

Análise de redes sociais aplicada aos aeroportos brasileiros

Social network analysis for Brazilian airports

Mariana Valerio Silva Cruvinel^{1*}; Felipe Pinto da Silva²

Recebido: set. 08, 2024

Aceito: jun. 12, 2025

¹Especialista em Data Science e Analytics. Rua Venâncio Aires, 641, Vila Pompéia, 05024-030, São Paulo, São Paulo, Brasil

²Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Rua Pitágoras, 353, Cidade Universitária, 13083-857, Campinas, São Paulo, Brasil

*Autor correspondente: mariana.valerio2@hotmail.com

Resumo: O transporte aéreo no Brasil apresenta crescimento significativo. Apesar dos impactos causados pela pandemia de covid-19 em 2020 e 2021, observa-se a retomada da expansão desse segmento nos anos seguintes. Este trabalho teve como objetivo identificar os aeroportos brasileiros com maior centralidade na rede, a fim de compreender melhor a estrutura e a dinâmica do transporte aéreo no país. Para isso, foi realizada uma análise da malha aérea por meio da metodologia “Social Network Analysis” (SNA), com base nos dados disponibilizados pela Agência Nacional de Aviação Civil (Anac). Entre as diversas métricas oferecidas pela SNA, destacam-se as de centralidade, “betweenness” e “closeness”, que contribuíram para a identificação de aeroportos estratégicos. O estudo considerou a rede ponderada pela quantidade de decolagens e pelo número de passageiros pagantes. Entre os resultados obtidos, os aeroportos localizados nos municípios de Campinas e Brasília foram classificados como “hubs”, utilizados com essa finalidade por companhias aéreas brasileiras. Destacaram-se também os aeroportos de Manaus e Belém, apontados como relevantes na análise. Concluiu-se que a rede aérea brasileira aponta a relevância de aeroportos de diferentes portes. Essa constatação indica a necessidade de explorar rotas subutilizadas e de aprimorar a conectividade para otimizar a rede de voos.

Palavras-chave: “business intelligence”; pesquisa operacional; rede de transporte aéreo.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Abstract: Air transport in Brazil has shown significant growth. Despite the impacts caused by the covid-19 pandemic in 2020 and 2021, the sector has resumed its expansion in the following years. This study aimed to identify the Brazilian airports with the highest centrality in the network, to better understand the structure and dynamics of air transport in the country. To achieve this, an analysis of the air network was conducted using the Social Network Analysis (SNA) methodology, based on data provided by the Agência Nacional de Aviação Civil (Anac). Among the various metrics offered by the SNA, centrality, betweenness and closeness were highlighted, contributing to the identification of strategic airports. The study considered the network weighted by the number of takeoffs and the number of paying passengers. Among the results obtained, the airports located in the municipalities of Campinas and Brasília were classified as hubs, used for this purpose by Brazilian airlines. The airports of Manaus and Belém also stood out as relevant in the analysis. It was concluded that the Brazilian air network highlights the relevance of different sizes. This finding indicates the need to explore underutilized routes and improve connectivity to optimize the flight network.

Keywords: business intelligence; operational research; air transport network.

1. Introdução

Desde a década de 1990, a aviação civil brasileira experimentou um período de expansão, com a ampliação da malha aérea e a abertura de novos aeroportos para atender à crescente demanda do setor, impulsionada pelo forte crescimento econômico entre os anos de 2000 e 2010^[1]. Esse cenário, porém, foi abruptamente interrompido pela pandemia de covid-19. Oliveira e Castilho^[2] e Paiva et al.^[3] apontam que as medidas impostas para conter a disseminação do vírus resultaram no cancelamento de voos e obrigaram as companhias aéreas a se reestruturarem.

A reestruturação do setor aéreo foi intensificada por outros desafios impostos pela pandemia^[4], como o aumento expressivo no preço do combustível e a queda na renda da população brasileira, fatores que agravaram a crise no setor. O preço do querosene de aviação, por exemplo, registrou alta de 136% entre julho de 2019 e julho de 2022, o que elevou diretamente o valor das passagens aéreas, com aumento de 20,6% no mesmo período^[5]. A redução da renda, o crescimento do desemprego e a instabilidade econômica reduziram a capacidade de consumo da população, o que resultou na queda da demanda por viagens aéreas^{[6],[7]}. De acordo com os autores, a contração do PIB e o aumento da taxa de desemprego em 2020 mantêm relação direta com a saúde econômica do país e com a demanda por transporte aéreo.

Entretanto, conforme demonstrado pelos dados de agosto de 2022, disponibilizados pela Agência Nacional de Aviação Civil (Anac)^[8], observa-se uma recuperação notável do segmento de aviação no período pós-pandemia. A demanda e a oferta do transporte aéreo doméstico atingiram 99% dos níveis registrados no mesmo período de 2019, e as principais companhias aéreas apresentaram crescimento na receita ao compararem os dados de 2019 e 2022.

Desse modo, compreender a configuração da malha aeroviária no período pós-crise sanitária torna-se fundamental, pois dispor de uma rede aérea robusta e bem conectada, capaz de atender à demanda do país, e favorecer a eficiência das companhias aéreas, constitui fator essencial para o desenvolvimento socioeconômico, bem como para a integração nacional e global^[9].

A “Social Network Analysis” (SNA) é uma ferramenta robusta, aplicada para descrever a estrutura espacial da rede de transporte aéreo e seus fluxos de tráfego, temas centrais da investigação geográfica^[10]. Siozos-Rousoulis^[11] destaca que esse tipo de análise permite identificar a importância econômica e social dos nós da rede, bem como aponta quais são mais vulneráveis. Wang et al.^[12] utilizaram a SNA em estudo cujo objetivo foi identificar a estrutura da rede e a centralidade nodal das cidades na malha aérea da China. Bombelli et al.^[13], por sua vez, aplicaram a SNA com foco na perspectiva da carga aérea. Prabhakar e Anbarasij^[14], analisaram a rede mundial de aeroportos e identificaram as características das redes, assim como a importância dos aeroportos no contexto global, com base nas métricas fornecidas pela SNA. Até o momento, não haviam sido identificados estudos que utilizassem essas métricas para analisar a malha aérea brasileira.

Dessa forma, por meio do método SNA, o objetivo deste estudo foi identificar os aeroportos brasileiros com maior centralidade na rede, a fim de compreender melhor a estrutura e a dinâmica do transporte aéreo no país, com destaque para os padrões de centralidade dos aeroportos e uma análise da influência desses padrões na eficiência e na resiliência do sistema de transporte aéreo do Brasil.

2. Material e Métodos

Os dados utilizados na análise deste estudo foram obtidos na base Dados Estatísticos do Transporte Aéreo^[15], disponível no site oficial da Anac, que reúne informações por aeroporto desde janeiro de 2000 até dezembro de 2023, com nível de detalhamento adequado às análises propostas. Para identificar os aeroportos e obter suas descrições (e não apenas os códigos), foram usados os dados do cadastro de aeroportos, fornecido em formato “Comma Separated Values” (CSV) pela Anac^[16].

