

Análise do uso da capacidade aeroportuária com base na distribuição diária de operações

Analysis of airport capacity utilization based on the daily distribution of operations

Marcos André Lira Silva¹, Viviane Falcão¹

¹Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil

Contato: marcos.lira.br@ufpe.br,  (MALS); viviane.afalcao@ufpe.br,  (VAF)

Recebido:

11 de julho de 2025

Revisado:

31 de julho de 2025

Aceito para publicação:

31 de julho de 2025

Publicado:

5 de novembro de 2025

Editor de Área:

Anderson Ribeiro Correia, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Brasil

Palavras-chave:

Capacidade aeroportuária.

Eficiência operacional.

Regulação de slots.

Keywords:

Airport capacity.

Operational efficiency.

Slot regulation.

DOI: 10.58922/transportes.v33.e3150

RESUMO

Este estudo investiga a relação entre a ampliação da capacidade aeroportuária e a distribuição das operações ao longo do dia, com ênfase no impacto da alocação de slots sobre a eficiência operacional. A análise considera dados de 26 aeroportos brasileiros entre 2019 e 2024, utilizando indicadores como o CUI (Índice de Utilização da Capacidade) e a razão entre taxa de pico anual e capacidade horária instalada. Por meio de modelos de efeitos fixos aplicados a dados em painel, constatou-se que o aumento no número de passageiros é o principal fator associado à intensificação do uso da infraestrutura. Embora a expansão da capacidade tenha contribuído para reduzir a pressão nos horários de pico, não houve impacto significativo na redistribuição das operações ao longo do dia. Os resultados indicam que, além de investimentos em infraestrutura, é necessário aprimorar os mecanismos de alocação de slots e considerar políticas de incentivo à demanda em horários de menor movimento. A pesquisa reforça a importância de uma gestão coordenada entre infraestrutura e regulação para o uso eficiente e sustentável dos aeroportos brasileiros.

ABSTRACT

This study investigates the relationship between airport capacity expansion and the distribution of operations throughout the day, with an emphasis on the impact of slot allocation on operational efficiency. The analysis considers data from 26 Brazilian airports between 2019 and 2024, using indicators such as the Capacity Utilization Index (CUI) and the ratio between annual peak rate and installed hourly capacity. Through fixed effects panel data models, it was found that the increase in the number of passengers is the main factor associated with intensified infrastructure usage. Although capacity expansion has helped reduce pressure during peak hours, it has not significantly affected the redistribution of operations throughout the day. The results indicate that, in addition to infrastructure investments, there is a need to improve slot allocation mechanisms and consider demand stimulation policies during off-peak hours. The study reinforces the importance of coordinated management between infrastructure and regulation to ensure the efficient and sustainable use of Brazilian airports.



1. INTRODUÇÃO

O setor aeroportuário mundial tem enfrentado um aumento significativo na demanda por transporte aéreo nos últimos anos, impulsionado pela globalização, expansão das companhias aéreas de baixo custo e o crescimento econômico de diversas regiões. Esse cenário também se reflete no Brasil, onde a demanda por transporte aéreo tem crescido de forma consistente. Em fevereiro de 2025, o país registrou o segundo melhor desempenho da história para esse mês, com 9,56 milhões de passageiros transportados em voos nacionais e internacionais. Para atender a esse crescimento,

aeroportos em todo o mundo investem na expansão de infraestruturas e na otimização de operações. No entanto, muitos deles já operam próximos de seus limites de capacidade, tornando a gestão operacional um desafio central (Brasil, 2025c; Wang et al., 2023).

Um dos principais desafios é a concentração de operações em horários de pico, que gera congestionamentos, longas filas e atrasos. Por outro lado, os períodos de menor movimento permanecem subutilizados, resultando em um uso desigual da infraestrutura e no aumento dos custos operacionais (Picard et al., 2019). Essa problemática não se limita aos grandes *hubs* internacionais, mas também afeta aeroportos regionais, que passaram a desempenhar papéis estratégicos no transporte aéreo nacional e internacional.

Embora sejam menores, esses aeroportos frequentemente enfrentam desafios semelhantes. Uma abordagem predominante para a gestão da demanda aeroportuária é o controle de slots, que garante a distribuição eficiente da capacidade disponível, especialmente durante os períodos de pico, minimizando atrasos e otimizando o uso de recursos. Desta forma, a ausência de uma estratégia eficaz de alocação de slots pode limitar seu potencial de crescimento. Neste sentido, o aumento da capacidade não se resume à construção de novas pistas ou terminais, mas também à otimização da utilização dessa capacidade, garantindo que o fluxo de aeronaves seja distribuído de forma mais equilibrada ao longo do dia (Madas e Zografos, 2006; Ren et al., 2025; Wang et al., 2023).

Nesse contexto, é importante destacar que, além da necessidade de otimização do uso da infraestrutura, a eficiência operacional nos aeroportos tem um impacto direto na sustentabilidade econômica e ambiental do setor aéreo. A concentração de operações em horários de pico aumenta o consumo de combustível, devido às longas filas de espera, e eleva as emissões de gases de efeito estufa (Wang e Ni, 2025). Estimativas do *Global Carbon Project*, divulgadas por *Our World in Data*, indicam que a aviação civil é responsável por cerca de 2,5% das emissões globais de dióxido de carbono (CO₂) (Ritchie, 2024), o que evidencia o impacto ambiental significativo dessa atividade e reforça a necessidade de estratégias eficazes para mitigação das emissões.

Diversas medidas têm sido propostas para reduzir ou mitigar o impacto climático das emissões de aeronaves (Tasca et al., 2021). Considerando os efeitos do congestionamento aeroportuário sobre o consumo de combustível e o aumento dos tempos de taxiamento, observa-se que a forma como os slots aeroportuários são alocados pode também exercer influência. Assim, a gestão da alocação de slots, além de impactar diretamente o desempenho operacional, pode estar relacionada a aspectos mais amplos de sustentabilidade no setor, sobretudo em ambientes aeroportuários com alta demanda e capacidade limitada.

