

IMPLICAÇÕES DA PANDEMIA DA COVID19 NA ATIVIDADE DE AVIAÇÃO BRASILEIRA E AMBICÕES CLIMÁTICAS

COVID19 IMPACTS ON BRAZILIAN AVIATION ACTIVITY LEVELS AND CLIMATE AMBITIONS

Pedro Luiz Barbosa Maia ¹ | Alexandre Szklo ² | Joana Portugal-Pereira ³ | Roberto Schaeffer ⁴ | Bruno Scola Lopes da Cunha ⁵.

1. COPPE/UFRJ, PPE, . RIO DE JANEIRO - RJ - BRASIL, pedroluiz@ppe.ufrj.br 2. COPPE/UFRJ, PPE, . RIO DE JANEIRO - RJ - BRASIL, szklo@ppe.ufrj.br 3. COPPE/UFRJ, PPE, . RIO DE JANEIRO - RJ - BRASIL, joana.portugal@ppe.ufrj.br 4. COPPE/UFRJ, PPE, . RIO DE JANEIRO - RJ - BRASIL, roberto@ppe.ufrj.br 5. COPPE/UFRJ, PPE, . RIO DE JANEIRO - RJ - BRASIL, slcunha.bruno@ppe.ufrj.br

Resumo

O presente trabalho investiga os impactos na demanda por mobilidade de passageiros e de carga associados à aviação no Brasil decorrentes da Covid-19 e avalia cenários de evolução dessa demanda. Para tanto, aplica uma análise econométrica e desenvolve cenários pós-Covid19, que são comparados a metas globais do setor (ICAO e IATA) e a resultados de modelagem integrada para o território brasileiro almejando contribuir para um mundo que limite o aquecimento global em relação à níveis pré-industriais a não mais do que 1,5°C. A análise indica reduções de 23% e 65% das emissões acumuladas de CO₂ no país até 2050, mesmo em casos de rápida recuperação da aviação brasileira ao longo dos próximos 2 anos. Assim, a maioria dos cenários de emissões de CO₂ até 2050 consegue se manter dentro de trajetórias consistentes com cenários de maior ambição de mitigação. As metas da ICAO para 2050 indicam estar de acordo com o objetivo de limitar o aumento médio da temperatura do planeta a não mais de 1,5°C até 2100. A meta da IATA, por sua vez, se mostra mais desafiadora, pelo menos para o Brasil. Mudanças comportamentais do aprendizado da pandemia, representados em um cenário de recuperação tardia, podem servir de guia para a descarbonização do setor.

Palavras-chave: Transição energética. Covid-19. Aviação brasileira. Descarbonização. Mudanças climáticas

Abstract

This work investigates air passenger and freight demand in Brazil after Covid-19, elaborating post pandemic "what if" scenarios for demand growth, through an historical data econometric analysis and scenario building. The results are directly compared to ICAO and IATA global goals for aviation and integrated models assessments for limiting global warming to below 1.5°C pre industrial levels in Brazilian context. Reduction in accumulated CO₂ emissions up to 2050 for aviation in Brazil are found to range from 23% to 65%, depending on the Covid-19 impact recovery scenario. Most post-pandemic results up to 2050 meet the target for high ambition climate change below 1.5°C narratives. ICAO aspirational goal for 2050 shows compatibility for limiting global temperature to 1.5°C levels. IATA's goal, however, present results much more challenging, at least in the Brazilian context. Behavioral changes from late Covid-19 recovery scenarios may guide deep decarbonization for aviation in Brazil to 2100.

Keywords: Energy transition. Covid-19. Brazil. Aviation. Climate change

Received: November 07, 2021 | **Accepted:** August 25, 2022 | **Available online:** September 26, 2022

Article n°: 408

Cite as: Proceedings of the Rio Oil & Gas Expo and Conference, Rio de Janeiro, RJ, Brazil, 2022.

DOI: <https://doi.org/10.48072/2525-7579.rog.2022.408>

1. Introdução

Pandemia se refere a um acontecimento com abrangência em grande área geográfica, de magnitude de países ou continentes, com crescimento rápido e de ampla extensão, de forma a afetar uma parcela significativa da população - Merriam-Webster (2021). Em março de 2020, a OMS (Organização Mundial da Saúde) declarou uma pandemia de um novo vírus, denominado cientificamente de coronavírus 2 ou SARS-CoV-2, popularmente referido como Covid-19 - World Health Organization (WHO) (2021). O surgimento da pandemia da Covid-19 se dá numa época de crescente preocupação com medidas de caráter climático e energético, exemplificadas através de políticas públicas - Steffen, Egli, Pahle e Schmidt (2020). Com uma redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) sem precedentes nos anos da pandemia - Forster et al. (2020), Le Quéré et al. (2020) e Pianta, Brutschin, van Ruijven e Bosetti (2021), questiona-se qual a real dimensão em relação com medidas de mitigação climática.