A fim de garantir maior especificidade, foram consideradas apenas informações referentes a voos regulares domésticos realizados por companhias aéreas nacionais, em etapas remuneradas sob uma numeração de horário de transporte. Após a coleta, realizou-se a síntese e a descrição dos dados utilizados neste estudo (Tabela 1).

Tabela 1. Descrição das informações disponíveis na base Dados Estatísticos do Transporte Aéreo, de 2020 a 2023

Informações	Descrição
“Available Tonne Kilometer” (ATK)	O volume de Tonelada Quilômetro Oferecida é calculado pela fórmula: $ATK = \text{Payload capacity} * \text{Distância} / 1.000$
“Revenue Tonne Kilometer” (RTK)	O volume de Toneladas Quilômetros Transportadas é calculado pela fórmula: $RTK = \text{Peso efetivo} * \text{Distância} / 1.000$ Na qual, o peso efetivo considera todas as cargas, correios e passageiros, assumindo um peso estimado de 75 kg para cada passageiro.
Combustível	Quantidade de combustível consumida pela aeronave em litros.
Distância	Quilometragem total de distância entre os aeroportos de origem e destino, considerando a curvatura da Terra.
Horas voadas	Total de horas voadas entre os aeroportos de origem e destino da etapa.
Decolagens	Quantidade total de decolagens que ocorreram entre a mesma origem e destino.
Carga paga em km	O volume de carga paga (kg) em cada quilômetro; é calculado pela fórmula: $\text{Carga paga km} = \text{Carga paga (kg)} / \text{Distância}$
Carga grátis em km	O volume de carga grátis (kg) em cada quilômetro; é calculado pela fórmula: $\text{Carga grátis km} = \text{Carga grátis (kg)} / \text{Distância}$
Correio em km	O volume de correio (kg) em cada quilômetro; é calculado pela fórmula: $\text{Correio km} = \text{Correio (kg)} / \text{Distância}$
Assentos	Quantidade de assentos disponíveis na aeronave para cada etapa do voo.
“Payload capacity”	Peso total disponível para realizar o transporte de passageiros, carga e correio, em quilogramas.
Empresa aérea	Empresa aérea responsável por operar as etapas.
Ano e mês	Data prevista para realizar o início da primeira etapa do voo.
Natureza do voo	Divide-se em: - Doméstico: quando tanto o pouso como a decolagem foram realizados no Brasil por empresas aéreas nacionais; - Internacional: nos demais casos (que não foram considerados nesse estudo).
Tipo de voo	Divide-se em: - Improdutivos: voos não remunerados, como, por exemplo, voos para treinamentos ou realização de manutenção na aeronave; - Regulares: voos que são realizados sob uma numeração de horário de transporte (Hotran), que são remunerados e realizados de forma contínua; - Não regulares: voos sem uma numeração da Hotran, que são remunerados, porém não são realizados de forma contínua. Por exemplo: voos “charters” ou fretamentos.
Passageiros pagos	Passageiros que realizam a compra de assentos gerando receita para a empresa aérea, como, por exemplo, compras realizadas pelo site ou balcão da empresa aérea, aquisições feitas através de agências de viagens, passagens com desconto ou adquiridas pelo programa de fidelização.
Passageiros grátis	Passageiros que não geram receita para a empresa aérea, como tripulantes, desconto para funcionário, viagens a negócio da própria empresa aérea.
Carga paga	Quantidade total objetos transportados que tenham gerado receita de forma direta ou indireta, excluindo todas as bagagens e itens de correio.
Carga grátis	Quantidade total de objetos transportados que não geraram receita de forma direta ou indireta, excluindo todas as bagagens e itens de correio.
Correio	Quantidade de objetos transportados de rede postal para cada etapa do voo (em kg).
Bagagem	Quantidade de bagagem despachada para cada etapa do voo (em kg).

Fonte: Adaptado da Anac^[17]

A Anac^[17] disponibiliza a base de Dados Estatísticos do Transporte Aéreo de 2000 até 2023. Para delimitar o corpus e reproduzir a malha aérea atual, consideraram-se apenas os dados de 2023. Como resultado, foi obtida uma base com 16.170 registros, que indicam o número total de voos por mês, companhia aérea e trecho, definido pela combinação entre aeroportos de origem e destino.

Na Tabela 2, apresenta-se o resumo estatístico das variáveis disponíveis no conjunto de dados analisado. As variáveis ATK e RTK representam, respectivamente, a capacidade de transporte e o volume real de carga transportada. Observa-se que tanto o ATK quanto o RTK apresentam valores mínimos iguais a zero, o que sugere ausência de atividade em algumas rotas ou períodos. As medianas e médias superam significativamente os quartis, o que revela uma distribuição assimétrica com presença de valores muito altos.

Tabela 2. Resumo estatístico das variáveis disponíveis no conjunto de dados completo, composto por dados mensais de voos em todos os aeroportos nacionais

Variável	Mínimo	1º quartil	Mediana	Média	3º quartil	Máximo	Qtd. n/a¹
ATK (km kg / 10³)²	0	50.433	291.708	803.219	990.592	12.012.300	439
RTK (km kg / 10³)³	0	30.304	180.675	518.467	639.294	8.068.420	439
Combustível (L)	3	17.703	90.789	204.163	258.970	2.521.250	438
Distância (km)	0	5.589	20.916	44.427	56.327	474.094	439
Decolagens	1	9	28	48	60	677	438
Carga paga (10⁴ km)	0	6	238	3.273	1.672	355.131	439
Carga grátis (10³ km)	0	0	1	433	153	4.218	439
Correio (10³ km)	0	0	0	800	0	269.859	439
Assentos	0	678	4.041	7.251	9.706	99.576	438
“Payload capacity” (kg)	819	71.762	421.591	786.341	1.010.385	11.356.300	438
Passageiros pagos	0	369	2.832	5.538	7.346	73.714	92
Passageiros grátis	0	2	35	120	133	2.228	92
Carga paga (kg)	0	73	2.871	21.292	17.332	1.355.461	92
Carga grátis (kg)	0	0	1	383	164	28.675	92
Correio (kg)	0	0	0	1.194	0	311.615	92
Bagagem (kg)	0	2.465	18.481	37.245	49.086	361.933	92

Fonte: Resultados originais da pesquisa

Nota: ¹Qtd. n/a: quantidade de dados sem preenchimento; ²ATK: “Available Tonne Kilometer”; ³RTK: “Revenue Tonne Kilometer”

A quantidade de combustível consumida por aeronave, em litros, variou consideravelmente, com média de aproximadamente 204.163 litros. Novamente, observou-se ampla dispersão de valores, o que indica diferentes padrões de consumo e distâncias de voo. A quilometragem média percorrida entre aeroportos durante um mês, por companhia aérea, foi de 44.427 km — em torno de 1.480 km voados por dia. As decolagens apresentaram grande variação, com média de 48 decolagens mensais para um mesmo trecho, com aeroporto de origem e destino iguais, por companhia aérea. Esses dados evidenciam que as companhias tendem a operar mais de um voo por dia para o mesmo destino. O valor máximo, de 677 decolagens em um mês, esteve associado à Latam Airlines, na ponte aérea entre os aeroportos de São Paulo e Rio de Janeiro, com mais de 22 voos diários. As quantidades de assentos disponíveis e o peso total disponível para transporte de passageiros, carga e correio variaram amplamente, o que demonstra a diversidade das aeronaves e das operações de transporte aéreo.

