transportes, sendo o uso de combustíveis sustentáveis apontado como medida fundamental para atender aos compromissos climáticos assumidos no Acordo de Paris. Essa conjuntura torna cada vez mais essencial a análise dos padrões de consumo de combustível no setor aéreo, tanto sob o ponto de vista econômico quanto ambiental.

A literatura internacional demonstra que a previsão da demanda de combustível na aviação tem sido tradicionalmente conduzida por meio de modelos econométricos e técnicas de séries temporais. A análise de séries temporais é um ramo da estatística aplicada — atualmente também incorporado ao campo da inteligência artificial — que busca estudar o comportamento de uma variável ao longo do tempo. Conforme destaca Hamilton (2020), “um determinado fenômeno pode ser monitorado durante um período de planejamento com o objetivo de identificar e avaliar suas componentes: tendência (como crescimento, decréscimo ou estabilidade), sazonalidade e aleatoriedade”. Existem diversas técnicas aplicáveis a esse tipo de análise, como os métodos ARIMA, SARIMA ou Holt-Winters.

Mazraati e Alyousif (2009) indicam que, embora a eficiência no consumo de combustível esteja aumentando, sua elasticidade-preço permanece baixa — o que reforça a necessidade do uso de modelos mais sofisticados para previsão de demanda, especialmente em países em desenvolvimento, como o Brasil.

Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo analisar e prever o consumo de combustível em voos domésticos no Brasil, com base em dados públicos disponibilizados pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). O conjunto de dados abrange o período de 2000 a 2024, e a abordagem metodológica emprega técnicas de séries temporais com uso do algoritmo Prophet, com o intuito de identificar padrões sazonais, tendências de longo prazo e os impactos de eventos externos, como a pandemia de COVID-19 e feriados nacionais.

A proposta é oferecer subsídios técnicos que possam contribuir para políticas públicas e decisões estratégicas voltadas à eficiência operacional e à sustentabilidade ambiental no setor aéreo brasileiro.

A aplicação do algoritmo Prophet neste estudo visa preencher uma lacuna metodológica na literatura ao propor uma abordagem ainda pouco explorada no contexto nacional. O método, desenvolvido pela empresa Meta (Facebook), apresenta vantagens notáveis. Segundo Taylor e Letham (2018), o Prophet oferece flexibilidade, permite medições com espaçamento irregular sem necessidade de interpolação de dados faltantes, facilita o ajuste do modelo e permite ao analista configurar parâmetros para impor premissas ao processo preditivo.

O sistema de previsão desenvolvido pelo Facebook combina um modelo de regressão modular, ajustável e eficaz, com parâmetros padrão, e um mecanismo de monitoramento que avalia continuamente a precisão das previsões. Essa abordagem escalável possibilita que diferentes analistas realizem previsões confiáveis e eficientes para uma ampla variedade de séries temporais.

## **2 METODOLOGIA**

A metodologia da pesquisa foi baseada no estudo de Shearer (2000), que embasa a utilização de técnicas de mineração de dados para a resolução de problemas em ambientes industriais e de serviços, tendo foco na análise de séries temporais para a previsão do consumo de combustível na aviação doméstica. As etapas da metodologia adotada são listadas a seguir:

### **2.1. PREPARAÇÃO DOS DADOS**

Esta etapa envolveu a seleção de bancos de dados, coleta de dados, pré-processamento e formatação dos dados. O pré-processamento consistiu na limpeza dos dados, padronização e agregação mensal do consumo para criar a série temporal. No entanto, os objetivos podem não ser alcançados sem uma preparação de dados adequada.

### **2.2 AVALIAÇÃO DOS DADOS**

Nesta fase, aplicamos técnicas de estatística descritiva e análise exploratória para compreender o comportamento da série temporal. Essa avaliação inicial permitiu identificar padrões como a sazonalidade mensal (picos em meses de férias), a concentração do consumo em determinadas regiões (Sudeste) e em companhias aéreas (LATAM, Azul, GOL), fornecendo contribuições analíticas essenciais para a modelagem.

