



CRESCIMENTO DA AVIAÇÃO COMO MEIO DE TRANSPORTE DE CARGA: UMA ANÁLISE DOS IMPACTOS DAS EMISSÕES DE CARBONO

Gustavo Talarico Menniti Silveira¹

Jairo Afonso Henkes²

RESUMO

Este artigo busca analisar o crescimento da aviação como meio de transporte de cargas no Brasil, entre 2018 e 2024, e suas implicações ambientais, com ênfase nas emissões de carbono. O objetivo geral consistiu em analisar as ações adotadas pelas companhias aéreas cargueiras para a mitigação das emissões, bem como compreender os impactos ambientais associados à expansão do setor. Como objetivos específicos, o estudo examinou a relevância da carga aérea na logística nacional, descreveu a evolução do volume de cargas transportadas no período analisado, identificou as principais estratégias de redução de emissões adotadas pelas companhias aéreas e analisou os impactos ambientais decorrentes do crescimento da atividade. A pesquisa caracteriza-se como descritiva, com abordagem mista, fundamentada em pesquisa bibliográfica, documental e análise institucional, utilizando dados oficiais da Agência Nacional de Aviação Civil, documentos regulatórios e relatórios institucionais. Os resultados indicaram a consolidação da aviação cargueira como modal estratégico para a logística brasileira, acompanhada pelo aumento do consumo energético e das emissões de dióxido de carbono. Identificaram-se avanços regulatórios e iniciativas corporativas voltadas à eficiência operacional, como modernização de frota e adoção de tecnologias, embora ainda insuficientes para a descarbonização plena do setor. Conclui-se que a aviação cargueira é essencial para o desenvolvimento econômico e logístico do país, mas demanda políticas públicas mais robustas e maior incentivo à sustentabilidade ambiental.

Palavras-Chave: aviação cargueira; sustentabilidade; transporte aéreo; emissões de carbono.

¹ Acadêmico do Curso Superior de Tecnologia em Transporte Aéreo. AEROTD. E-mail: gumenniti2@gmail.com

² Mestre em Agroecossistemas (UFSC, 2006). Especialista em Administração Rural (UNOESC, 1997). Engenheiro Agrônomo (UDESC, 1986). Professor e Pesquisador nas Áreas de Gestão Ambiental, Ciências Aeronáuticas, Agronomia, Administração e Engenharia Ambiental. AEROTD. <https://orcid.org/0000-00023762-471X>. E-mail: jairohenkes333@gmail.com

THE GROWTH OF AVIATION AS A MEANS OF CARGO TRANSPORTATION: AN ANALYSIS OF THE IMPACTS OF CARBON EMISSIONS

ABSTRACT

This article aims to analyze the growth of aviation as a means of cargo transportation in Brazil between 2018 and 2024 and its environmental implications, with an emphasis on carbon emissions. The general objective was to analyze the actions adopted by cargo airlines to mitigate emissions, as well as to understand the environmental impacts associated with the expansion of the sector. As specific objectives, the study examined the relevance of air cargo in the national logistics system, described the evolution of cargo volumes transported during the analyzed period, identified the main emission-reduction strategies adopted by airlines, and analyzed the environmental impacts resulting from the growth of the activity. The research is characterized as descriptive, with a mixed-methods approach, based on bibliographic and documentary research and institutional analysis, using official data from the National Civil Aviation Agency, regulatory documents, and institutional reports. The results indicated the consolidation of air cargo as a strategic mode for Brazilian logistics, accompanied by increased energy consumption and carbon dioxide emissions. Regulatory advances and corporate initiatives aimed at operational efficiency, such as fleet modernization and the adoption of new technologies, were identified, although they remain insufficient for the full decarbonization of the sector. It is concluded that air cargo aviation is essential for the country's economic and logistical development, but it requires more robust public policies and greater incentives for environmental sustainability.

Keywords: *air cargo aviation; sustainability; air transport; carbon emissions.*

1 INTRODUÇÃO

A aviação civil ocupa papel central na conectividade global e na integração de mercados, desempenhando funções que vão muito além do transporte de passageiros. Entre essas funções, o transporte aéreo de cargas destaca-se por sua relevância estratégica, sobretudo em países de dimensões continentais como o

Brasil, onde o modal aéreo possibilita rapidez na entrega de mercadorias, integração territorial e suporte a cadeias de suprimentos de alto valor agregado. Nos últimos anos, esse segmento tem apresentado crescimento expressivo, impulsionado principalmente pela expansão do comércio eletrônico e pela crescente demanda por serviços logísticos mais ágeis e eficientes.

Apesar de sua importância econômica e operacional, a aviação cargueira permanece marcada por relativa invisibilidade perante o público em geral. Diferentemente do transporte de passageiros, que recebe atenção constante da mídia, da sociedade e das políticas públicas, o segmento de carga opera de forma mais discreta. Essa condição reflete-se também no meio acadêmico, onde ainda são limitados os estudos que abordam de forma crítica o crescimento da aviação cargueira, seus impactos ambientais e sua contribuição para o desenvolvimento econômico e logístico do país.

O avanço dessa atividade ocorre de forma concomitante ao aumento do consumo energético e das emissões de gases de efeito estufa, especialmente o dióxido de carbono, inserindo o transporte aéreo de cargas no centro do debate global sobre mudanças climáticas e neutralidade de emissões. Organizações nacionais e internacionais, como a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), a *International Air Transport Association* (IATA) e o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), têm intensificado o monitoramento dessas emissões por meio de inventários, relatórios técnicos e normativas específicas, com o objetivo de mitigar os impactos ambientais associados à atividade aérea.

No contexto brasileiro, o transporte aéreo de cargas assume papel ainda mais relevante ao conectar regiões de difícil acesso e reduzir o tempo de entrega de mercadorias em áreas afastadas dos grandes centros urbanos, especialmente onde há limitações na infraestrutura terrestre. Dados oficiais indicam crescimento contínuo da movimentação de cargas aéreas entre 2018 e 2023, tanto em rotas domésticas quanto internacionais, reforçando a consolidação do modal como elemento estratégico da logística nacional. Contudo, esse crescimento impõe desafios significativos no que se refere à sustentabilidade ambiental, exigindo que as companhias aéreas adotem medidas capazes de reduzir as emissões de carbono associadas à expansão de suas operações.