Foi possível identificar uma diferença notável entre a quantidade de passageiros que geraram receita para a empresa aérea (pagos) e aqueles que não geraram receita (grátis), os quais representaram 2% do total transportado. Esse fator pode impactar a análise da lucratividade das rotas e voos. Por fim, para as variáveis carga paga, carga grátis, correio e bagagem, observou-se, novamente, ampla dispersão de valores, o que indica variações significativas no volume transportado entre diferentes rotas e voos.

Ao analisar as informações referentes à quantidade de passageiros e à quantidade de decolagens ao longo dos anos (Figura 1), é notório o impacto sofrido pela aviação nos anos 2020 e 2021 devido à pandemia de covid-19. Pode-se observar que, apesar da diminuição na quantidade de decolagens, a quantidade de passageiros pagantes continuou a aumentar. Essa alteração pode ser justificada pela utilização de aeronaves com maior capacidade de transporte de passageiros, o que permite diminuir a quantidade de decolagens e manter o aumento no número de passageiros.

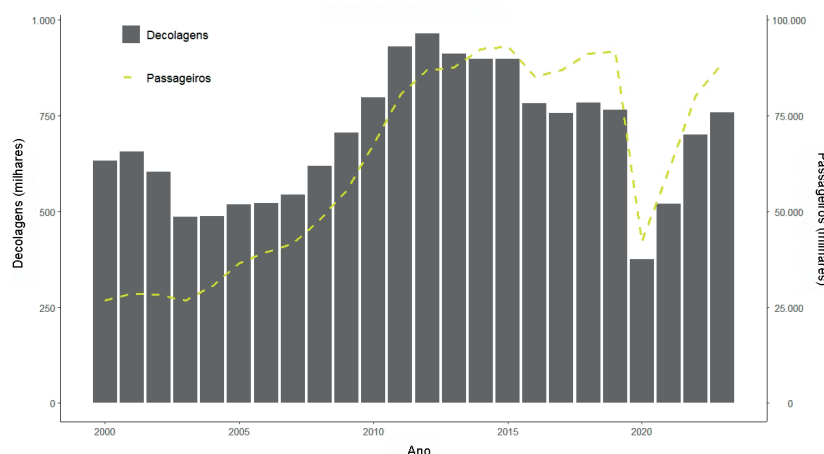


Figura 1. Quantidade de decolagens e passageiros pagantes em voos regulares nacionais

Fonte: Resultados originais da pesquisa

Para realizar a SNA, foi considerado o histórico dos voos regulares realizados durante o ano de 2023. A partir dessa premissa, obteve-se um total de 172 aeroportos distribuídos geograficamente (Figura 2), com a quantidade de decolagens realizadas usada como diâmetro do nó que representa cada aeroporto — ponderação também utilizada por Prabhakar e Anbarasi^[14].



Figura 2. Mapa dos aeroportos brasileiros com base nos voos realizados em 2023

Fonte: Resultados originais da pesquisa

Como citado por Knafic^[18], é de extrema importância apresentar os dados de forma clara e acessível, com visualizações adequadas para cada tipo de gráfico. Dito isso, foi elaborado um “dashboad” no aplicativo Power BI¹, reunindo as análises realizadas ao longo do estudo.

“Social Network Analysis”

“Social Network Analysis” (SNA) é uma metodologia intrincada que oferece uma visão minuciosa das interações entre os indivíduos em um sistema específico^[19]. Nessa abordagem, a representação de um sistema ocorre por meio de grafos, nos quais os participantes são representados como nós, enquanto as conexões entre eles são expressas por links, que podem abranger diversas relações, como amizades, colaborações profissionais e trocas de informações.

¹“Dashboad” elaborado por meio do aplicativo Power BI disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiaWZAwZmQxYmYtOTI4OC00MzllLWJlODctMTIzODViM-jYyNjI4liwidCI6IjdlOTNiMjg2LWlyOWEtNDQ1NC1hNDFhLUU4NDZWM5ZGVINSjQ>

A contribuição fundamental da SNA reside na capacidade de revelar padrões e estruturas subjacentes nas relações sociais. Por meio da aplicação de métodos matemáticos e visuais, os pesquisadores identificam comunidades, influenciadores-chave, fluxos de informação e pontos de vulnerabilidade em uma rede^{[19],[12],[11]}.

Essa metodologia pode ser aplicada em diferentes áreas, desde estudos acadêmicos sobre redes sociais on-line até análises de redes empresariais e investigações em saúde pública^[20]. Em resumo, SNA proporciona uma lente para examinar e compreender a complexidade das relações humanas e sua influência em diversos contextos sociais.

Neste trabalho, os conceitos de SNA foram aplicados à aviação, com os aeroportos considerados como nós e os voos realizados entre eles como os “links” de uma rede. As redes sociais podem ser conectadas de duas maneiras: direcionada ou não direcionada. Uma rede é direcionada quando há um sentido definido para a relação entre os nós, isto é, a conexão do nó A para B difere da conexão de B para A. No entanto, nos casos de redes não direcionadas, a ordem dos nós conectados não importa, o que torna as conexões entre A e B tão relevantes quanto as de B para A. Para este estudo, foi utilizada uma abordagem direcionada, que considera o sentido dos voos, ou seja, origem e destino.

Com base nas informações dos nós e links, foi possível extrair uma série de indicadores que avaliaram as interações em uma rede. Conforme descrito por Scott^[19], existem indicadores relevantes, como “betweenness” e “closeness”, que foram empregados neste trabalho. Para compor a análise dos aeroportos mais relevantes, considerou-se um conjunto de indicadores, agrupados em métricas gerais da rede e métricas individuais de cada nó^[20].

Métricas gerais da rede

Dentre as métricas gerais da rede, calculou-se a densidade, que se refere à proporção de conexões existentes em relação ao total possível. Uma rede é considerada densa quando os nós possuem muitas conexões entre si, o que facilita a troca de informações ou recursos. Por outro lado, uma rede esparsa possui baixa densidade, ou seja, poucas conexões em relação ao número máximo possível, o que resulta em maior fragmentação. A densidade da rede é definida matematicamente pela Equação (1):

$$D = \frac{2E}{N(N-1)} \quad (1)$$

onde, D: representa a densidade da rede; E: é o número de arestas na rede; N: é o número de nós na rede.

Outra métrica importante para verificar a conectividade e eficiência da rede é o diâmetro, que corresponde à distância máxima entre dois nós, medida pelo número de conexões entre eles. Quanto menor esse valor, maior a conectividade da rede, o que demonstra maior eficiência no transporte dos passageiros. Em contrapartida, um diâmetro elevado indica menor eficiência, já que a comunicação entre os nós demora mais para ocorrer. O diâmetro da rede é calculado pela Fórmula (1):

$$\Delta = d(i,j) \quad (1)$$

onde, Δ : é o diâmetro da rede; $d(i,j)$ é a distância mais curta entre os nós i e j.