Uma distribuição mais equilibrada melhora a gestão de recursos e reduz custos operacionais, aumentando a competitividade e sustentabilidade dos aeroportos (Zografos et al., 2018). Embora estudos como os de Katsigiannis e Zografos (2023) e Zeng et al. (2025) tenham avançado em metodologias de otimização de slots, a maioria das pesquisas concentra-se em aeroportos internacionais consolidados. No Brasil, onde a demanda cresce rapidamente, persiste uma lacuna no entendimento de como a alocação de slots afeta a capacidade e a eficiência operacional, especialmente no que diz respeito ao conflito entre as preferências das companhias aéreas (que buscam horários concorridos) e a necessidade de uma distribuição equilibrada, defendida pelos operadores aeroportuários.

Diante desse cenário, esta pesquisa busca investigar se o aumento da capacidade aeroportuária melhora a distribuição de operações ao longo do dia ou apenas amplia a concentração em horários de pico. Ao analisar essa relação, o estudo visa fornecer insights para políticas de alocação de *slots* que promovam uso mais eficiente da infraestrutura, redução de custos operacionais e maior sustentabilidade no setor aéreo brasileiro.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

A primeira etapa da metodologia consistiu na caracterização da área de estudo, com o objetivo de contextualizar a evolução e os padrões atuais da aviação comercial no Brasil. Para isso, foram analisadas séries históricas de crescimento do setor ao longo dos últimos anos, observando-se tendências de expansão da demanda, variações regionais e momentos de inflexão.

Para essa etapa, foram utilizados dados disponibilizados pela plataforma HÓRUS, da Secretaria Nacional de Aviação Civil (SAC), bem como os Dados de Movimentação Aeroportuária, fornecidos pela ANAC. Essas bases permitiram avaliar o comportamento operacional dos aeroportos e identificar possíveis gargalos relacionados à capacidade e à regulação do uso da infraestrutura.

2.2. Coleta de dados

A pesquisa baseou-se na integração de quatro bases de dados consideradas fundamentais e de igual relevância para o desenvolvimento da análise proposta: a base de capacidade operacional dos aeroportos, a base de movimentação aeroportuária, a base de histórico de movimentação e classificação aeroportuária.

As informações relativas à capacidade foram extraídas do Relatório Comparativo KPA (*Key Performance Area*) Capacidade – janeiro de 2025 (CGNA, 2025), publicado pelo Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea (CGNA), vinculado ao Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA). Esse relatório contempla a evolução da capacidade operacional de 27 aeroportos brasileiros no intervalo compreendido entre os anos de 2019 e 2024, permitindo a análise de variações e tendências ao longo do tempo.

Paralelamente, foram coletados dados de movimentação aeroportuária (Brasil, 2025a) e classificação dos aeroportos (Brasil, 2025b) a partir das bases disponibilizadas pela ANAC. Esses dados abrangem o mesmo período e oferecem respectivamente informações de seus desempenhos horários de movimentação de aeronaves e sua categorização institucional.

Por fim, a base de dados completos do histórico de movimentação (HÓRUS, 2025) fornece as informações anuais de movimentação de aeronaves, passageiros e carga para cada unidade da amostra.

Para fins de consistência metodológica e integridade da amostra, foram considerados na análise apenas os aeroportos e os períodos para os quais havia disponibilidade de informações em todas as bases.

2.3. Modelagem estatística

Foram adotadas como variáveis dependentes o CUI e a razão entre a Taxa de Pico Anual e a Capacidade Horária instalada, ambos considerados indicadores representativos do nível de saturação da infraestrutura aeroportuária.

As variáveis explicativas utilizadas no modelo foram selecionadas com base em sua relevância teórica e na disponibilidade consistente na base de dados. Foram incluídas variáveis contínuas, como o Ano da observação (temporal), a Soma Diária de Passageiros e a Carga Aérea (KG) — todas representando diferentes dimensões da intensidade operacional. Além disso, foram incorporadas variáveis categóricas (*dummies*) para capturar efeitos estruturais e institucionais: a ocorrência de expansão da infraestrutura aeroportuária (1 = houve; 0 = não houve) e o nível de regulação do aeroporto. No caso da regulação, por se tratar de uma variável com três categorias — “facilitado”,

“coordenado” e “não regulado” — foram criadas duas variáveis *dummies*: uma indicando se o aeroporto é “coordenado” (1 = sim; 0 = não) e outra se é “facilitado” (1 = sim; 0 = não), adotando-se a categoria “não regulado” como referência (padrão) para fins de comparação nos modelos.

2.3.1. Análise modelo com efeitos fixos (*fixed effects*)

Este modelo considera as características fixas de cada aeroporto ao longo do tempo, controlando variações não observáveis específicas a cada unidade da amostra (Equação 1):

$$y_{i,t} = \alpha_i + \beta_1 \cdot x_{1,i,t} + \beta_2 \cdot x_{2,i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

onde: $y_{i,t}$: variável dependente (CUI ou Taxa Pico Anual / Capacidade Horária) para o aeroporto i no tempo t ; β_1 e β_2 : vetores de coeficientes; α_i : efeito fixo individual para cada aeroporto; $x_{1,i,t}$: soma diária de passageiros; $x_{2,i,t}$: volume de carga aérea movimentada (em kg); $\varepsilon_{i,t}$: termo de erro aleatório.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Movimentação aérea no Brasil

A evolução da aviação regular no Brasil ao longo das últimas duas décadas demonstra um crescimento consistente, impulsionado pela ampliação da malha aérea, maior competitividade entre as companhias e o fortalecimento do turismo nacional e internacional. Esse cenário foi viabilizado por investimentos em infraestrutura aeroportuária e melhorias operacionais, refletindo-se em um aumento progressivo do número de passageiros transportados entre os anos de 2004 e 2019 (HÓRUS, 2025).

A trajetória de crescimento foi interrompida em 2020 devido à pandemia de COVID-19, que provocou uma queda abrupta nas operações aéreas em todo o país. O volume de passageiros sofreu uma redução significativa, como observado em diversos países (ICAO, 2021). A partir de 2021, observa-se um processo de recuperação gradual, com volumes que, em 2024, praticamente retomam os patamares pré-pandemia (HÓRUS, 2025), conforme apresentado na Figura 1.

A análise da movimentação total de passageiros, conforme ilustrado na Figura 1, evidencia não apenas a expansão da demanda ao longo do período, mas também a crescente pressão sobre a infraestrutura aeroportuária nacional. O aumento expressivo no volume de passageiros exigiu a adoção de estratégias voltadas à ampliação e modernização dos aeroportos, tanto por meio de obras públicas quanto por meio de concessões à iniciativa privada. Essas ações foram fundamentais para evitar a saturação do sistema e garantir níveis adequados de eficiência e qualidade operacional.