Diante desse cenário, torna-se necessário investigar de que forma o crescimento do transporte aéreo de cargas influencia a sustentabilidade ambiental e quais estratégias vêm sendo implementadas pelas companhias aéreas cargueiras para mitigar os impactos gerados. Assim, o presente artigo analisa o crescimento da aviação cargueira no Brasil entre 2018 e 2024 e sua relação com as emissões de carbono, destacando as ações de mitigação adotadas pelo setor e os desafios regulatórios ainda existentes.

Este trabalho tem como objetivo investigar o estado atual das principais companhias aéreas cargueiras, considerando as preocupações relacionadas à redução das emissões de gases de efeito estufa, amplamente associadas às mudanças climáticas. Nesse sentido, busca-se compreender como essas empresas têm incorporado a temática ambiental em suas estratégias operacionais, especialmente no que se refere à mitigação das emissões de carbono decorrentes do transporte aéreo de cargas.

De forma complementar, o estudo propõe analisar a importância do crescimento da aviação como meio de transporte de cargas no Brasil, ressaltando seu papel na logística nacional e na integração do território. Pretende-se, ainda, identificar as principais medidas adotadas pelas companhias aéreas cargueiras que operam no país com o objetivo de reduzir as emissões de carbono associadas à expansão dessa atividade. Também se busca apresentar a evolução do volume de cargas transportadas no Brasil ao longo dos últimos seis anos, bem como discutir os impactos ambientais relacionados ao transporte aéreo de cargas, com ênfase nas emissões de gases de efeito estufa.

O tema se mostra relevante diante da importância crescente da aviação como alternativa logística eficiente, principalmente em um país de dimensões continentais, como o Brasil. A agilidade e a capilaridade proporcionadas pelo modal aéreo têm sido fatores determinantes na consolidação de cadeias logísticas modernas. Contudo, conforme demonstrado por estudos recentes, o setor aéreo responde por uma fração considerável das emissões de carbono, estimada em cerca de 2,5% das emissões globais (Ritchie, 2024). Quando considerados os efeitos indiretos, esse percentual pode chegar a 4%, segundo a ICAO (2007).

Além disso, de acordo com Ferreira e Costa (2021), há uma carência de estudos que articulem diretamente o crescimento da aviação cargueira com os impactos ambientais decorrentes dessa expansão. A IATA (2023) aponta alternativas como o uso de combustíveis sustentáveis, a modernização de frota e a otimização de rotas como caminhos para mitigar esses efeitos. Assim, este trabalho busca contribuir com a produção científica sobre o tema, além de oferecer subsídios para políticas públicas e práticas empresariais mais alinhadas com os princípios da sustentabilidade.

Este trabalho está delimitado ao estudo do transporte aéreo de cargas no Brasil, com foco no período dos últimos seis anos (2018 a 2024). Foram analisados dados públicos disponibilizados por instituições como a ANAC e empresas do setor, como Azul Cargo e Latam Cargo. O enfoque ambiental concentrou-se na avaliação das emissões de carbono e nas medidas adotadas para mitigar os impactos ambientais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O transporte aéreo de cargas tem assumido papel cada vez mais relevante no contexto da logística global, especialmente em economias que demandam rapidez, confiabilidade e integração territorial. Diferentemente de outros modais, a aviação cargueira caracteriza-se pela capacidade de reduzir significativamente o tempo de deslocamento de mercadorias, viabilizando cadeias produtivas de alto valor agregado, como as dos setores farmacêutico, eletrônico e de comércio eletrônico. No Brasil, país de dimensões continentais e com limitações estruturais em sua malha terrestre, o modal aéreo destaca-se como uma opção viável (CNI, 2023).

Historicamente, a aviação cargueira desenvolveu-se como atividade complementar ao transporte de passageiros, por meio do uso do espaço disponível nos porões das aeronaves comerciais, conhecido como *belly cargo*. Apenas nas últimas décadas observou-se a consolidação de operações cargueiras dedicadas, impulsionadas pelo crescimento do comércio internacional, pela globalização das cadeias produtivas e, mais recentemente, pela expansão acelerada do comércio eletrônico. Esse movimento resultou em maior demanda por aeronaves cargueiras

específicas, investimentos em infraestrutura logística e modernização de frotas, refletindo a maturidade progressiva do setor (Boeing, 2024).

Entretanto, o crescimento da aviação como meio de transporte de cargas está diretamente associado ao aumento do consumo energético e das emissões de gases de efeito estufa, sobretudo o dióxido de carbono (CO₂). De acordo com o Global Carbon Budget, o setor de transportes é um dos principais responsáveis pelas emissões globais de CO₂, sendo a aviação responsável por aproximadamente 2,5% desse total (Le Quéré *et al.*, 2022).

Embora essa participação pareça relativamente pequena em termos percentuais, seu impacto é significativo devido à intensidade energética do modal aéreo e ao crescimento contínuo da demanda por transporte aéreo. A *International Air Transport Association* (IATA) destaca que, apesar dos ganhos históricos de eficiência — como a redução do consumo médio de combustível por passageiro-quilômetro ao longo das últimas décadas —, o crescimento do volume de operações tende a neutralizar parte desses avanços. No caso específico da aviação cargueira, esse desafio é ainda mais evidente, uma vez que o aumento do volume transportado está diretamente relacionado à ampliação da frota e da frequência de voos, elevando o consumo de querosene de aviação (QAV) (IATA, 2023).

Diante desse cenário, a sustentabilidade passou a ocupar posição central na agenda do setor aéreo. Organismos internacionais, como a *International Civil Aviation Organization* (ICAO), têm promovido iniciativas voltadas à *mitigação dos impactos ambientais da aviação*. Entre essas iniciativas, destaca-se o *Carbon OffSetting and Reduction Scheme for International Aviation* (CORSIA), aprovado em 2016, cujo objetivo é estabilizar as emissões de CO₂ da aviação internacional por meio da combinação de medidas de eficiência operacional, uso de combustíveis sustentáveis e compensação de emissões (ICAO, 2007). No Brasil, a agenda ambiental da aviação tem avançado em consonância com essas diretrizes internacionais.