Além disso, foi calculado o raio da rede, que se refere à quantidade mínima de conexões necessárias para conectar o nó central a qualquer outro nó. Enquanto o diâmetro é um parâmetro global, o raio concentra-se apenas no nó central. Caso o nó central esteja próximo dos demais, tem-se um raio pequeno, o que evidencia uma facilidade de comunicação nessa rede. No contexto apresentado, isso equivale a afirmar que um passageiro precisa de poucas escalas para chegar a qualquer aeroporto. Por sua vez, um raio grande revela maior afastamento dos nós em relação ao nó central, o que dificulta a comunicação. O raio da rede é descrito pela Fórmula (2):

$$\rho = \min_i \max_j d(i,j) \quad (2)$$

onde, ρ : é o raio da rede, é calculado como o menor ($\min_i$) de todas as maiores ($\max_j$) distâncias; $d(i,j)$: é a distância mais curta entre os nós i e j.

Outra métrica relevante é o comprimento médio do caminho, associado à eficiência global da rede em termos das distâncias médias entre todos os pares de nós conectados. Valores reduzidos indicam maior eficiência da rede, enquanto valores elevados estão relacionados a redes menos eficientes. O cálculo do comprimento médio é obtido conforme a Equação (2):

$$L = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i \neq j} d(i,j) \quad (2)$$

onde, L: é o comprimento médio do caminho; N: é o número de nós presentes na rede; $d(i,j)$: é a distância mais curta entre os nós i e j.

Métricas para cada um dos aeroportos

Dentre as métricas calculadas para cada um dos aeroportos, destaca-se o “degree”, que representa a quantidade de conexões que um nó possui. No caso dos aeroportos, o grau corresponde à soma do “degree-in”, que indica o número de voos que chegam ao aeroporto, e do “degree-out”, que representa o número de voos que partem do aeroporto para outros destinos. Valores elevados de “degree” geralmente caracterizam aeroportos que funcionam como “hubs” e desempenham papel crucial na conectividade da malha aérea.

Outra métrica importante é a “eccentricity”, que calcula a distância máxima de um nó até os outros nós da rede. No contexto deste estudo, essa medida representa a quantidade máxima de conexões que um passageiro precisaria realizar para sair de um aeroporto específico e chegar a qualquer outro da malha aérea brasileira. Um aeroporto com baixa “eccentricity” está, portanto, mais centralmente localizado, o que facilita viagens mais diretas.

O “clustering coefficient” é uma medida do grau de agrupamento de nós em uma rede, que indica o quão conectados estão os vizinhos de um nó em relação ao total possível de conexões entre eles. Um alto “clustering coeficiente” sugere que os aeroportos conectados a um determinado aeroporto também mantêm ligações entre si, o que configura “clusters” de alta conectividade, como “hubs” regionais.

A “centrality” é uma métrica que avalia a importância de um nó dentro da rede. Finkel e Del-Vecchio^[21] e Brandão et al.^[23] a utilizaram em seus estudos para identificar a relevância dos nós. No contexto deste trabalho, os nós representam os aeroportos brasileiros. A centralidade pode ser calculada por diferentes métodos; entre os mais relevantes, destacam-se a “betweenness centrality” e a “closeness centrality”. A “betweenness centrality” mede quantas vezes um nó atua como intermediário em caminhos curtos entre outros nós, o que indica sua importância como ponto de conexão. A “closeness centrality” reflete o nível de acessibilidade de um aeroporto aos demais destinos, com base na média das distâncias mais curtas entre ele e os outros nós da rede.

O “betweenness” é uma medida que quantifica a importância de um nó com base na quantidade de caminhos que passam por ele. Em uma malha aérea, aeroportos com alta intermediação são pontos estratégicos, pois facilitam conexões entre diferentes partes da rede. Esses aeroportos são cruciais para a eficiência do fluxo de tráfego aéreo, e sua falha pode comprometer significativamente a conectividade. O “closeness” é uma métrica que calcula a média dos menores caminhos que um nó precisa percorrer para alcançar todos os outros nós da rede. No contexto de aviação, essa medida indica a facilidade de deslocamento de um passageiro a partir de um aeroporto específico para qualquer outro, com base nas rotas mais curtas e no menor número de conexões. Aeroportos com alto “closeness” oferecem acesso rápido a uma grande parte da malha aérea.

Por fim, um nó é considerado uma “bridge” se atuar como elo crucial entre duas partes da rede. No contexto da aviação, um aeroporto que funcione como “bridge” desempenha papel vital na manutenção da conectividade entre diferentes regiões. Esses aeroportos são frequentemente candidatos a se tornarem “hubs”, pois conectam várias redes de voos. A perda de uma “bridge” pode fragmentar a rede, aumentar o tempo de viagem e dificultar a conectividade geral.

Os códigos para SNA foram desenvolvidos no software R versão 4.1.2.

3. Resultados e Discussão

Malha aérea

A partir dos dados obtidos, referentes ao ano de 2023, foi elaborado o gráfico que representa a malha aérea brasileira (Figura 3).

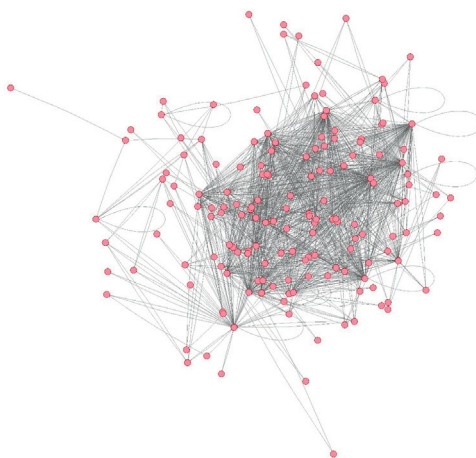


Figura 3. Grafo que representa a malha aérea brasileira

Fonte: Resultados originais da pesquisa

As métricas da rede foram calculadas e indicaram uma densidade de 4,62%, que, por estar abaixo de 10%, evidenciou tratar-se de uma rede esparsa^[19]. Apesar de esparsa, a rede apresenta boa conectividade, visto que o diâmetro foi de seis conexões; ou seja, no caso mais extremo, um passageiro precisa passar por seis aeroportos distintos para completar sua viagem (Tabela 3). Esse cenário corresponde a uma viagem do Aeroporto Frederico Carlos Müller, em Água Boa (MT), com destino ao Aeroporto de Óbidos, no município de Óbidos (PA). Para realizar essa viagem, na malha aérea utilizada no estudo, o passageiro deve passar pelos aeroportos Marechal Rondon, em Várzea Grande (MT), Eduardo Gomes, em Manaus (AM), Maestro Wilson Fonseca, em Santarém (PA) e Monte Alegre (PA), total de seis aeroportos até o destino.

Apesar desse caso extremo, as viagens costumam ter poucas conexões, como se pode observar pela métrica do caminho médio da rede. Em média, um passageiro precisa de 2,6 conexões para alcançar seu aeroporto de destino (Tabela 3).

Tabela 3. Métricas gerais da rede, com peso atribuído à quantidade de decolagens realizadas

Métrica	Valor
Densidade da rede (%)	4,62
Diâmetro da rede (conexões)	6
Raio da rede (conexões)	3
Comprimento médio do caminho (conexões)	2,60

Fonte: Resultados originais da pesquisa

Essas informações também colaboram com o que pode ser observado no histograma (Figura 4), que apresenta uma grande concentração de aeroportos com menos de 20 conexões e poucos casos com muitas conexões, cujo máximo é 132.