A partir de 2011, com o lançamento do programa de concessões aeroportuárias no Brasil, 59 aeroportos, que juntos respondem por aproximadamente 90% do movimento total de passageiros no país, foram concedidos à iniciativa privada em um intervalo inferior a 15 anos (Mello et al., 2025). Estas concessões viabilizam a reestruturação de importantes terminais por meio de parcerias com operadores privados gerando um aumento na eficiência (Oum et al., 2008). Estudos recentes indicam que as concessões contribuíram significativamente para a modernização da infraestrutura, melhoria dos serviços e elevação dos padrões operacionais (Fernandes e Pacheco, 2018). Dessa forma, o setor aeroportuário passou a desempenhar um papel cada vez mais relevante na integração regional e no desenvolvimento econômico nacional, especialmente ao facilitar o crescimento do turismo e das trocas comerciais.

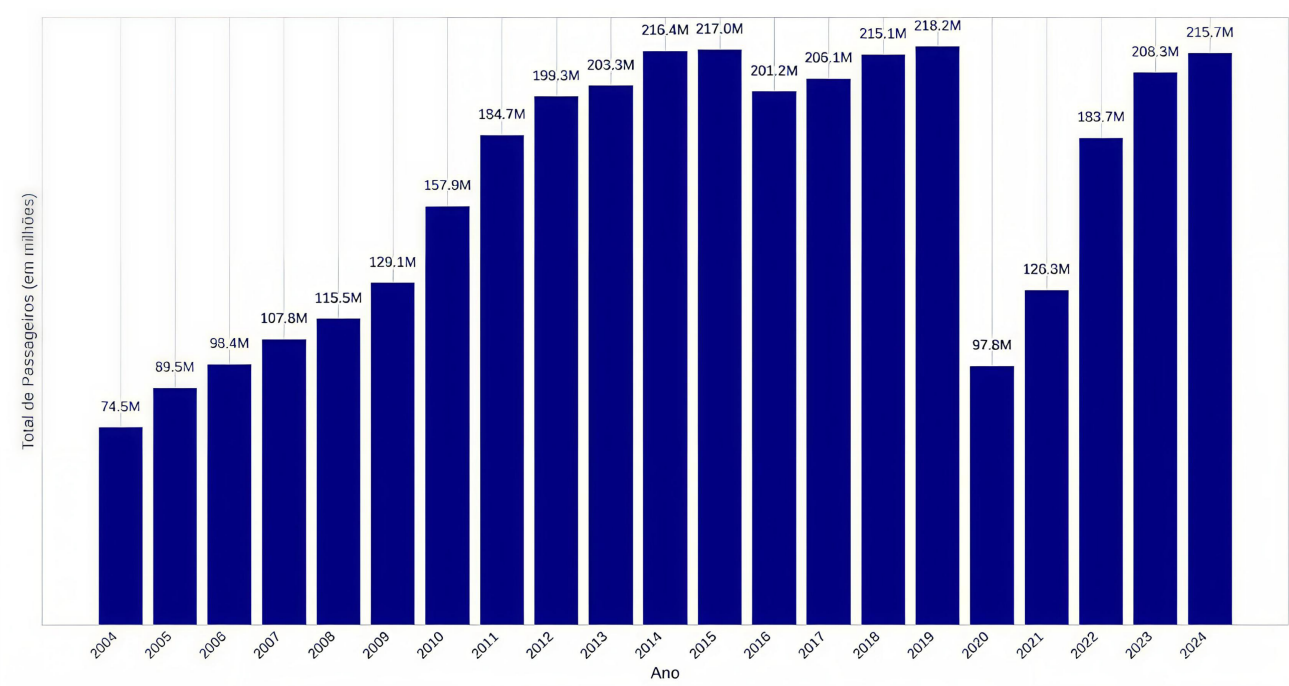


Figura 1. Movimentação anual de passageiros entre os anos de 2004 e 2024.

Complementando a análise da evolução da demanda, a Figura 2 apresenta a curva acumulada da movimentação de passageiros por aeroporto em 2024, permitindo visualizar quantos terminais são responsáveis por diferentes parcelas do total movimentado. A base de dados utilizada é proveniente da plataforma HÓRUS (2025), da Secretaria Nacional de Aviação Civil, e contempla 186 aeroportos com movimentações registradas de passageiros ao longo do ano.

A análise da Figura 2 evidencia que apenas 37 aeroportos concentram cerca de 95% de toda a movimentação de passageiros no país, enquanto os 149 demais terminais operam com volumes muito inferiores, representando apenas os 5% restantes. Esse padrão confirma a forte assimetria do sistema aeroportuário brasileiro, no qual poucos aeroportos de grande porte centralizam a maior parte do tráfego, enquanto a ampla maioria dos terminais possui papel secundário ou regional.