A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) tem desempenhado papel relevante ao publicar planos de ação para redução das emissões e ao regulamentar procedimentos de monitoramento, relato e compensação de CO₂, como estabelecido pela Resolução nº 743/2024. Essa normatização representa um marco regulatório ao

incorporar oficialmente o CORSIA ao contexto brasileiro, criando obrigações claras para as companhias aéreas que operam voos internacionais (ANAC, 2024).

Além do arcabouço regulatório, a literatura aponta que a mitigação das emissões na aviação depende fortemente de inovações tecnológicas e operacionais. A modernização de frota figura entre as principais estratégias, uma vez que aeronaves mais recentes apresentam maior eficiência energética, menor consumo de combustível por tonelada transportada e redução proporcional das emissões de CO₂. Programas de conversão de aeronaves de passageiros para cargueiros (*passenger-to-freighter* – P2F), como o Airbus A321P2F, exemplificam essa tendência ao combinar reaproveitamento de aeronaves com ganhos operacionais e ambientais (Aero Magazine, 2024).

Outra estratégia relevante consiste na adoção de tecnologias voltadas à eficiência aerodinâmica e operacional. O uso do revestimento AeroSHARK³, inspirado na textura da pele de tubarão, reduz o arrasto aerodinâmico e contribui para economias incrementais de combustível, demonstrando como soluções tecnológicas relativamente simples podem gerar impactos positivos quando aplicadas em larga escala (Lufthansa Technik, 2024).

De forma complementar, iniciativas como a *Performance-Based Navigation* (PBN) têm demonstrado potencial para reduzir distâncias de voo, tempo de operação e consumo de combustível, conforme evidenciado em estudos aplicados ao espaço aéreo brasileiro (Pagliarini; Garcia; Henkes, 2021). No entanto, diversos autores ressaltam que tais medidas, embora relevantes, apresentam caráter incremental e dificilmente serão suficientes, de forma isolada, para atingir as metas globais de neutralidade de carbono até 2050.

Nesse contexto, os combustíveis sustentáveis de aviação (*Sustainable Aviation Fuels* – SAF) despontam como uma das principais alternativas para a descarbonização do setor. Estudos indicam que os SAFs podem reduzir em até 80% as emissões ao longo de seu ciclo de vida, dependendo da matéria-prima e do processo produtivo adotado (IATA, 2023).

³ Revestimento inspirado na pele de tubarão que reduz a resistência aerodinâmica e melhora a eficiência das aeronaves (Lufthansa Technik, 2024).

Apesar de seu potencial, a adoção dos SAFs no Brasil ainda enfrenta obstáculos significativos, como elevados custos de produção, ausência de incentivos fiscais consistentes e limitações na infraestrutura de distribuição. Enquanto países e blocos econômicos, como a União Europeia, avançam na implementação de políticas públicas voltadas ao uso obrigatório desses combustíveis, o Brasil ainda se encontra em fase inicial de estruturação de um arcabouço regulatório capaz de estimular investimentos em larga escala (MCTI, 2023).

Dessa forma, a literatura evidencia que o desafio da sustentabilidade na aviação cargueira não se limita à adoção de uma única solução, mas exige uma abordagem sistêmica que integre regulação ambiental, inovação tecnológica, modernização de frotas e políticas públicas de incentivo. A fundamentação teórica apresentada, sustenta a análise dos resultados deste estudo, ao demonstrar que o crescimento da aviação cargueira, embora essencial para o desenvolvimento logístico e econômico, impõe desafios ambientais complexos que demandam soluções articuladas entre o setor público, a indústria aeronáutica e as companhias aéreas.

2.1 AVIAÇÃO CARGUEIRA NO BRASIL

A aviação cargueira no Brasil tem ganhado crescente relevância dentro da aviação civil, consolidando-se como um modal estratégico para o desenvolvimento econômico. Seu papel é fundamental na integração territorial de um país de dimensões continentais e na logística de cadeias de suprimentos que exigem agilidade e confiabilidade.

De acordo com a ANAC (2024), o transporte aéreo de cargas domésticas apresentou crescimento contínuo entre 2018 e 2023, impulsionado especialmente pelo avanço do comércio eletrônico e pela necessidade de rapidez nas entregas. Esse cenário reafirma a importância da carga aérea para regiões distantes dos grandes centros e para setores econômicos que dependem do transporte de bens de alto valor agregado, como eletrônicos, medicamentos e peças industriais.

Historicamente, a aviação cargueira no Brasil evoluiu como complemento das operações de passageiros, utilizando o espaço disponível em porões de aeronaves

comerciais (*belly cargo*). Apenas nas últimas décadas houve maior investimento em aeronaves cargueiras dedicadas, refletindo a maturidade do setor e a ampliação da demanda.

Contudo, os desafios permanecem significativos: custos elevados de operação, infraestrutura aeroportuária ainda limitada em algumas regiões e alta dependência do transporte rodoviário para complementar a distribuição interna. Além disso, o setor enfrenta dificuldades para modernizar a frota e adotar tecnologias sustentáveis em larga escala, o que impacta diretamente sua eficiência operacional e ambiental (Ferreira; Costa, 2021).

2.2 SUSTENTABILIDADE E EMISSÕES DE CARBONO NA AVIAÇÃO

A sustentabilidade tornou-se uma pauta central no setor aéreo, que enfrenta crescente pressão para reduzir seus impactos ambientais. O *Global Carbon Budget* aponta que o transporte é responsável por parcela expressiva das emissões globais de CO₂, e a aviação contribui com aproximadamente 2,5% desse total (Le Quéré *et al.*, 2022). De acordo com a IATA (2023), a aviação mundial liberou cerca de 950 milhões de toneladas de dióxido de carbono em 2023, evidenciando o desafio de compatibilizar crescimento logístico e compromissos ambientais.

No contexto brasileiro, a questão assume relevância ainda maior devido ao crescimento contínuo da aviação cargueira, aliado à ausência de políticas públicas robustas de incentivo à descarbonização. Embora medidas de eficiência operacional, como rotas otimizadas e renovação de frota, tenham contribuído para pequenas reduções no consumo de combustível, ainda não são suficientes para atingir as metas globais de neutralidade de carbono até 2050.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A presente pesquisa caracteriza-se como descritiva, com abordagem mista, combinando elementos qualitativos e quantitativos, e teve como objetivo analisar o crescimento da aviação cargueira no Brasil e suas implicações ambientais, com ênfase nas emissões de carbono e nas estratégias de mitigação adotadas pelas

companhias aéreas. A coleta de dados foi realizada por meio de pesquisa bibliográfica e documental, seguindo a metodologia dos três eixos: Eixo Legal-Oficial, Eixo Institucional, e Eixo Acadêmico-Científico, de acordo com Vantzing e Henkes (2024).