### **2.3. MODELAGEM PREDITIVA**

Utilizando o modelo de análise de séries temporais Prophet, avaliamos o comportamento do consumo de combustível ao longo do tempo (2000-2024). O modelo foi escolhido por conta de sua capacidade de decompor a série em componentes que se complementam, como tendência (o crescimento a longo prazo), sazonalidade (padrões anuais e mensais) e eventos (como a pandemia da COVID-19). Para validarmos a precisão do modelo, os dados foram divididos em conjuntos de treino e teste, e as previsões foram comparadas com os valores reais para calcular as métricas de erro.

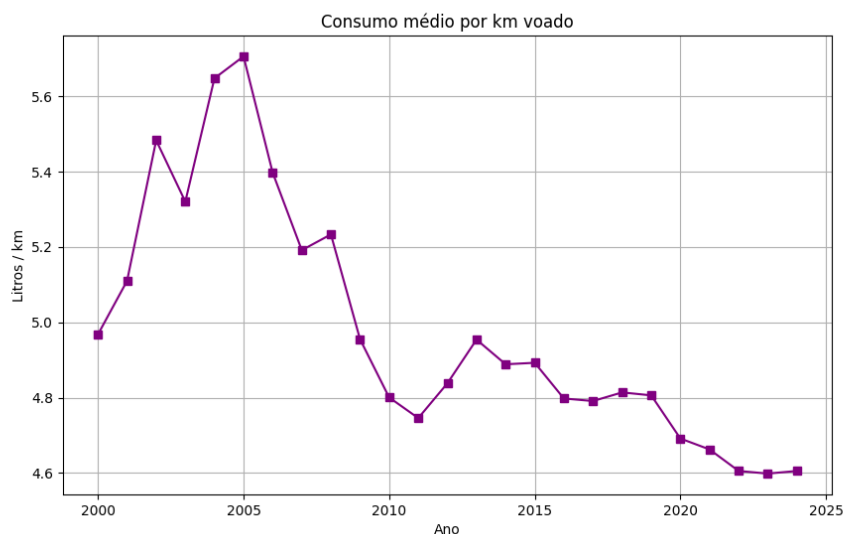
### **2.4. APRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO**

Nesta fase, os resultados da modelagem preditiva foram apresentados e discutidos. As métricas de erro, como o Erro Absoluto Médio (MAE) e o Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE), foram utilizadas para validar a confiabilidade do modelo. A conclusão destaca as principais contribuições analíticas obtidas com as projeções futuras, mostrando como a análise de séries temporais pode ajudar na tomada de decisão estratégica no setor aéreo.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

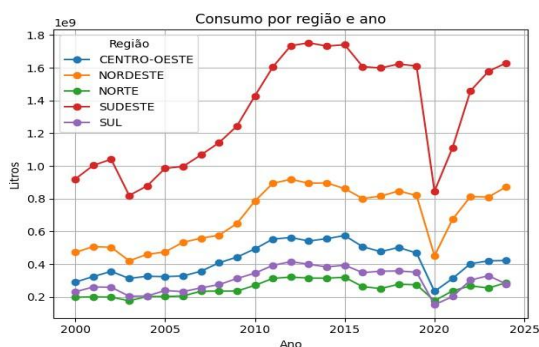
#### 3.1. ANÁLISE EXPLORATÓRIA

Para entender o comportamento do consumo de combustível em voos domésticos no Brasil, foram feita uma análise exploratória dos dados. A Figura 1 apresenta o consumo médio de combustível por quilômetro voado, pode-se perceber que houve um crescimento entre 2000 e 2005, posteriormente só decresceu, indicando a eficiência operacional ao longo do tempo. Essa diminuição também pode ter sido causada pelo das aeronaves mais modernas seriam mais eficientes (Domingos et al. 2025), ou seja, despediam menor volume de combustível, demonstrando que a indústria aeronáutica também estava preocupada com as questões ambientais.