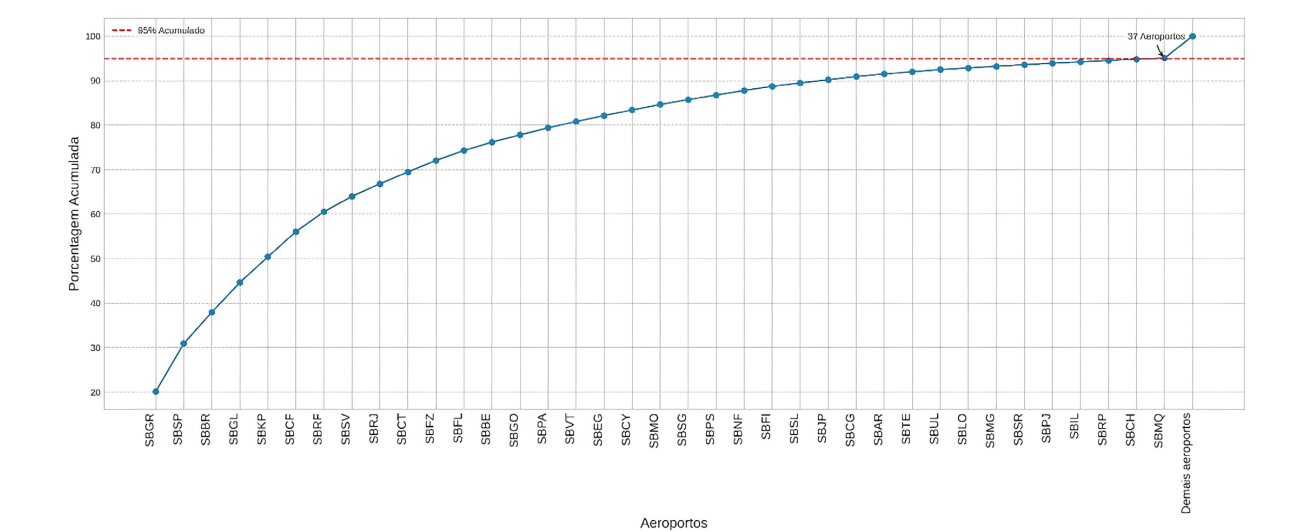


Figura 2. Concentração da movimentação de passageiros por aeroporto (2024).

Essa estrutura concentrada gera implicações relevantes para o planejamento da infraestrutura e a formulação de políticas públicas. Por um lado, impõe a necessidade de investimentos robustos e contínuos nos principais *hubs*, que absorvem grande parte da demanda e enfrentam pressões constantes por capacidade. Por outro, aponta para a oportunidade de promover a interiorização do transporte aéreo por meio da valorização de aeroportos regionais, contribuindo para uma malha mais equilibrada, resiliente e integrada ao desenvolvimento territorial.

3.2. Definição dos grupos

Para cada aeroporto, utilizou-se o primeiro ano com dados disponíveis dentro do recorte temporal da pesquisa, com o objetivo de captar as condições iniciais de operação, anteriores a eventuais intervenções estruturais. Com base nessas informações, foram calculados dois indicadores principais: o CUI, que corresponde à razão entre os movimentos médios por hora e os movimentos da hora de pico (percentil 95) chamada Taxa pico, e a razão entre esta mesma taxa e a Capacidade Horária, que representa o grau de pressão exercida sobre a infraestrutura durante os períodos de maior demanda.

A metodologia de classificação adotada foi inspirada nos estudos de Gelhausen et al. (2013) e Dray (2020), os critérios de corte foram ajustados para 0,55 tanto para o CUI quanto para a razão pico/capacidade. Essa alteração permitiu uma melhor adequação à realidade nacional, considerando a diversidade operacional dos aeroportos brasileiros. A nova segmentação, ilustrada na Figura 3, resultou em uma distribuição mais equilibrada entre os quadrantes e ampliou o potencial de interpretação sobre os diferentes padrões de utilização da infraestrutura aeroportuária.

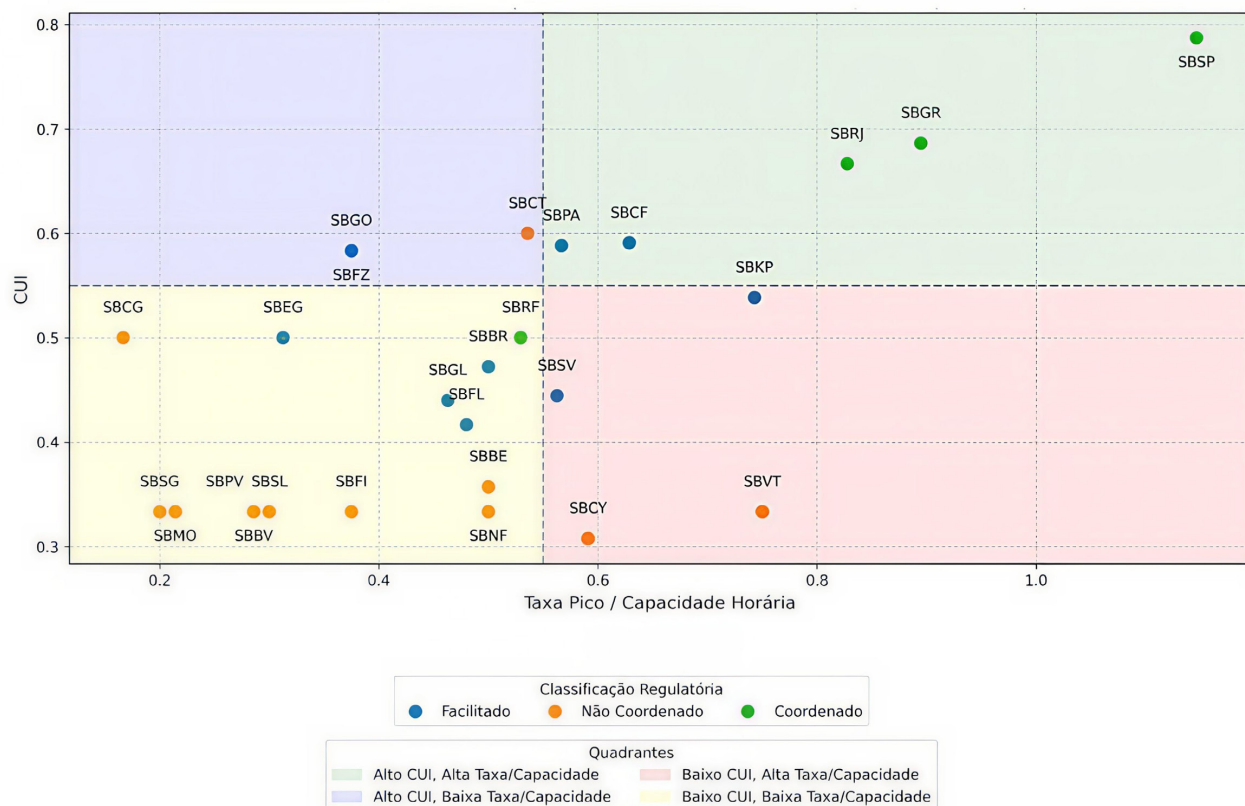


Figura 3. Relação entre a taxa de pico/capacidade e CUI (ajustados para 0,55). Ano dos dados por aeroporto: 2019: SBBR, SBCF, SBCT, SBCY, SBEG, SBFL, SBFG, SBGO, SBGR, SBKP, SBMO, SBPA, SBRF, SBRJ, SBSG, SBSP, SBSV 2020: SBNF, SBSL, SBVT 2022: SBVZ, SBFI, SBPV 2023: SBBE, SBCG