Na etapa inicial da pesquisa bibliográfica, foram identificadas 72 publicações a partir de buscas em bases científicas nacionais e internacionais, como Google Acadêmico, SciELO, Portal de Periódicos da CAPES e *Science Direct*, utilizando descritores relacionados ao transporte aéreo de cargas, sustentabilidade e emissões atmosféricas. Após a leitura dos títulos e resumos, 38 estudos foram excluídos por não apresentarem relação direta com o transporte aéreo de cargas, por tratarem exclusivamente do transporte de passageiros, por ausência de rigor científico ou por estarem fora do recorte temporal estabelecido.

Na etapa seguinte, procedeu-se à leitura integral dos textos remanescentes, o que resultou na exclusão de 17 publicações, principalmente em razão de duplicidade de conteúdo ou abordagem superficial do tema. Ao final do processo de triagem, a amostra analisada foi composta por 17 documentos selecionados por sua aderência aos objetivos da pesquisa. Essa amostra foi formada por artigos acadêmicos, complementados por documentos oficiais e relatórios institucionais de órgãos reguladores e entidades do setor aéreo, como a Agência Nacional de Aviação Civil, a *International Civil Aviation Organization*, a *International Air Transport Association* e o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações.

A escolha das companhias aéreas analisadas fundamentou-se em critérios de relevância operacional, representatividade no mercado brasileiro e disponibilidade de informações institucionais relacionadas às iniciativas ambientais. Foram selecionadas as empresas LATAM Cargo, Azul Cargo e GOL por figurarem entre as principais operadoras do transporte aéreo de cargas no Brasil e por apresentarem estratégias distintas de mitigação de emissões, como modernização de frota, adoção de tecnologias de eficiência operacional e parcerias logísticas, o que possibilitou uma análise comparativa consistente.

Os dados quantitativos referentes ao volume de cargas transportadas e ao consumo energético foram obtidos a partir de relatórios oficiais da ANAC e de documentos institucionais das companhias aéreas. Os dados qualitativos foram

analisados por meio da interpretação das estratégias ambientais divulgadas pelas empresas e das diretrizes regulatórias nacionais e internacionais. A análise dos dados foi conduzida de forma descritiva e comparativa, permitindo relacionar o crescimento da aviação cargueira às emissões de carbono e às medidas adotadas para mitigar seus impactos.

A análise dos dados foi realizada de forma qualitativa, descritiva e comparativa, com o objetivo de compreender o crescimento do transporte aéreo de cargas no Brasil e seus impactos ambientais. As informações foram organizadas a partir da integração de dados oficiais, institucionais e acadêmicos. Os dados oficiais contemplaram séries estatísticas e diretrizes regulatórias divulgadas por órgãos nacionais e internacionais, enquanto os dados institucionais abrangeram as estratégias ambientais adotadas pelas companhias aéreas analisadas, como modernização de frota, adoção de tecnologias de eficiência operacional e gestão de combustível.

A análise acadêmica baseou-se na síntese crítica da literatura científica, destacando tendências relacionadas à mitigação de emissões e à sustentabilidade no setor aéreo. A triangulação dessas fontes permitiu identificar padrões de crescimento, estratégias de mitigação e lacunas na literatura nacional, fornecendo subsídios para a discussão dos resultados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

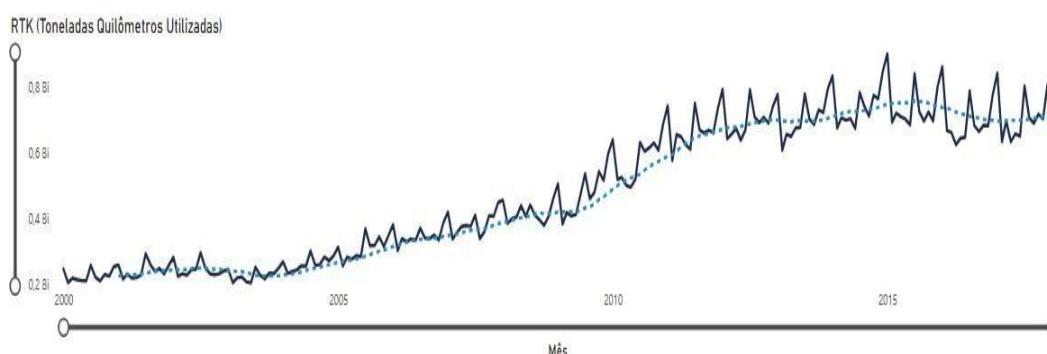
Este trabalho descreve a evolução do transporte aéreo de cargas no Brasil nos últimos anos, assim como a evolução nas emissões de carbono. Além disso, o estudo demonstra que as companhias aéreas estão adotando medidas concretas para mitigar os impactos ambientais.

4.1 EVOLUÇÃO DA AVIAÇÃO CARGUEIRA E CONSUMO ENERGÉTICO

Embora a ANAC, disponibilize dados de movimentação aeroportuária e estatísticas agregadas, não há registros públicos consolidados e exclusivos sobre o volume de carga aérea a partir de 2018. Diante dessa limitação, utiliza-se o Plano de

Ação para Redução de Emissões de CO₂ da Aviação no Brasil, publicado pela ANAC (2024), como referência histórica. O documento aponta que, entre 2000 e 2018, o indicador RTK (tonelada-quilômetro transportada) apresentou crescimento médio anual de 6,25% no transporte doméstico e 3,45% no internacional, resultando em um aumento acumulado de 151,6% nesse período (Figura 1). Esses resultados confirmam a consolidação da aviação cargueira como elemento estratégico da logística nacional e reforçam sua relevância no período mais recente.

Figura 1 - RTK (Toneladas Quilômetros Utilizadas) de 2000 a 2018



Fonte: ANAC, 2025.