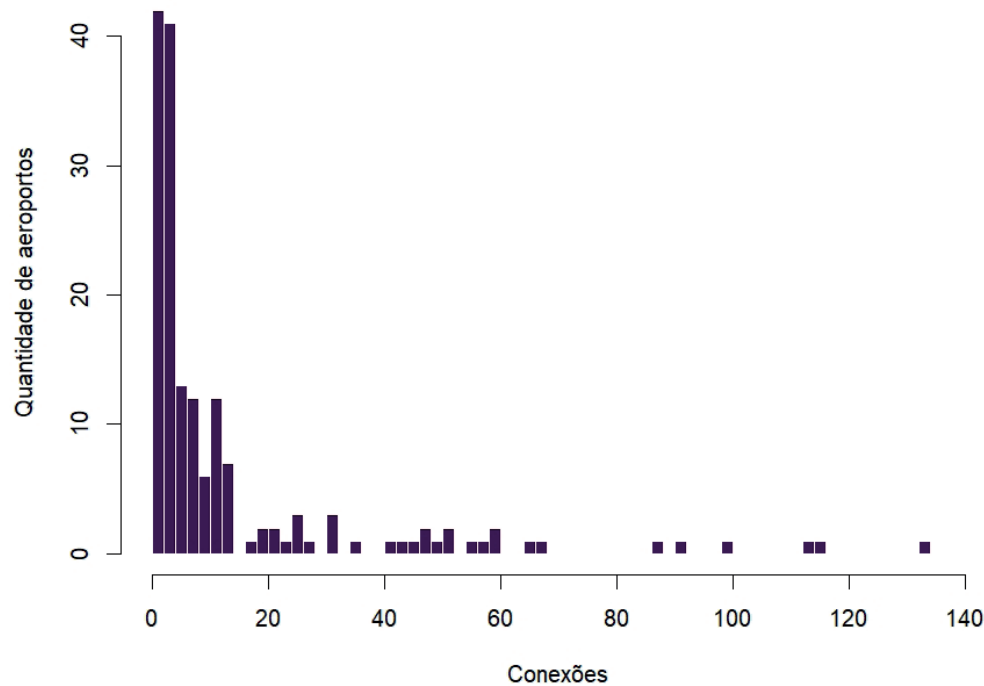


Figura 4. Histograma do “degree” representa a quantidade de conexões que os aeroportos possuem

Fonte: Resultados originais da pesquisa

A partir dessa rede, foi possível identificar 10 aeroportos considerados “hubs”, distribuídos geograficamente nos municípios apresentados na Figura 5. Destaca-se a quantidade de decolagens realizadas em cada um, a fim de evidenciar os aeroportos com maior concentração de voos.

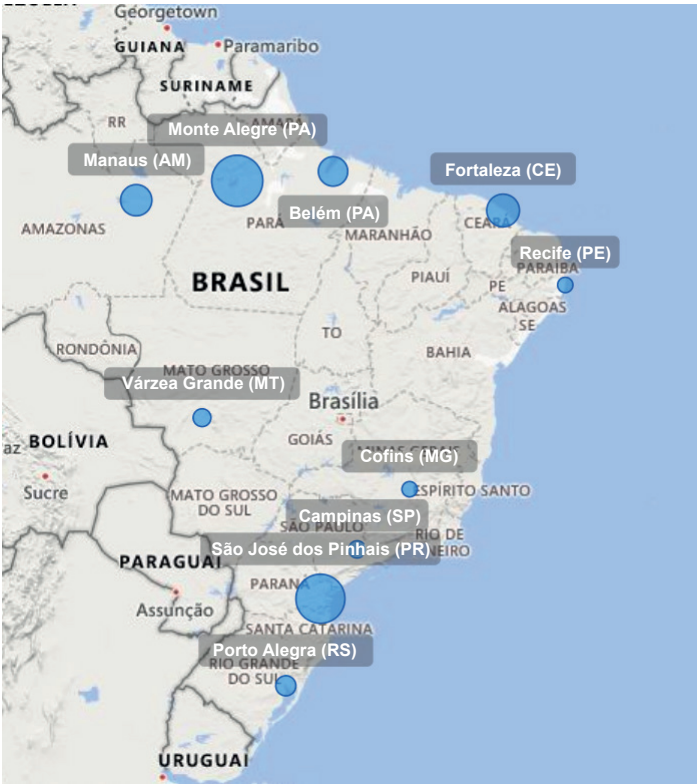


Figura 5. Mapa com os dez municípios que possuem aeroportos considerados como ponte
Fonte: Resultados originais da pesquisa

A partir desse mapa, percebe-se a importância dos aeroportos localizados nos municípios de Campinas - Viracopos (SP), Cofins - Tancredo Neves (MG), Monte Alegre - Aeroporto de Monte Alegre (PA), Belém - Aeroporto Internacional de Belém (PA), Manaus - Eduardo Gomes (AM), Fortaleza - Pinto Martins (CE), Recife - Aeroporto Internacional de Recife (PE), Porto Alegre - Salgado Filho (RS), São João dos Pinhais - Afonso Pena (PR) e Várzea Grande - Marechal Rondon (MT). Dentre esses, destacam-se Monte Alegre, São José dos Pinhais, Fortaleza e Manaus, que apresentam os maiores círculos azuis. Todos esses aeroportos, além de serem classificados como “hubs”, registram grande volume de decolagens.

Foram consideradas as métricas de “betweenness” e “closeness” para ordenar os dez principais aeroportos (Figura 6).



Figura 6. Dez principais aeroportos conforme as métricas de “betweenness” (esquerda) e “closeness” (direita)
Fonte: Resultados originais da pesquisa

Ao analisar os resultados apresentados, observou-se que sete aeroportos estavam listados entre os principais para ambas as métricas (“betweenness” e “closeness”): Viracopos (SP), Guarulhos (SP), Presidente Juscelino Kubitschek (DF), Tancredo Neves (MG), Internacional de Recife (PE), Pinto Martins (CE) e Marechal Rondon (MT). Pela métrica “betweenness” destacam-se também os aeroportos Eduardo Gomes (AM), Internacional de Belém (PA) e Salgado Filho (RS), considerados igualmente como “hubs”. Para a métrica “closeness”, entre os dez principais aeroportos, encontram-se Galeão (RJ), Internacional do Rio Grande do Norte (RN) e Congonhas (SP).

Malha aérea ponderada por decolagens

A fim de aprofundar as análises, foi gerada uma representação gráfica da malha aérea, na qual o peso atribuído a cada aeroporto corresponde à quantidade de decolagens realizadas (Figura 7).