Com base nesses parâmetros revisados, este estudo propôs uma classificação dos aeroportos em quatro grupos distintos:

- (i) Grupo com Fortes Restrições de Capacidade (FRC) – formado por aeroportos com alto CUI e alta razão pico/capacidade, refletindo terminais com pressão estrutural contínua e expressiva sobre a capacidade instalada;
- (ii) Grupo com Restrição de Capacidade em Horários de Pico (RCHP) – aeroportos com baixo CUI e alta razão pico/capacidade, sugerindo gargalos concentrados nos períodos de maior movimento diário;
- (iii) Grupo com Horários Fixos (HF) – composto por aeroportos com alto CUI e baixa razão pico/capacidade, caracterizando terminais com distribuição mais uniforme de movimentos ao longo do dia, porém com risco latente de saturação;
- (iv) Grupo Relativamente Irrestrito (RI) – aeroportos com baixo CUI e baixa razão pico/capacidade, indicando operação ainda distante de limites críticos de capacidade.

Além dessa segmentação, cada grupo foi subdividido conforme dois critérios adicionais. O primeiro se refere à classificação regulatória, conforme tipologia da ANAC, que distingue aeroportos Coordenados (C), Facilitados (F) ou Não Coordenados (NC), conforme o nível de gerenciamento de *slots*. O segundo critério leva em conta a ocorrência de obras de expansão de capacidade (EX) no período de 2019 a 2024, permitindo compreender se os padrões observados decorrem de intervenções estruturais ou são resultado direto do crescimento da demanda (Tabela 1).

Tabela 1: Classificação com base na utilização da infraestrutura

Grupo	Classificação regulatória	Expansão de capacidade 2019-2024	Aeroportos (Código IATA)
FRC	C	EX	Aeroporto de São Paulo/Congonhas (SBSP); Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos – Governador André Franco Montoro (SBGR).
		NEX	Aeroporto Santos Dumont (SBRJ).
	F	EX	Aeroporto Internacional Salgado Filho (SBPA).
		NEX	Aeroporto Internacional de Belo Horizonte/Confins – Tancredo Neves (SBCF).
RCHP	F	EX	Aeroporto Internacional de Salvador – Deputado Luís Eduardo Magalhães (SBSV).
	NC	EX	Aeroporto de Vitória – Eurico de Aguiar Salles (SBVT); Aeroporto Internacional de Campinas – Viracopos (SBKP).
		NEX	Aeroporto Internacional de Cuiabá – Marechal Rondon (SBCY).
HF	F	EX	Aeroporto de Goiânia – Santa Genoveva (SBGO); Aeroporto Internacional de Fortaleza – Pinto Martins (SBFZ).
	NC	EX	Aeroporto Internacional de Curitiba – Afonso Pena (SBCT).
RI	C	EX	Aeroporto Internacional do Recife/Guararapes – Gilberto Freyre (SBRF).
	F	EX	Aeroporto Internacional de Manaus – Eduardo Gomes (SBEG); Aeroporto Internacional de Brasília – Presidente Juscelino Kubitschek (SBBR); Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro/Galeão – Antônio Carlos Jobim (SBGL).
		NEX	Aeroporto Internacional de Florianópolis – Hercílio Luz (SBFL).

Tabela 1: Continuação...

Grupo	Classificação regulatória	Expansão de capacidade 2019-2024	Aeroportos (Código IATA)
RI	NC	NEX	Aeroporto Internacional de Campo Grande (SBCG); Aeroporto Internacional de Natal – Governador Aluizio Alves (SBSG); Aeroporto de Maceió – Zumbi dos Palmares (SBMO); Aeroporto de Boa Vista – Atlas Brasil Cantanhede (SBBV); Aeroporto de São Luís – Marechal Cunha Machado (SBSL); Aeroporto Internacional de Foz do Iguaçu – Cataratas (SBFI); Aeroporto Internacional de Belém – Val-de-Cans/Júlio Cezar Ribeiro (SBBE); Aeroporto de Joinville – Lauro Carneiro de Loyola (SBNF); Aeroporto Internacional de Porto Velho – Governador Jorge Teixeira de Oliveira (SBPV).

Fundamentada em parâmetros revisados de capacidade operacional e regulamentação, permite uma categorização precisa em quatro grupos distintos. Esta segmentação não apenas reflete o estado atual da infraestrutura aeroportuária, mas também projeta as intervenções necessárias para a gestão do fluxo de tráfego aéreo e de passageiros.

3.3. Análise modelo com efeitos fixos (*fixed effects*)

A aplicação do modelo de Efeitos Fixos permitiu avaliar o impacto de variáveis operacionais sobre dois indicadores-chave de desempenho aeroportuário: o CUI e a razão entre a Taxa de Pico Anual e a Capacidade Horária instalada (Taxa Pico/Capacidade). Este modelo é especialmente útil para controlar efeitos não observáveis invariantes no tempo dentro de cada aeroporto, fornecendo estimativas mais consistentes dos coeficientes (Tabela 2).

Tabela 2: Resultados do modelo de efeitos fixos para CUI e taxa pico/capacidade

Variável Independente	Variável Dependente: CUI	Variável Dependente: Taxa Pico/Capacidade
Métricas do Modelo		
R-quadrado	0,769488	0,953675
F-estatística	13,1312	12,3493
Valor-p F	2,40151e-005	3,77805e-005
Coeficientes das Variáveis		
Passageiros		
Coeficiente	2,39082e-08	1,39607e-08
Erro Padrão	5,21948e-09	2,98863e-09
Valor-p	0,0001	8,74e-05
Carga Aérea		
Coeficiente	-4,02657e-010	-3,55060e-010
Erro Padrão	3,30076e-010	2,40046e-010
Valor-p	0,2339	0,1516
Dummy Expansão capacidade		
Coeficiente	-0,0326509	-0,0546333
Erro Padrão	0,0227901	0,0155665
Valor-p	0,1643	0,0017

Os resultados gerais indicam que ambos os modelos estimados, com variáveis dependentes CUI e Taxa Pico/Capacidade, são estatisticamente significativos, conforme evidenciado pelos valores- p extremamente baixos associados à F-estatística ($p = 2,4^{-5}$ para CUI e $p = 3,78^{-5}$ para Taxa Pico/Capacidade). Isso confirma a significância conjunta das variáveis explicativas incluídas. No entanto, observa-se uma diferença no poder explicativo entre os dois modelos: o R^2 do modelo para o CUI é 0,7695, enquanto o da Taxa Pico/Capacidade atinge 0,9537. Esse resultado sugere que as variáveis selecionadas explicam de forma mais robusta as variações na Taxa Pico/Capacidade, indicando maior aderência do modelo às dinâmicas operacionais relacionadas à utilização da capacidade em horários críticos.