A expansão da atividade refletiu-se também no consumo de querosene de aviação (QAV). No período de 2015 a 2019 foi marcado por tendência de crescimento do consumo, ainda que com oscilações pontuais. Segundo a (ANAC, 2024), somente entre 2016 e 2018 as medidas de mitigação implementadas por companhias aéreas em parceria com o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) resultaram em economias de 4,53% e 4,63%, respectivamente, o que corresponde a mais de 1,1 milhão de toneladas de combustível poupados.

Esses resultados demonstram que iniciativas de eficiência energética têm potencial de mitigar parte do impacto ambiental, mas permanecem insuficientes diante do ritmo de expansão do setor. Em síntese, os dados indicam que o crescimento da aviação cargueira no Brasil está associado ao aumento da demanda energética. Medidas de eficiência, como otimização de rotas, melhorias operacionais e adoção de novas tecnologias, contribuem para mitigar parte desse impacto, mas não eliminam o desafio da sustentabilidade. Nesse contexto, a modernização de frota e a ampliação do uso de combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

(*sustainable aviation fuel*) surgem como caminhos indispensáveis para compatibilizar a expansão logística com a responsabilidade ambiental.

Os dados de movimentação de carga também apresentam resultados positivos nos últimos anos (Quadro 1). No mercado doméstico, foram processadas 40,7 mil toneladas em julho de 2024, representando aumento de 12,2% em relação a julho de 2023. No mercado internacional, o volume atingiu 75,3 mil toneladas, crescimento de 11,8% no mesmo período (ANAC, 2024).

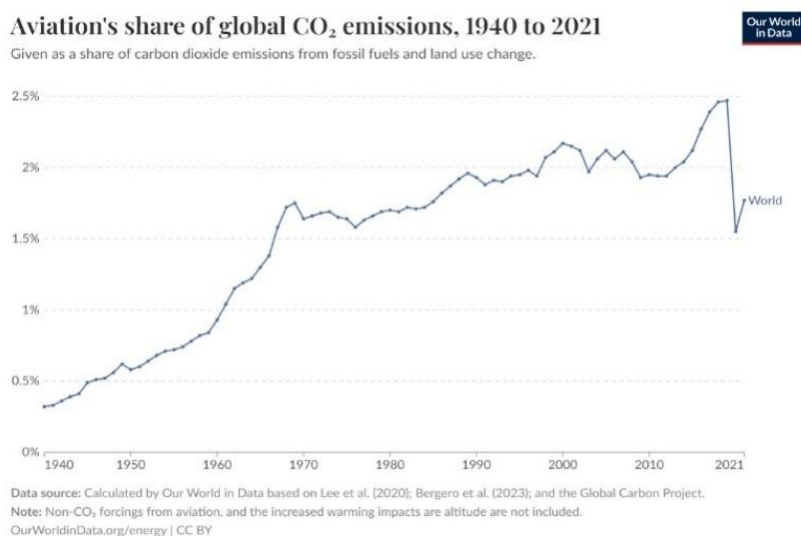
Quadro 1 – Volumes transportados pela aviação cargueira no Brasil

Segmento	Jul/2019 (toneladas)	Jul/2023 (toneladas)	Jul/2024 (toneladas)	Crescimento 19-24 (%)	Crescimento 23-24 (%)
Domésticos	34,4 mil	36,2 mil	40,7 mil	+ 11, 7%	+12,2%
Internacional	57,4 mil	67,3 mil	75,3 mil	+31,1%	+11,8%

Fonte: Extraído do Relatório de demanda e oferta (ANAC), 2024.

Quando comparados a julho de 2019, os números mostram um crescimento acumulado de 11,7% na carga doméstica e 31,1% na carga internacional, confirmando a tendência de consolidação do modal aéreo como parte estratégica da cadeia logística brasileira (ANAC, 2024). Esse valor também é exposto pelo portal *Our World in Data* (2024), que compila séries históricas e demonstra graficamente a participação da aviação nas emissões globais em comparação com outros setores, reforçando a relevância do tema para a agenda climática internacional (Figura 2).

Figura 2 - Participação global da aviação em emissões de CO₂ de 1940 a 2021



Fonte: Our World in Data, 2024.

No entanto, esse crescimento veio acompanhado de aumento proporcional nas emissões de carbono, em consonância com dados da *International Energy Agency* (IEA, 2024) e de Le Quéré *et al.*, (2022), que apontam a aviação como responsável por cerca de 2,5% das emissões globais de CO₂.

4.2 EMISSÕES NACIONAIS E REGULAMENTAÇÕES RECENTES

No Brasil, a regulação sobre emissões de carbono no setor aéreo tem avançado de forma alinhada às diretrizes internacionais estabelecidas pela *International Civil Aviation Organization* (ICAO). Em 2022, o país firmou compromisso com a organização para alcançar crescimento neutro em carbono a partir de 2027 e assegurar compensação integral de CO₂ até 2050.

Nesse contexto, destaca-se a publicação da Resolução nº 743/2024 da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), que regulamenta os procedimentos de monitoramento, relato e compensação de emissões de CO₂ em voos internacionais, em conformidade com o programa CORSIA (*Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation*). Essa resolução entrará em vigor em janeiro de 2025 e estabelece as obrigações de empresas aéreas brasileiras em relação à

mensuração das emissões, envio de relatórios anuais e implementação de medidas de compensação reconhecidas pela (ANAC, 2024).

O CORSIA, aprovado pela ICAO em 2016, tem como objetivo central estabilizar as emissões da aviação internacional a partir de 2020, por meio da combinação de medidas de eficiência operacional, uso de combustíveis sustentáveis de aviação (SAF) (*Sustainable Aviation Fuel*) e compensações de carbono (ICAO, 2007). O Brasil, ao aderir formalmente ao programa, passa a integrar o grupo de países que assumiram a responsabilidade de aplicar o esquema em suas operações internacionais.

Além da regulação da ANAC, instrumentos nacionais também reforçam esse alinhamento. O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), por meio da Portaria nº 7.678 de 17 de novembro de 2023, estabeleceu diretrizes para monitoramento de emissões do setor aéreo, incorporando metodologias compatíveis com as métricas da ICAO e com os inventários nacionais de emissões (MCTI, 2023).