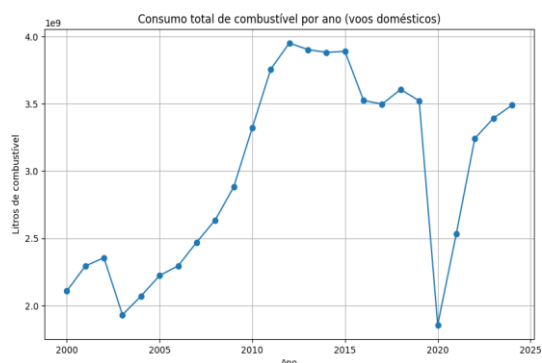


**Figura 1:** Consumo médio de combustível por quilômetro voado.

As Figuras 2 e 3 mostram respectivamente a distribuição do consumo de combustível por região ao longo dos anos e o consumo total anual de combustível para voos domésticos. O consumo por região traz que a região sudeste é que consome mais combustível seguida pelo Nordeste, ficando a região norte em último lugar, sendo essa também a que menos sentiu o impacto da pandemia. No consumo total por ano nos voos domésticos evidencia-se as tendências gerais e o impacto da pandemia em 2020.



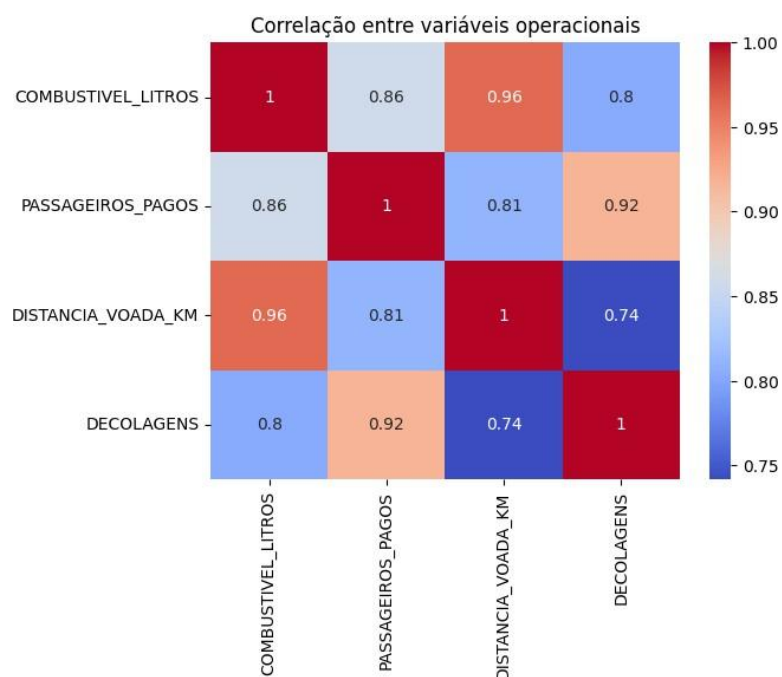
**Figura 2:** Consumo de combustível por região ao longo dos anos