A análise individual dos coeficientes revela que a variável Passageiros apresentou impacto positivo e estatisticamente significativo nos dois modelos. No caso do CUI, o coeficiente estimado foi de $2,39^{-8}$ ($p = 0,0001$), enquanto para a Taxa Pico/Capacidade foi de $1,4^{-8}$ ($p < 0,0001$). Isso indica que o aumento no número de passageiros está associado a elevações tanto no custo unitário quanto na ocupação da capacidade nos horários de pico. A significância e a direção do efeito sugerem que, ao contrário do esperado em algumas hipóteses de economia de escala, a elevação da demanda de passageiros pode estar pressionando a infraestrutura existente.

Quanto à Carga Aérea, os coeficientes também foram negativos nos dois modelos, mas sem significância estatística ($p = 0,2339$ para CUI e $p = 0,1516$ para Taxa Pico/Capacidade). Isso indica que, mantidas constantes as demais variáveis, o volume de carga não apresenta efeito mensurável sobre os indicadores analisados, podendo estar relacionado à menor relevância relativa das operações cargueiras em comparação com o transporte de passageiros nos aeroportos da amostra.

A variável *dummy* Expansão de Capacidade não apresentou significância estatística em nenhum dos modelos ($p = 0,1643$ para CUI e $p = 0,0017$ para Taxa Pico/Capacidade). No entanto, apesar da falta de significância no modelo do CUI, observa-se um efeito negativo e estatisticamente significativo no modelo da Taxa Pico/Capacidade, sugerindo que intervenções de expansão da infraestrutura podem ter contribuído para a redução da pressão operacional nos horários de pico.

Em síntese, os resultados destacam o número de passageiros como a principal variável explicativa das variações tanto no CUI quanto na Taxa Pico/Capacidade. Embora o impacto da carga aérea tenha sido estatisticamente inexpressivo, a expansão da capacidade mostra-se relevante no contexto da taxa de pico, reforçando a importância de políticas de investimento em infraestrutura para mitigar gargalos operacionais. Esses achados oferecem subsídios importantes para o planejamento aeroportuário, especialmente no que se refere à priorização de investimentos e à avaliação de desempenho da infraestrutura em função da demanda.

3.4. Análise dos resultados

Com base nos resultados apresentados, foram analisados dois modelos de efeitos fixos aplicados a dados em painel, considerando as variáveis dependentes CUI e Taxa Pico/Capacidade. Ambos os modelos utilizaram 131 observações distribuídas entre 26 aeroportos, com variação temporal de 2 a 6 anos. Os erros padrão foram agrupados por unidade de corte transversal, e a variável categórica referente à classificação regulatória foi omitida devido à colinearidade exata. No modelo que analisa o CUI, a variável 'Passageiros' apresentou coeficiente positivo e altamente significativo ($2,39^{-8}$; $p < 0,01$), evidenciando relação direta com o aumento do CUI. As variáveis Carga Aérea e a *dummy* de expansão de capacidade não se mostraram estatisticamente significativas, embora

o modelo tenha apresentado bom ajuste ($R^2_{LSDV} = 0,77$; $R^2_{Dentro} = 0,55$). No Modelo de Taxa Pico/Capacidade, a variável Passageiros manteve sua significância (*coeficiente de* $1,4^{-8}$; $p < 0,01$), e Expansão de capacidade revelou-se negativamente significativa (*coeficiente de* $-0,0546$; $p < 0,01$), sugerindo que a expansão pode inicialmente reduzir a razão entre pico anual e capacidade instalada. O ajuste geral do modelo foi elevado ($R^2_{LSDV} = 0,9$), ainda que o R^2 “Dentro” tenha sido mais modesto (0,42).

Os resultados refletem aspectos típicos da aviação brasileira, como a relação direta entre o aumento de passageiros e a pressão sobre a infraestrutura, evidenciada pelo crescimento do CUI. A redução da razão entre pico anual e capacidade após expansões indica que, embora a capacidade aumente de forma imediata, a demanda leva tempo para se ajustar. Isso reforça a necessidade de planejamento coordenado, integrando investimentos em infraestrutura com estratégias de alocação de *slots* e estímulo à demanda, visando o uso eficiente da capacidade ampliada.

Dando continuidade, os resultados obtidos foram analisados por meio das regressões lineares e da regressão logística multinomial. A Figura 4, elaborada com dados consolidados de 2024, ilustra a distribuição dos aeroportos nos quadrantes definidos pelo CUI e pela razão entre a taxa de pico e a capacidade horária, evidenciando os diferentes perfis operacionais no final do período de análise.