4.3 INICIATIVAS CORPORATIVAS DE MITIGAÇÃO

A indústria aeronáutica e as Companhias Aéreas estão a procura de alternativas, em busca de mais sustentabilidade, como descreve-se a seguir.

4.3.1 Revestimento AeroSHARK

Além das medidas regulatórias internacionais e nacionais, as companhias aéreas têm desenvolvido iniciativas próprias de mitigação, voltadas à redução do consumo de combustível e das emissões de carbono. Entre essas iniciativas, destaca-se a aplicação do revestimento AeroSHARK, desenvolvida em parceria pela Lufthansa Technik e pela BASF (Figura 3).

O AeroSHARK consiste em um filme adesivo aplicado na fuselagem e nos naceles dos motores, com uma textura inspirada na pele de tubarão. Essa superfície cria microestruturas denominadas *riblets*, que reduzem o arrasto aerodinâmico durante o voo e, conseqüentemente, geram maior eficiência no consumo de combustível (Lufthansa Technik, 2024).

Figura 3 - Aplicação do filme AeroSHARK na fuselagem



Fonte: Lufthansa, 2024.

A LATAM foi a primeira companhia fora da Lufthansa *Group* e das Américas a aplicar o filme AeroSHARK em suas aeronaves. O retrofit em um Boeing 777-300ER desde dezembro de 2023 gerou economia de aproximadamente 1% de combustível diariamente, o que equivale a 300–400 toneladas de combustível economizadas por aeronave por ano e cerca de 1.000 toneladas de CO₂ evitadas com previsão de adoção em mais aeronaves (Panrotas, 2024).

4.3.2 Aeronaves modernas

Outra iniciativa relevante é a modernização de frota pela Azul Cargo, que incorporou aeronaves Airbus A321-P2F (*Passenger-to-Freighter*) em substituição aos antigos Boeing 737-400SF (Figura 4).

Figura 4 - Airbus A321-P2F da Azul Cargo



Fonte: Aero Magazine, 2024.

A aprovação pela ANAC ocorreu em outubro de 2024, marcando um passo significativo na renovação da frota cargueira nacional (Aero Magazine, 2024). O A321P2F é fruto de programas de conversão de aeronaves de passageiros para cargueiros (*passenger-to-freighter*), representando uma tendência global voltada para a redução de custos e emissões. O modelo apresenta redução de 27% no consumo de combustível por tonelada transportada em comparação com seus antecessores, além de oferecer maior capacidade de carga útil e eficiência operacional. Essas características reforçam a importância da modernização de frota como estratégia corporativa de mitigação das emissões de carbono (ANAC, 2024).

A companhia também implementou iniciativas de eficiência como software de gestão de combustível e envolvimento de pilotos em boas práticas, com redução de uso de combustível extra em 1–2% ao mês, iniciativas combinadas de tecnologia e operação podem gerar ganhos incrementais de eficiência (Ferreira; Costa, 2021).

4.3.3 Parceria GOL Linhas Aéreas e Mercado Livre

Nos últimos anos, além das companhias já consolidadas no transporte de cargas, novas parcerias têm impulsionado o setor no Brasil. Um exemplo é a ampliação da frota cargueira da GOL Linhas Aéreas em parceria com o Mercado Livre, que busca atender à crescente demanda do comércio eletrônico nacional e reduzir o tempo de entrega em regiões estratégicas do país (AEROIN, 2024).

Figura 5 - Boeing 737-800BCF da GOL Linhas Aéreas com pintura do Mercado Livre



Fonte: AEROIN, 2024.

Essa iniciativa reforça a importância da integração entre companhias aéreas e grandes plataformas logísticas, contribuindo para o fortalecimento do modal aéreo no transporte de encomendas e na modernização das operações de carga no Brasil (AEROIN, 2024). Tais iniciativas demonstram que o setor privado tem buscado soluções para equilibrar crescimento e responsabilidade ambiental. Embora ainda existam diferenças no ritmo de adoção dessas práticas.

4.4 PANORAMA ACADÊMICO E TÉCNICO PARA REDUÇÃO DE EMISSÕES

A literatura acadêmica, incluindo estudos como *Fleet modernization* de Oliveira *et al.*, (2024) indica que aumentos nos custos de energia impulsionam a modernização de frota no longo prazo, favorecendo adoções tecnológicas mais eficientes (Le Quéré *et al.*, 2022). No contexto brasileiro, estudos como o de Pagliarini, Garcia e Henkes (2021) analisaram a implantação do PBN-SUL pelo DECEA em 2017, que reestruturou parte do espaço aéreo da região Sul. Os resultados apontaram reduções expressivas em rotas como São Paulo–Curitiba, que obteve a redução em 13 milhas náuticas, resultando em aproximadamente 1.027 toneladas de combustível economizadas e em soma a redução de 3.126,8 toneladas de CO₂ ao ano. Embora algumas rotas, como São Paulo–Florianópolis, tenham apresentado aumento de distância devido a fatores de segurança, a pesquisa confirma o potencial da PBN como ferramenta de redução de emissões.

Estudos técnicos apontam a *Performance-Based Navigation*(PBN) como uma tecnologia que reduz tempos de voo em 1–2%, o que significa economias de combustível significativas (Szenczuk; Oliveira, 2024). Estudo recente publicado na Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas, analisou as políticas ambientais das três maiores companhias brasileiras: Azul, LATAM e GOL, o trabalho descreve iniciativas como renovação de frota, uso de biocombustíveis e sistemas de gestão ambiental certificados (Graça; Henkes, 2025).

4.5 DISCUSSÃO

Os resultados apresentados confirmam que a aviação cargueira no Brasil vem passando por expansão contínua, mas acompanhada do aumento no consumo energético e nas emissões associadas. Entre 2000 e 2018, o RTK cresceu em média 6,25% ao ano no transporte doméstico e 3,45% no internacional, acumulando 151,6% no período. Esse crescimento foi acompanhado por uma maior demanda por querosene de aviação, que apresentou tendência de elevação no período de 2015 a 2019, ainda que mitigada por algumas medidas de eficiência (ANAC, 2024). Esses dados reforçam que o aumento das operações aéreas trouxe benefícios logísticos, mas também ampliou os desafios ambientais enfrentados pelo setor.