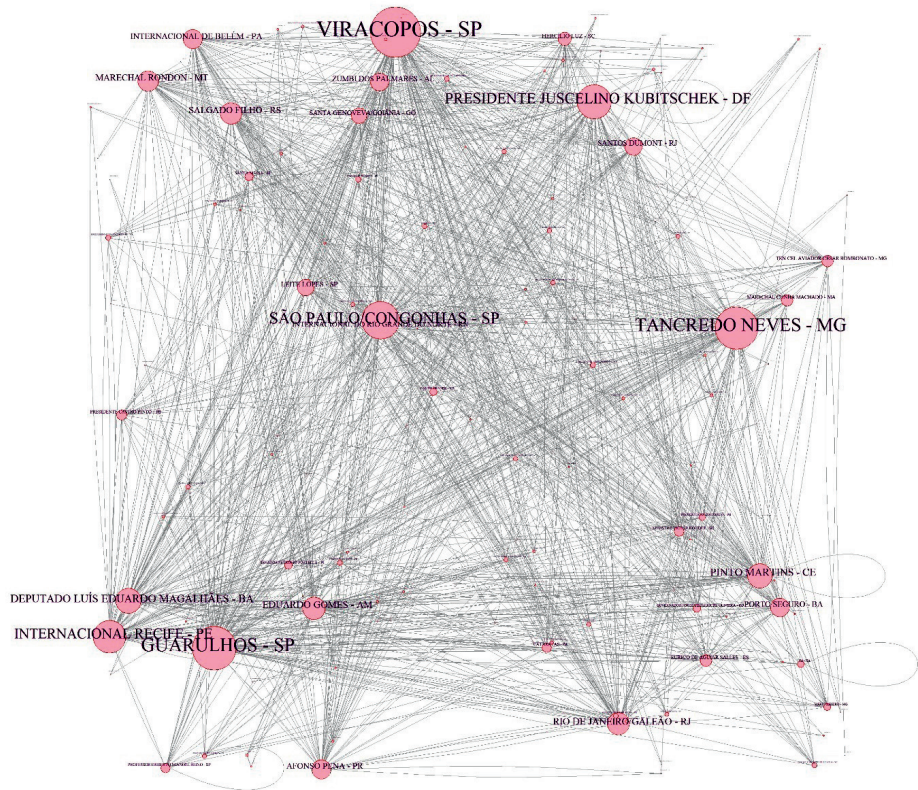


Figura 7. Grafo que representa a rede social dos aeroportos com peso atribuído à quantidade de decolagens realizadas
Fonte: Resultados originais da pesquisa

A nova rede permitiu o cálculo de novas métricas de SNA (Tabela 4).

Tabela 4. Métricas gerais da rede, com peso atribuído à quantidade de decolagens realizadas

Métrica	Valor
Densidade da rede (%)	4,62
Diâmetro da rede (conexões)	1.119
Raio da rede (conexões)	3
Comprimento médio do caminho (conexões)	165

Fonte: Resultados originais da pesquisa

Além disso, também foram obtidas as listagens dos dez principais aeroportos, com base nos conceitos de “betweenness” e “closeness” (Figura 8).

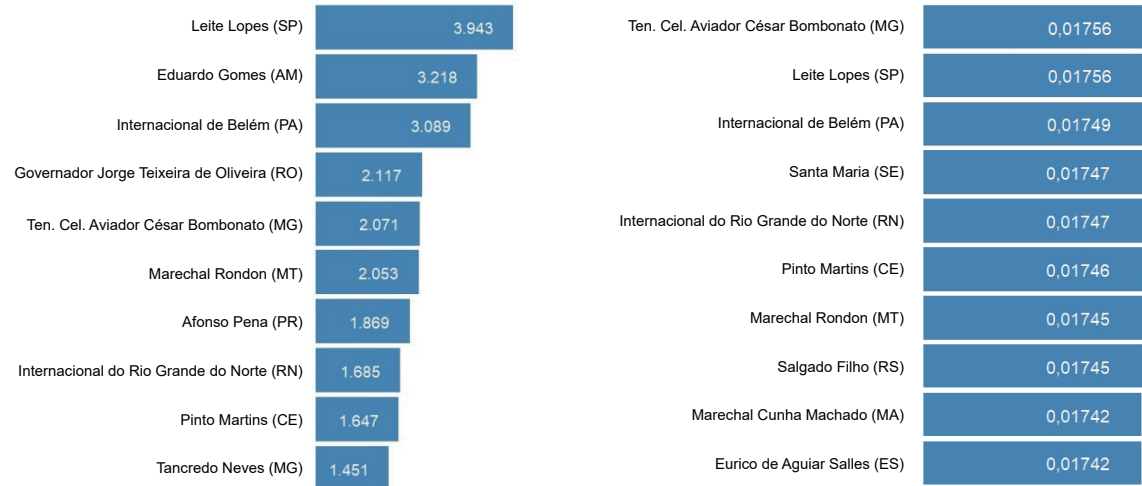


Figura 8. Dez principais aeroportos segundo as métricas de “betweenness” (esquerda) e “closeness” (direita), com ponderação pela quantidade de decolagens realizadas
Fonte: Resultados originais da pesquisa

Ao analisar a Figura 8, observou-se a presença de alguns aeroportos em ambas as listas, como o Tenente Coronel Aviador César Bombonato – localizado em Belo Horizonte (MG), Leite Lopes – em Ribeirão Preto (SP) e Aeroporto Internacional de Belém (PA). Embora não apresentem as maiores concentrações de decolagens, esses aeroportos demonstram relevância na malha aérea quando a análise considera a quantidade de decolagens realizadas.

Malha aérea ponderada por passageiros

Repetiu-se a análise, desta vez com a quantidade de passageiros utilizada como peso de cada um dos nós (Figura 9).

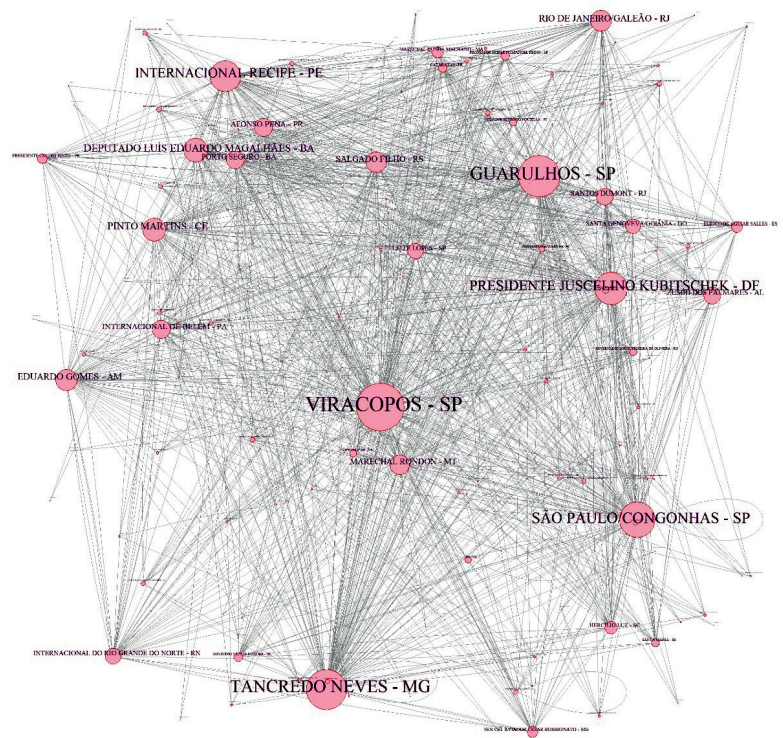


Figura 9. Grafo da rede social dos aeroportos, com peso atribuído à quantidade total de passageiros por voo
Fonte: Resultados originais da pesquisa