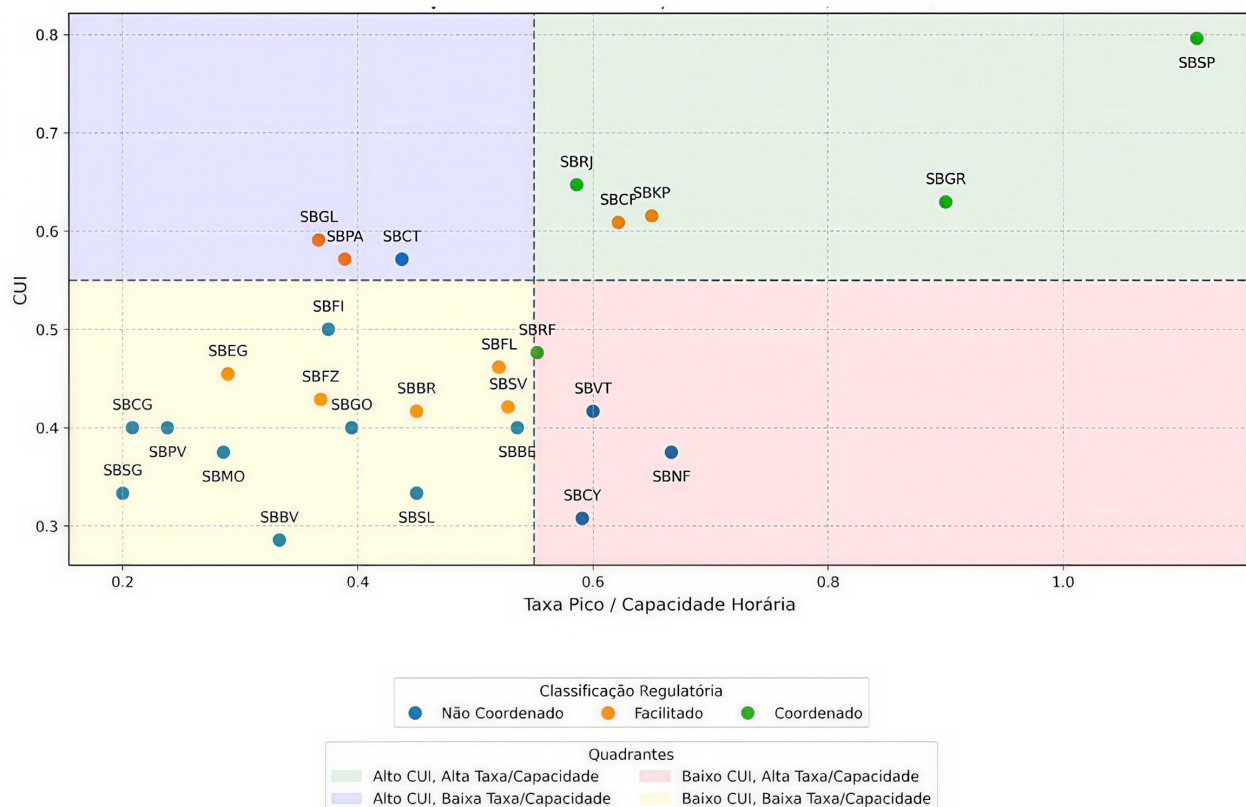


Figura 4. Relação entre a taxa de pico/capacidade e CUI por aeroporto e capacidade (2024).

Dos 26 aeroportos considerados no estudo, apenas 8 apresentaram mudança de quadrante entre o início e o final do período analisado, conforme evidenciado na Tabela 3. Essa relativa estabilidade na configuração dos clusters reforça a persistência estrutural dos padrões de uso da capacidade aeroportuária ao longo do tempo. Observa-se, contudo, que todos os aeroportos

que mudaram de quadrante passaram por algum processo de expansão da infraestrutura, com exceção do aeroporto de SBNF.

Tabela 3: Alterações de grupo

Aeroporto	Grupo Inicial	Grupo Final
Aeroporto Internacional de Fortaleza	HF ⁽³⁾	RI ⁽⁴⁾
Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro	RI ⁽⁴⁾	HF ⁽³⁾
Aeroporto Santa Genoveva	HF ⁽³⁾	RI ⁽⁴⁾
Aeroporto Internacional de Viracopos	RCHP ⁽²⁾	FRC ⁽¹⁾
Aeroporto Internacional de Navegantes	RI ⁽⁴⁾	RCHP ⁽²⁾
Aeroporto Internacional Salgado Filho	FRC ⁽¹⁾	HF ⁽³⁾
Aeroporto Internacional do Recife	RI ⁽⁴⁾	RCHP ⁽²⁾
Aeroporto Internacional de Salvador	RCHP ⁽²⁾	RI ⁽⁴⁾

(1) FRC - Grupo com Fortes Restrições de Capacidade. (2) RCHP - Grupo com Restrição de Capacidade em Horários de Pico. (3) HF - Grupo com Horários Fixos. (4) RI - Grupo Relativamente Irrestrito.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo principal investigar a relação entre o aumento da taxa de ocupação, com foco na alocação de *slots*, e a concentração de operações em horários de pico, analisando se o crescimento da capacidade resulta em uma distribuição mais equilibrada das operações ao longo do dia. Para tanto, buscou-se analisar o crescimento e a concentração da movimentação aeroportuária no Brasil, identificar variações na distribuição das operações entre os diferentes aeroportos, avaliar a concentração de operações nos horários de pico nos principais terminais do país, examinar os efeitos do aumento da capacidade sobre a eficiência operacional, considerando variáveis como movimentação de aeronaves, número de passageiros e volume de carga, bem como avaliar o impacto das regras de alocação de *slots* na distribuição da demanda e na utilização da infraestrutura aeroportuária.

Os resultados desta pesquisa indicam que a expansão da capacidade de movimentação horária exerce efeitos positivos sobre a taxa de utilização da infraestrutura nos horários de pico diminuindo a saturação. No entanto, essa ampliação não apresentou impacto significativo na distribuição da demanda ao longo do dia. As restrições regulatórias relacionadas à alocação de *slots* também não se mostraram relevantes para alterar o perfil de distribuição das operações. Observou-se que aeroportos classificados como não coordenados e facilitados tendem a não utilizar plenamente sua capacidade nos horários de pico, o que é coerente com o grau de regulação mais branda a que estão sujeitos. Constatou-se ainda que o aumento da movimentação de passageiros é o principal fator associado ao melhor aproveitamento da infraestrutura aeroportuária, uma relação lógica, dado que maior demanda implica maior utilização.

Apesar dos avanços alcançados, este estudo apresenta algumas limitações que merecem ser mencionadas. O modelo proposto não considerou todos os fatores que podem afetar a distribuição da utilização dos *slots* ao longo do dia, como número de passageiros em conexão, que tende a forçar as operações em um curto espaço de tempo devido ao tempo mínimo de conexão adotado pelas companhias aéreas, ou mesmo o número de companhias que operam em cada aeroporto que tende a gerar blocos concentrados de voos da mesma companhia. Tais indicam a necessidade de pesquisas futuras que abordem um escopo de dados mais amplo ou incorporem novas variáveis.