No plano regulatório, destaca-se a Resolução nº 743/2024 da ANAC, que representa um marco para o setor ao regulamentar os procedimentos de monitoramento, relato, verificação e compensação das emissões de CO₂ em operações internacionais sob o programa CORSIA. A norma estabelece que operadores que emitirem mais de 10.000 toneladas de CO₂ anuais em voos internacionais estão obrigados a monitorar suas emissões. Também determina que o envio do Relatório de Emissões e do Parecer de Verificação independente deve ocorrer até 30 de abril do ano subsequente, criando um calendário rígido de conformidade para as empresas (ANAC, 2024).

Outro ponto relevante é a definição de ciclos conformativos de três anos (2024–2026, 2027–2029), o que permite acompanhar a evolução das emissões de forma estruturada. Nos primeiros seis meses após a entrada em vigor, a norma autoriza o uso da ferramenta CERT (*ICAO CORSIA CO₂ Estimation & Reporting Tool*) para estimativas, até que os planos de monitoramento sejam aprovados, garantindo um período de adaptação às exigências (ANAC, 2024). Além de definir obrigações, a Resolução nº 743/2024 também estabelece penalidades financeiras para operadores que descumprirem suas disposições. O Quadro 1, a seguir, sintetiza os valores-base das multas previstas no anexo da resolução.

Essas sanções evidenciam que a regulação não se limita a diretrizes formais, mas estabelece mecanismos de coerção econômica que pressionam as empresas aéreas a cumprirem os requisitos de monitoramento e compensação de emissões,

fortalecendo a efetividade do marco regulatório brasileiro. Ao mesmo tempo, tais medidas refletem uma ambição climática alinhada às diretrizes da ICAO. Entretanto, persiste um descompasso entre a amplitude das metas assumidas e a capacidade prática de implementação, já que o país ainda carece de políticas públicas mais robustas e de incentivos fiscais que estimulem investimentos consistentes em tecnologias limpas (MCTI, 2023; ICAO, 2007).

Do ponto de vista corporativo, observa-se que medidas como a adoção do revestimento AeroSHARK pela LATAM e a modernização de frota com o Airbus A321P2F pela Azul Cargo estão alinhadas ao esforço de mitigação. Essas tecnologias proporcionam reduções no consumo de combustível e nas emissões, ao mesmo tempo em que diminuem a necessidade de compensações financeiras previstas pelo CORSIA. Embora representem avanços importantes, esses projetos ainda se mostram limitados frente à magnitude do desafio. O potencial de redução de emissões é real, mas insuficiente em escala, sobretudo quando comparado ao volume de gases de efeito estufa gerado pelo setor aéreo como um todo (Panrotas, 2024; Aero Magazine, 2024).

A literatura acadêmica reforça a relevância de medidas complementares, como a *Performance-Based Navigation (PBN)*, que já apresentou resultados positivos no Brasil, reduzindo consumo de combustível e emissões de CO₂ em rotas de alta densidade (Pagliarini; Garcia; Henkes, 2021). Estudos internacionais também apontam para a modernização de frota e a padronização de aeronaves como instrumentos eficazes para ganhos de eficiência (Le Quéré *et al.*, 2022; Szenczuk; Oliveira, 2024). Contudo, esses ganhos incrementais dificilmente serão suficientes para atender à meta de neutralidade de carbono até 2050.

Nesse cenário, os combustíveis sustentáveis de aviação (SAF) despontam como alternativa indispensável. Com potencial de reduzir até 80% das emissões em seu ciclo de vida, os SAFs representam um caminho viável para a descarbonização do setor. No entanto, no Brasil, sua adoção ainda é incipiente, limitada por custos elevados de produção, gargalos de infraestrutura e falta de apoio regulatório. Enquanto regiões como a União Europeia, já contam com políticas públicas consistentes para incentivar sua produção e consumo, o Brasil ainda precisa

estruturar um arcabouço regulatório que estimule investimentos e crie condições para que o setor privado amplie o uso dessa tecnologia (IATA, 2025).

Em síntese, a aviação cargueira brasileira se encontra em uma encruzilhada: é um setor essencial para o desenvolvimento econômico, mas altamente desafiador do ponto de vista ambiental. A integração entre regulação, inovação corporativa e pesquisa acadêmica será determinante para que o modal deixe de ser um "invisível essencial" e se torne protagonista na construção de uma aviação mais sustentável. O futuro do setor dependerá da capacidade de transformar medidas ainda pontuais em estratégias sistêmicas, capazes de compatibilizar expansão econômica e responsabilidade climática.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo geral analisar o crescimento da aviação cargueira no Brasil e suas implicações ambientais, com ênfase nas emissões de carbono e nas estratégias de mitigação adotadas pelas companhias aéreas. A partir da análise documental, institucional e acadêmica realizada ao longo do trabalho, verifica-se que esse objetivo foi alcançado, uma vez que foi possível compreender a consolidação da aviação cargueira no país e a relação entre sua expansão operacional e os impactos ambientais associados.

Em relação aos objetivos específicos, o primeiro consistiu em analisar a relevância do crescimento da aviação como meio de transporte de cargas no Brasil. Esse objetivo foi alcançado por meio da análise de dados oficiais da Agência Nacional de Aviação Civil, que evidenciaram o aumento do volume de cargas transportadas e o papel estratégico do modal aéreo na integração territorial e no atendimento às demandas do comércio eletrônico.

O segundo objetivo específico buscou verificar quais medidas foram adotadas pelas companhias aéreas cargueiras para a redução das emissões de carbono. Esse objetivo também foi alcançado, uma vez que o estudo identificou a implementação de ações como a modernização de frota, a adoção de tecnologias voltadas à eficiência aerodinâmica, a otimização de procedimentos operacionais e o uso de programas de gestão de combustível. Embora essas medidas representem avanços

relevantes, constatou-se que seus efeitos ainda são limitados diante da magnitude das emissões do setor.

O terceiro objetivo específico consistiu em descrever a evolução do volume de cargas transportadas no Brasil nos últimos anos. Esse objetivo foi atendido a partir da análise de séries estatísticas e relatórios institucionais, que demonstraram crescimento contínuo das operações domésticas e internacionais, confirmando a tendência de expansão da aviação cargueira no país.