A partir dessa análise, foi possível verificar se os aeroportos com maior concentração de passageiros também apresentavam um número considerável de decolagens. Como já mencionado, a modernização das aeronaves possibilitou o transporte de uma quantidade significativamente maior de passageiros, mesmo com um número reduzido de decolagens, devido à maior capacidade das aeronaves de grande porte. Esse é um fator que impacta a análise da rede. As métricas de SNA foram novamente calculadas para essa nova rede e estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5. Métricas gerais da rede, com peso atribuído à quantidade total de passageiros em cada voo

Métrica	Valor
Densidade da rede (%)	4,62
Diâmetro da rede (conexões)	83.967
Raio da rede (conexões)	3
Comprimento médio do caminho (conexões)	6.423

Fonte: Resultados originais da pesquisa

Como esperado, as métricas gerais indicaram que a rede permaneceu esparsa (Tabela 5) e apresentou similaridade com a rede obtida anteriormente (Tabela 4). Na análise dos dez principais aeroportos da malha aérea ponderada pela quantidade de passageiros (Figura 10), constatou-se uma mudança significativa, pois aeroportos como Marechal Cunha Machado – localizado em São Luiz (MA), Eurico de Aguiar Salles – em Vitória (ES) e o Aeroporto Internacional do Rio Grande do Norte – em São Gonçalo do Amarante (RN) passaram a apresentar uma relevância maior, não observada nas análises anteriores (Figura 6 e 8).

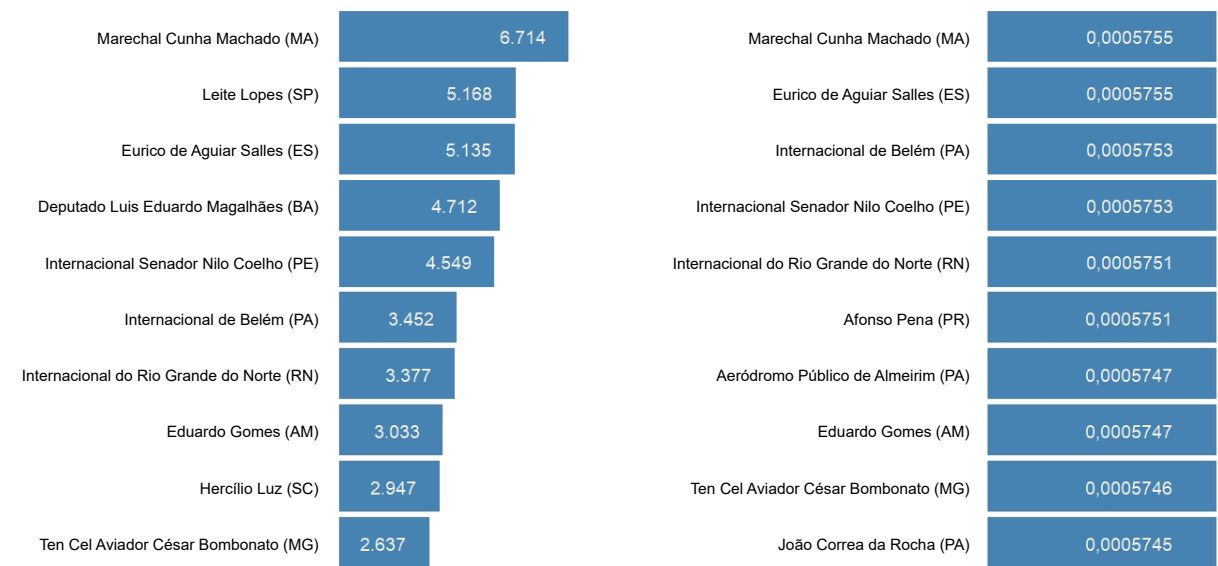


Figura 10. Dez principais aeroportos segundo as métricas de “betweenness” (esquerda) e “closeness” (direita) e a quantidade de passageiros

Fonte: Resultados originais da pesquisa

Análise comparativa

A partir dos resultados apresentados, foi possível observar que os aeroportos apontados como “hub” de fato exercem esse papel para as companhias aéreas. O aeroporto de Viracopos, localizado em Campinas (SP), por exemplo, é utilizado como “hub” pela companhia Azul desde o início de suas operações. Da mesma forma, o Aeroporto Internacional Presidente Juscelino Kubitschek, em Brasília (DF), classificado como “hub”, é empregado estrategicamente pela companhia Latam^[23].

O aeroporto de Marechal Rondon, localizado em Várzea Grande (MT), apareceu como “hub” e esteve presente na lista dos principais aeroportos nas métricas analisadas, tanto na análise de rede sem ponderação quanto na análise ponderada por decolagens. Sua localização estratégica, na região Centro-Oeste brasileira, é explorada por companhias aéreas como a Azul, que utilizam o aeroporto como “hub” regional^[23].

Dentre os resultados apresentados, o aeroporto de Eduardo Gomes de Manaus (AM) e o Aeroporto Internacional de Belém (PA) se destacaram por aparecerem como “hub” da malha atual e por estarem na listagem dos principais aeroportos, tanto para a malha atual quanto para as análises ponderadas por decolagem e passageiros. São aeroportos estratégicos que podem ser explorados pelas companhias aéreas e órgãos governamentais, por exemplo, por meio da avaliação da possibilidade de aumento de voos nessas regiões ou da realização de análises de impacto econômico no município.

Os aeroportos destacados como “hub” anteriormente possuem uma alta conectividade com outros aeroportos, o que pode provocar impactos significativos em toda a malha aérea brasileira em caso de atrasos nos voos realizados nesses locais — por exemplo, o passageiro perde o voo seguinte quando não há escala. Para evitar tais situações, é possível utilizar técnicas de otimização para melhorar a precisão dos horários dos voos^[24] ou realizar um estudo de eficiência com a técnica “Optimistic Network Cross-Efficiency” (ONCE)^[9].

4. Conclusão

Este estudo utilizou métricas de “Social Network Analysis” (SNA), “betweenness” e “closeness” para analisar a malha aérea brasileira no momento de retomada do setor aéreo após os impactos da pandemia de covid-19, a fim de identificar os aeroportos brasileiros mais relevantes. Para a análise, foram utilizados dados do transporte aéreo nacional disponibilizados pela Anac.

Observou-se que, apesar de esparsa, a rede de voos brasileiros apresenta boa conectividade, embora essa conexão se comprometa em aeroportos com baixa movimentação. Quanto à análise das métricas de relevância dos aeroportos, os resultados variaram conforme a ponderação adotada.

A análise de “closeness” confirmou a relevância de aeroportos de grande porte da malha aérea brasileira e destacou a importância atribuída a aeroportos de pequeno porte. Destaca-se que esses últimos merecem atenção dos governos locais e das companhias aéreas, pois existe a possibilidade de explorar essas rotas ainda pouco frequentadas em comparação aos demais aeroportos. Para trabalhos futuros, sugere-se a análise das informações por meio do algoritmo HITS, uma técnica de análise de redes que identifica autoridades e “hubs”, bem como a análise do impacto ocasionado por atrasos de voos realizados a partir dos aeroportos considerados como ponte, chamados, neste estudo, de aeroportos de “hub”.