**Figura 3:** Consumo total anual de combustível para voos domésticos

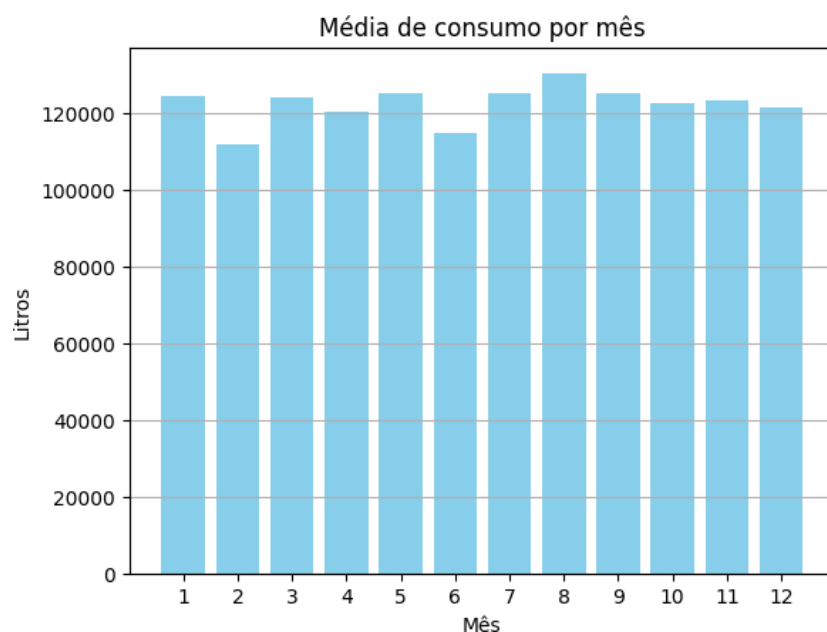
### 3.1.1 Correlação entre Variáveis

Com o intuito de verificar a correlação entre variáveis, foi elaborada uma matriz entre as variáveis operacionais como número de decolagens, passageiros e distância percorrida. A Figura 4 traz que o consumo de combustível em litros está bem correlacionado aos passageiros pagos e ao número de decolagens e extremamente correlacionada a distância voada em quilômetros o que já era esperado.



**Figura 4:** Matriz de correlação entre variáveis.

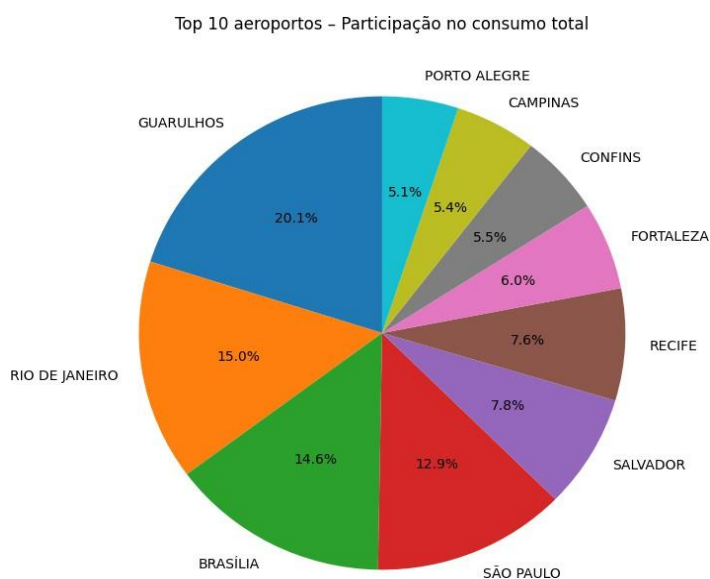
A Figura 5 traz a média de consumo mensal de combustível em litros, nesse gráfico pode-se destacar as sazonalidades mensais nas quais o transporte aéreo está inserido. Sazonalidades, principalmente durante as férias escolares, períodos festivos e carnaval.



**Figura 5:** Consumo médio mensal de combustível.

### 3.1.2 Aeroportos E Companhias Aéreas- Participação No Consumo Total

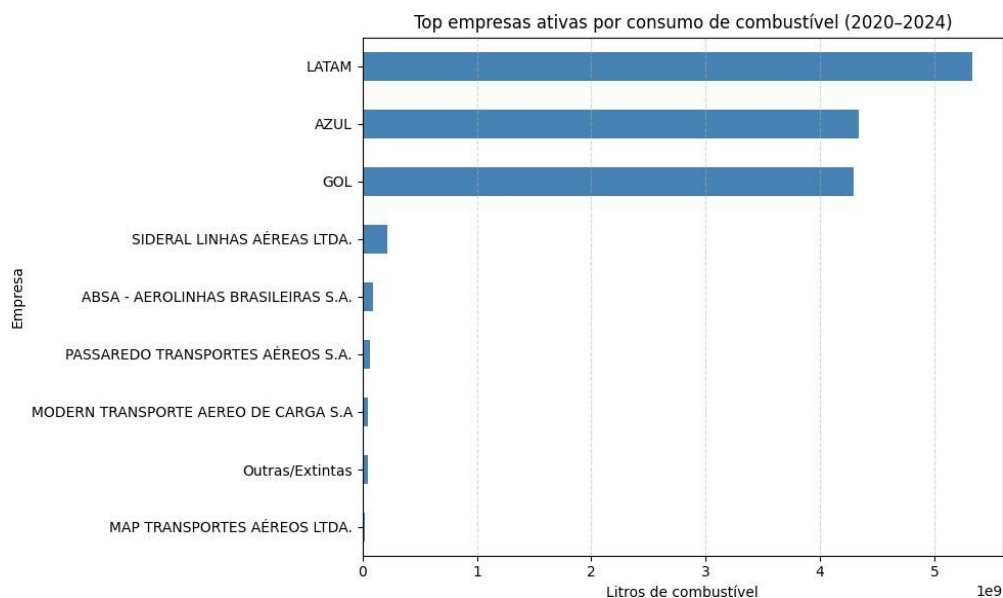
As Figuras 6 e 7 trazem respectivamente, o ranking dos 10 aeroportos com maior participação no consumo total de combustível e as empresas aéreas líderes em consumo de combustível no período de 2020 a 2024. Na análise desses gráficos revela uma clara concentração no setor. Quase 50% do consumo total se concentra em apenas três aeroportos (Guarulhos, Galeão e Brasília) e essa fatia ultrapassa 62% ao incluir Congonhas. A predominância dessas localizações se justifica por sua localização estratégica em grandes metrópoles e centros econômicos. Posteriormente tem os três maiores aeroportos do nordeste, Salvador, Recife e Fortaleza com 7,8%, 7,6% e 6,0% respectivamente.