Com base nas conclusões e limitações identificadas, este estudo abre espaço para diversas oportunidades de pesquisa futura. Recomenda-se a aplicação do modelo proposto em aeroportos de outros países, com diferentes características operacionais e regimes regulatórios, a fim de testar sua robustez e generalização. Além disso, seria pertinente investigar os fatores econômicos e operacionais que influenciam a decisão das companhias aéreas na aquisição e utilização de *slots*. Por fim, sugere-se explorar os impactos dos incentivos tarifários oferecidos por alguns aeroportos, como descontos em taxas aeroportuárias, na utilização de *slots* nos horários de vale, analisando sua eficácia na redistribuição da demanda ao longo do dia.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

MALS: Escrita – rascunho original, Escrita – revisão e edição, Análise formal, Metodologia, Visualização; VAF: Supervisão, Curadoria de dados.

DECLARAÇÃO DE CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram que não há conflito de interesses.

USO DE TECNOLOGIA ASSISTIDA POR INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Os autores declaram que nenhuma ferramenta de inteligência artificial foi usada na pesquisa aqui relatada ou na preparação deste artigo.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - 306704/2025-0.

REFERÊNCIAS

- Brasil, Agência Nacional de Aviação Civil (2025a) *Arquivos (CSV/JSON) - Operador Aeroportuário: Dados de Movimentação Aeroportuária*. Disponível em: <<https://www.anac.gov.br/aceso-a-informacao/dados-abertos/areas-de-atuacao/operador-aeroportuario/dados-de-movimentacao-aeroportuaria>> (acesso em 31/07/2025).
- Brasil, Agência Nacional de Aviação Civil (2025b) *Coordenação de Slots*. Disponível em: <<https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/regulados/empresas-aereas/slot>> (acesso em 31/07/2025).
- Brasil, Ministério de Portos e Aeroportos (2025c) Com 9,56 milhões de passageiros transportados, a aviação civil brasileira registra a segunda maior movimentação da história para o mês. *Ministério de Portos e Aeroportos*. Disponível em: <<https://www.gov.br/portos-e-aeroportos/pt-br/assuntos/noticias/2025/03/com-9-56-milhoes-de-passageiros-transportados-a-aviacao-civil-brasileira-registra-a-segunda-maior-movimentacao-da-historia-para-o-mes>> (acesso em 31/07/2025).
- CGNA (2025) *Relatório Comparativo KPA Capacidade de Aeródromo: Janeiro de 2025*. Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://portal.cgna.decea.mil.br/resources/>> (acesso em 30/09/2025).
- Dray, L. (2020) An empirical analysis of airport capacity expansion. *Journal of Air Transport Management*, v. 87, p. 101850. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2020.101850.
- Fernandes, E. e R.R. Pacheco (2018) Managerial performance of airports in Brazil before and after concessions. *Transportation Research Part A, Policy and Practice*, v. 118, p. 245-57. DOI: 10.1016/j.tra.2018.09.003.
- Gelhausen, M.C.; P. Berster e D. Wilken (2013) Do airport capacity constraints have a serious impact on the future development of air traffic. *Journal of Air Transport Management*, v. 28, p. 3-13. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2012.12.004.
- HÓRUS (2025) *Ministério de Portos e Aeroportos, Secretaria Nacional de Aviação Civil*. Disponível em: <<https://horus.labtrans.ufsc.br/gerencial/#Movimentacao/DadosCompleto>> (acesso em 31/07/2025).
- ICAO (2021) *Effects of Novel Coronavirus on Civil Aviation: Economic Impact Analysis*. Montréal: ICAO. Disponível em: <https://www.icao.int/sustainability/Documents/COVID-19/ICAO_Coronavirus_Econ_Impact.pdf> (acesso em 31/07/2025).
- Katsigiannis, F.A. e K.G. Zografos (2023) Multi-objective airport slot scheduling incorporating operational delays and multi-stakeholder preferences. *Transportation Research Part C, Emerging Technologies*, v. 152, n. 104156, p. 104156. DOI: 10.1016/j.trc.2023.104156.
- Madas, M.A. e K.G. Zografos (2006) Airport slot allocation: from instruments to strategies. *Journal of Air Transport Management*, v. 12, n. 2, p. 53-62. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2005.08.001.

- Mello, F.P.; F.G.F. Silva e V. Falcão (2025) Renegotiation drivers in Brazilian airport concessions. *Transport Policy*, v. 169, p. 116-32. DOI: 10.1016/j.tranpol.2025.03.030.
- Oum, T.H.; J. Yan e C. Yu (2008) Ownership forms matter for airport efficiency: a stochastic frontier investigation of worldwide airports. *Journal of Urban Economics*, v. 64, n. 2, p. 422-35. DOI: 10.1016/j.jue.2008.03.001.
- Picard, P.M.; A. Tampieri e X. Wan (2019) Airport capacity and inefficiency in slot allocation. *International Journal of Industrial Organization*, v. 62, p. 330-57. DOI: 10.1016/j.ijindorg.2017.10.003.
- Ren, J.; S. Qu; L. Wang et al. (2025) A flight slot optimization model for Beijing-Tianjin-Hebei airport cluster considering capacity fluctuation factor. *Aerospace*, v. 12, n. 4, p. 336. DOI: 10.3390/aerospace12040336.
- Ritchie, H. (2024) *What Share of Global CO₂ Emissions Come from Aviation?* Disponível em: <<https://ourworldindata.org/global-aviation-emissions#article-citation>> (acesso em 31/07/2025).
- Tasca, A.L.; V. Cipolla; K. Abu Salem et al. (2021) Innovative box-wing aircraft: emissions and climate change. *Sustainability*, v. 13, n. 6, p. 3282. DOI: 10.3390/su13063282.
- Wang, Y.; M. Wang; W. Xu et al. (2023) Secondary trading of airport slots: issues and challenges. *Chinese Journal of Aeronautics*, v. 36, n. 12, p. 1-12. DOI: 10.1016/j.cja.2023.07.004.
- Wang, Y. e Y. Ni (2025) Airport slot allocation with low-carbon consideration. *Transportation Research*, v. 196, p. 104009. DOI: 10.1016/j.tre.2025.104009.
- Zeng, W.; C. Xu; X. Shu et al. (2025) A novel slot optimization model for congested airports integrating IATA priority and operational priority. *Journal of Air Transport Management*, v. 124, p. 102751. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2025.102751.
- Zografos, K.G.; K.N. Androutsopoulos e M.A. Madas (2018) Minding the gap: optimizing airport schedule displacement and acceptability. *Transportation Research*, v. 114, p. 203-21.