Contribuições dos autores: Todos os autores contribuíram para: Conceitualização; Definição da Metodologia; Aquisição de Dados; Análise de Dados; Escrita e Edição.

Como citar: Cruvinel, M.V.S.; Silva, F.P. 2025. Análise de redes sociais aplicada aos aeroportos brasileiros. Quaestum 6: e2675849.

Referências

- [1] Périco, A.E.; Santana, N.B.; Rebelatto, D.A.N. 2017. Eficiência dos aeroportos internacionais brasileiros: uma análise envoltória de dados com bootstrap. *Gestão & Produção* 24(2): 370-381. <https://doi.org/10.1590/0104-530X1810-15>.
- [2] Oliveira, B.C.; Castilho, D. 2020. Entre fluxos e escalas: COVID-19 e suas implicações na rede de transporte aéreo no primeiro semestre de 2020. *GEOgraphia* 22(49). <https://doi.org/10.22409/geographia2020.v22i49.a45882>.
- [3] Paiva, I.V.L.; Assunção, M.V.D.; Medeiros, M.; Paes, D.C.A.S.; Moreira, L.N.R. 2021. A influência da movimentação de passageiros nos aeroportos brasileiros quanto ao aumento do contágio da COVID-19. *Holos – IV Dossiê COVID-19 e o mundo em tempos de pandemia* 37(4): e11281. <https://doi.org/10.15628/holos.2021.11281>.
- [4] Yang, S.; Chen, Z. 2022. The impact of COVID-19 on high-speed rail and aviation operations. *Sustainability* 14(3): 1683. <https://doi.org/10.3390/su14031683>.
- [5] Agência Nacional de Aviação Civil. 2022a. Tarifa aérea doméstica acumula alta de 21,7% no primeiro semestre do ano. Disponível em: <<https://www.gov.br/anac/pt-br/noticias/2022/tarifa-aerea-domestica-acumula-alta-de-21-7-no-primeiro-semester-do-ano>> Acesso em: 10 out. 2022.
- [6] Frazão, J.A.F.; Oliveira, A.V.M. 2020. Distribuição de renda e demanda por transporte aéreo: uma especificação de modelo econométrico para o mercado doméstico brasileiro. *Transportes* 28(3). <https://doi.org/10.14295/transportes.v28i5.1662>.
- [7] Machado, A.F.; Cardoso, D.F.; Michel, R.C.; Melo, G.B.V.; Guimarães, A.D. 2022. Efeitos da COVID-19 na economia da cultura no Brasil. *Revista Econômica do Nordeste* 53(1): 124-136. <https://doi.org/10.61673/ren.2022.1324>.
- [8] Agência Nacional de Aviação Civil. 2022b. Demanda e oferta do transporte aéreo atingiram 99% do percentual apurado no período pré-pandemia. Disponível em: <<https://www.gov.br/anac/pt-br/noticias/2022/demanda-e-oferta-do-transporte-aereo-atingiram-99-do-percentual-apurado-no-periodo-pre-pandemia>> Acesso em: 10 out. 2022.
- [9] Ganji, S.S.; Mardani, A.; Jahed, R. 2024. Assessment of Iranian airlines using network cross-efficiency DEA and the regret theory. *Case Studies on Transport Policy* 18: 101266. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2024.101266>.
- [10] Wang, F. 2006. *Quantitative Methods and Applications in GIS*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420004281>.
- [11] Siozos-Rousoulis, L.; Robert, D.; Verbeke, W. 2021. A study of the U.S. domestic air transportation network: temporal evolution of network topology and robustness from 2001 to 2016. *Journal of Transportation Security* 14: 55-78. <https://doi.org/10.1007/s12198-020-00227-x>.

- [12] Wang, J.; Mo, H.; Wang, F.; Jin, F. 2011. Exploring the network structure and nodal centrality of China's air transport network: A complex network approach. *Journal of Transport Geography* 19(4): 712–721. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2010.08.012>.
- [13] Bombelli, A.; Santos, B.F.; Tavasszy, L. 2020. Analysis of the air cargo transport network using a complex network theory perspective. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 138: 101959. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.101959>.
- [14] Prabhakar, N.; Anbarasi, L.J. 2021. Exploration of the global air transport network using social network analysis. *Social Network Analysis and Mining* 11(26). <https://doi.org/10.1007/s13278-021-00735-1>.
- [15] Agência Nacional de Aviação Civil. 2022c. Aéreas brasileiras apresentaram recuperação financeira após impacto causado pela pandemia. Disponível em: <<https://www.gov.br/anac/pt-br/noticias/2022/aereas-brasileiras-apresentaram-recuperacao-financeira-apos-impacto-causado-pela-pandemia>> Acesso em: 10 out. 2022.
- [16] Agência Nacional de Aviação Civil. 2025. Lista de aeródromos civis cadastrados - Cadastro de aeródromos - Formato CSV. Disponível em: <<https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/regulados/aeroportos-e-aerodromos/lista-de-aerodromos-civis-cadastrados>> Acesso em: 15 abr. 2025.
- [17] Agência Nacional de Aviação Civil. 2024. Voos e operações aéreas - Dados Estatísticos do Transporte Aéreo - Formato CSV. Disponível em: <<https://www.anac.gov.br/aceso-a-informacao/dados-abertos/areas-de-atuacao/voos-e-operacoes-aereas/dados-estatisticos-do-transporte-aereo/>> Acesso em: 20 jul. 2024.
- [18] Knafl, C.N. 2017. Storytelling com dados: um guia sobre visualização de dados para profissionais de negócios. Alta Books. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- [19] Scott, J. 2012. What is Social Network Analysis? Bloomsbury Academic, London, UK. <https://doi.org/10.5040/9781849668187>.
- [20] Newman, M.E.J. 2010. Networks: An Introduction. Oxford University Press, USA. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199206650.001.0001>.
- [21] Finkel, M.D.; Del-Vecchio, R.R. 2021. Analysis of the brazilian stock market through graph centrality measures. *Pesquisa Operacional* 41: e248549. <https://doi.org/10.1590/0101-7438.2021.041.00248549>.
- [22] Brandão, L.C.; Del-Vecchio, R.R.; Mello, J.C.C.B.S.; Francisco, C.N. 2020. Evaluating the importance of brazilian ports using graph centrality measures. *Pesquisa Operacional* 40: 1-17. <https://doi.org/10.1590/0101-7438.2020.040.00193663>.
- [23] Oliveira, B.F.; Oliveira, A.V.M. 2024. Determinantes do planejamento estratégico da rede de uma companhia aérea. *Communications in Airline Economics Research* 1: 10671669. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10671668>.
- [24] Zeng, W.; Ren, Y.; Wei, W.; Yang, Z. 2021. A data-driven flight schedule optimization model considering the uncertainty of operational displacement. *Computer & Operations Research* 133: 105328. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2021.105328>.