**Figura 6:** Ranking dos 10 aeroportos com maior participação no consumo total de combustível.

No que se refere às companhias aéreas, a LATAM lidera o consumo no período de 2020 a 2024, seguida pela Azul e GOL. Juntas, essas três empresas detêm mais de 90% do mercado aéreo brasileiro. A liderança da LATAM ocorre pois, apesar de a Azul ter um maior número de rotas, sua operação ocorre em rotas de maior distância, o que demanda um maior volume de combustível.

Essa concentração do consumo, tanto em poucos aeroportos quanto em um grupo restrito de empresas, é um fator crucial para a precisão do seu modelo de previsão. Ao lidar com padrões de volume de voo e consumo altamente concentrados, o algoritmo Prophet se baseia em dinâmicas de mercado mais estáveis e previsíveis. Essa característica reduz a incerteza da previsão e aumenta a confiabilidade das projeções futuras, validando a eficácia do modelo de análise de séries temporais.

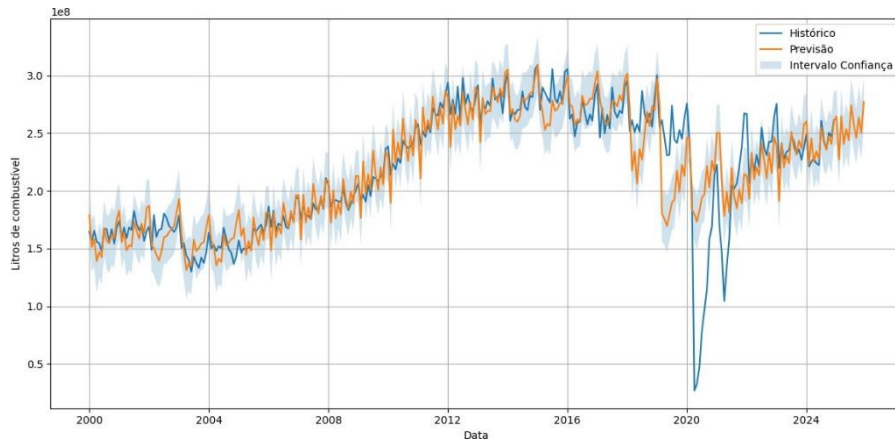


**Figura 7:** Empresas aéreas líderes em consumo de combustível no período de 2020 a 2024.

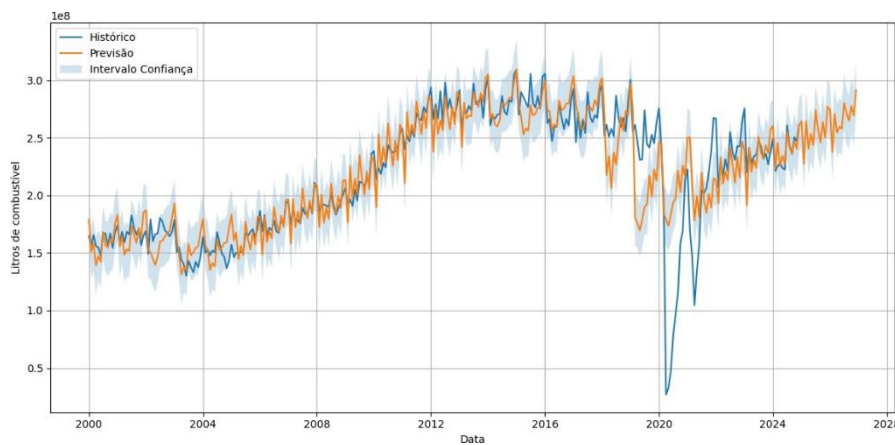
### 3.2 MODELAGEM PREDITIVA COM PROPHET

O modelo Prophet foi utilizado para a previsão do consumo de combustível. Ele foi ajustado com as sazonalidades anual e mensal, feriados nacionais fixos e móveis, e eventos externos como a pandemia da COVID-19. Para validar a sua eficácia, as previsões foram comparadas com os dados reais de um período de teste, resultando em um Erro Absoluto Médio (MAE) de 27,15 milhões de litros e um Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE) de 9,31%. Este MAPE, considerado excelente para a análise de mercado de aviação, comprova a confiabilidade do modelo em um cenário volátil.

Conforme as Figuras 8 e 9, a análise das projeções aponta para uma tendência de crescimento estável e controlado. A concentração do consumo em poucos hubs e empresas torna a previsão mais robusta, pois o modelo se baseia em dinâmicas de mercado estáveis.



**Figura 8:** Previsão do consumo de combustível para os próximos 12 meses.



**Figura 9:** Projeção estendida para os próximos 24 meses.

Em resumo dos resultados tem-se que:

- Houve uma queda de 47,28% no consumo entre 2019 e 2020 devido à pandemia.
- Recuperação de 36,3% em 2021, sem retorno aos níveis pré-pandemia.