Por fim, o objetivo de apontar os impactos ambientais do transporte aéreo de cargas, com ênfase nas emissões de carbono, foi alcançado ao evidenciar a relação direta entre o crescimento das operações aéreas, o aumento do consumo energético e a elevação das emissões de gases de efeito estufa. O estudo também destacou avanços regulatórios importantes, como a Resolução nº 743/2024 da ANAC e a adesão do Brasil ao programa CORSIA, ao mesmo tempo em que identificou a carência de políticas públicas integradas e de incentivos capazes de ampliar o uso de combustíveis sustentáveis de aviação.

Dessa forma, conclui-se que a aviação cargueira brasileira desempenha papel essencial para o desenvolvimento logístico e econômico do país, porém ainda enfrenta desafios para equilibrar crescimento e responsabilidade ambiental. O alcance dos objetivos deste trabalho evidencia a importância da integração entre regulação, inovação tecnológica e políticas públicas para promover a sustentabilidade do setor.

REFERÊNCIAS

AEROIN. GOL amplia frota de aviões cargueiros a serviço do gigante varejista Mercado Livre. São Paulo: **AEROIN**, 2024. Disponível em: <https://aeroin.net/gol-amplia-frota-deavioes-cargueiros-a-servico-do-gigante-varejista-mercado-livre/>. Acesso em: 29 out. 2025.

AERO MAGAZINE. Azul Cargo amplia frota com A321P2F. São Paulo: **Aeromagazine**, 2024. Disponível em: <https://aeromagazine.uol.com.br>. Acesso em: 15 maio 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (Brasil). **Estatísticas do transporte aéreo**. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/dados-e-estatisticas/mercado-do-transporte-aereo/demanda-e-oferta>. Acesso em: 07 ago. 2025.

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 5, n. 5, p. 57-80, out/dez. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). 2024. **Brazil's Action Plan on CO2 Emissions Reduction from Aviation, 3rd Edition.**

Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/meioambiente/arquivos/BrazilsActionPlanonCO2EmissionsReductionfromAviation3rdEditionBaseYear2018.pdf> . Acesso em: 07 out. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Brazil signs commitment for sustainable aviation with ICAO.** Disponível em:

<https://www.gov.br/anac/en/news/2022/brazil-signs-commitment-for-sustainableaviation-with-icao>. Acesso em: 06 out. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). 2025. **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas da aviação.** Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/meio-ambiente/inventario-nacional-de-emissoes-atmosfericas-da-aviacao-civil>. Acesso em: 20 ago. 2025.

BOEING. **Boeing Commercial Market Outlook 2024–2043.** Chicago: Boeing, 2024. Disponível em: <https://www.boeing.com>. Acesso em: 19 maio 2025.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Carga aérea e comércio eletrônico no Brasil: tendências e desafios.** Brasília: CNI, 2023. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/>. Acesso em: 02 jun. 2025.

FERREIRA, J.; COSTA, M. Transporte aéreo e sustentabilidade: desafios ambientais no Brasil. **Revista Brasileira de Logística**, v. 11, n. 2, p. 34–49, 2021. Acesso em: 02 jun. 2025.

GRAÇA, M. M.; HENKES, J. A. (2025). Sustentabilidade nas maiores Companhias Aéreas brasileiras: Políticas e desafios ambientais. **Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas**, 5(3), 130–159. Disponível em: <https://rbac.cia.emnuvens.com.br/revista/article/view/327> . Acesso em: 04 out. 2025.

IATA. **Annual Review 2023.** Disponível em: <https://www.iata.org/contentassets/c81222d96c9a4e0bb4ff6ced0126f0bb/annualreview-2023.pdf> 2023. Acesso em: 17 maio 2025.

ICAO – INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. **Aircraft engine emissions and their environmental impact.** Montreal: ICAO, 2007. Disponível em: <https://www.icao.int/environmental-protection/pages/aircraft-engine-emissions.aspx>. Acesso em: 30 jun. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Aviation – CO₂ Emissions and Sustainability Efforts. Energy System – Transport – Aviation.** 2024. Disponível em:

<https://www.iea.org/energy-system/transport/aviation>. Acesso em: 01 jun. 2025.

LE QUÉRÉ, C.; FRIEDLINGSTEIN, P.; ANDREW, R. M.; Global Carbon Budget 2022. **Earth System Science Data**, v. 14, p. 1917–2005, 2022. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-14-1917-2022>. Acesso em: 04 jun. 2025.

LUFTHANSA TECHNIK. **Lufthansa Technik equips LATAM's 777 aircraft with AeroSHARK 2024**. Disponível em: <https://www.lufthansa-technik.com/en/lufthansatechnik-equips-latam-s-777-aircraft-with-aeroshark-1c0cee3dc14e5b4a>. <https://www.lufthansa-technik.com/en/aeroshark>. Acesso em: 24 out. 2025.

MCTI. 2023. **Portaria MCTI nº 7.678, de 17.11.2023**. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/legislacao/portarias/Portaria_MCTI_n_7678_de_17112023.html Acesso em: 02 jun. 2025.

OUR WORLD IN DATA. **What share of global CO₂ emissions come from aviation?** Disponível em: <https://ourworldindata.org/global-aviation-emissions>. Acesso em: 24 set. 2025.

PAGLIARINI, J. C.; GARCIA, M. J. R.; HENKES, J. A. O impacto da implementação da navegação baseada em performance para as rotas mais voadas do sul do Brasil. **Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas**, v. 3, n. 2, p. 25-40, 2021. Disponível em: <https://rbac.cia.emnuvens.com.br/revista/article/view/25>. Acesso em: 05 out. 2025.

PANROTAS. **LATAM investe em tecnologia AeroSHARK para reduzir emissão de carbono**. São Paulo: Panrotas, 2024. Disponível em: <https://www.panrotas.com.br>. Acesso em: 04 jun. 2025.

RITCHIE, H. **What share of global CO₂ emissions come from aviation?** *Our World in Data*, 2024. Disponível em: <https://ourworldindata.org/global-aviation-emissions>. Acesso em: 01 jun. 2025.

VANTZING, W. de P.; HENKES, J. A. (2024). Uma análise da reforma tributária em tramitação no congresso nacional e as possíveis consequências na aviação civil. **Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas**, 4(4), 236–259. Disponível em: <https://rbac.cia.emnuvens.com.br/revista/article/view/284>. Acesso em: 03 jun. 2025.