- Picos sazonais em dezembro e julho associados a férias escolares.
- Maior consumo concentrado no Sudeste, seguido por Nordeste e Sul.
- Empresas GOL, LATAM e AZUL lideram consumo entre 2020-2024.
- Previsão indica crescimento estável e controlado nos próximos meses.

## 4 CONCLUSÃO

A análise de séries temporais aplicada ao consumo de combustível na aviação doméstica brasileira possibilitou identificar padrões relevantes, os impactos de eventos externos e, o mais importante, gerar previsões confiáveis. O modelo Prophet mostrou-se eficaz e confiável, alcançando um Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE) de 9,31% sobre os dados de validação, validando sua aplicabilidade no setor.

Os resultados obtidos podem auxiliar na tomada de decisões estratégicas para a eficiência operacional e a sustentabilidade ambiental no setor aéreo brasileiro. Futuras pesquisas podem incluir a análise de voos internacionais e uma estimativa das emissões de carbono com base nas previsões de consumo.

## 5 REFERENCES

- Boshoff, W. H. (2012) Gasoline, diesel fuel and jet fuel demand in South Africa. *Studies in Economics and Econometrics*, v. 36, n. 1, p. 43–78, 2012.
- C. Shearer. (2000). The CRISP-DM model: the new blueprint for data mining, *Journal of data warehousing* 5 (4) (2000) 13–22.
- Chai, J. et al. (2014). Aviation fuel demand development in China. *Energy Economics*, v. 46, p. 224–235, 2014.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (2025). Combustível sustentável de aviação: uma das soluções para a transição energética do setor aéreo. Brasília: CNT, 2025.
- Domingos, M. C. De F.; Gomes, R. De A.; Queiroz Júnior, H. Da S.; Falcão, V. A. (2025). Unlocking efficiency and environmental impact: Analyzing concessioned Brazilian airports. *Journal of Air Transport Management*, v. 124, p. 102754, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2025.102754>
- Hamilton, J. D. (2020). *Time series analysis*. Princeton: Princeton University Press, 2020.
- Mazraati, M.; Alyousif, O. M. (2009). Aviation fuel demand modelling in OECD and developing countries: impacts of fuel efficiency. *OPEC Energy Review*, v. 33, n. 1, p. 23–45, 2009.
- Taylor, S. J.; Letham, B. (2018). Forecasting at scale. *The American Statistician*, v. 72, n. 1, p. 37–45, 2018.