Neste caso, o setor de aviação foi um dos setores que sofreu drástica redução de atividade e consequentemente de emissões de GEE. Em abril de 2020, a redução de atividade variou entre 60% e 100% dependendo do país, o que se refletiu em uma redução em torno de 30% de emissões - Forster et al. (2020) e Le Quéré et al. (2020). Sendo um setor energético de difícil abatimento – International Energy Agency (IEA) (2021), a aviação é uma atividade energointensiva, cuja projeção de aumento de demanda é alta, principalmente em mercados em desenvolvimento - International Civil Aviation Organization (ICAO) (2019), como o Brasil. Portanto, reduções de emissões que ocorreram e possam vir a ocorrer devido à pandemia devem ser objeto de estudo para transições energéticas nesse setor, alinhadas com a limitação do aumento da temperatura média global, motivada pelo Acordo de Paris.

De fato, relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC na sigla inglesa) reforçam a necessidade de grandes níveis de abatimento de emissões de GEE para diversos setores, inclusive para a aviação, na busca por maiores ambições climáticas. Simulações ou otimizações de trajetórias ilustrativas por modelos de avaliação integrada (IAMs na sigla inglesa), sumarizadas nesses relatórios, ajudam a entender, qualitativa e quantitativamente, como envidar esforços no sentido de cenários futuros de baixo carbono - Rogelj et al. (2018). Para o caso do Brasil em específico, pode-se ressaltar os modelos globais COFFEE-TEA e nacional BLUES - Integrated Assessment Modeling Consortium (IAMC) (2019) (2020), Köberle (2018) e Rochedo (2016), que utilizam sistemas energéticos e de mudança no uso do solo para projeção de cenários futuros para o mundo e para o Brasil, respectivamente.

A Organização Internacional de Aviação Civil (ICAO, na sigla inglesa) revisa, em cada edição de seu relatório ambiental, metas para o setor, como o aumento de intensidade de queima de combustível, novas tecnologias, métodos de operação de aeronaves e a utilização de *Sustainable Aviation Fuels* (SAFs). Estas estratégias são apoiadas por um mecanismo global de mercado para redução de emissões internacionais e compensação daquelas não factíveis por evoluções tecnológicas, denominado *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation* (CORSIA, na sigla inglesa). O mecanismo entraria em vigor a partir de 2021 ao longo de três fases, focando em 80 países que representam mais de 76% do total das toneladas-quilômetro transportadas no mundo – ICAO (2019).

Assim, diante deste contexto, o presente trabalho investiga o comportamento da aviação brasileira durante a pandemia de Covid-19. Seu principal objetivo é avaliar as alterações no transporte aéreo brasileiro devido à redução de atividade durante a pandemia e implicações para as metas de descarbonização do setor condizentes com um mundo futuro até 1,5°C mais quente, mesmo desconsiderando outras medidas de mitigação do setor, como utilização de SAFs. Essa investigação passa pela análise do impacto da pandemia na aviação brasileira, segundo as demandas de passageiro e carga, para mensuração da redução do efeito-atividade. Posteriormente, são estimadas as demandas até 2050 ou 2100, através de modelos simplificados e diferentes cenários, que se associam a trajetórias de emissão de GEE. Estas, por fim, são analisadas conforme as metas do setor e resultados de modelos integrados de energia para o Brasil, condizentes com grandes objetivos climáticos.

2. Métodos

A metodologia adotada é dividida em duas etapas: 1. Projeção de demanda de aviação no horizonte 2050 e 2100, a partir de elasticidades demanda-renda calculadas por análise econométrica de dados históricos. Utiliza-se o produto interno bruto (PIB) como variável representativa da renda do Brasil (seção 2.1); 2. Elaboração de cenários de emissão de GEE do setor no horizonte de 2050 e 2100 (seção 2.2).

2.1. Projeção da demanda e análise econométrica

A projeção da demanda com base em uma análise econométrica se baseia em dados históricos tanto de aviação - Agência Nacional da Aviação Civil (ANAC) (2021) como PIB - Dados do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (DataSebrae) (2021), Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) (2021) (2021b) e Agência do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Agência IBGE) (2021). Também se utiliza de uma projeção de PIB para o Brasil, provinda do modelo TEA – Cunha (2019) e IAMC (2019).

A projeção de demanda de aviação segue uma modelagem simplificada, conforme as Equações 1, 2 e 3.

$$D_t = D_{t-1} * \Delta D \quad (1)$$

$$e = \frac{d \text{ demanda}}{d \text{ renda}} * \frac{\text{renda}}{\text{demanda}} = \frac{\Delta D}{D} * \frac{PIB}{\Delta PIB} \quad (2)$$

$$D_t = D_{t-1} * \left(e * \frac{GDP_t - GDP_{t-1}}{GDP_{t-1}} * MOD + 1 \right) \quad (3)$$

Onde “e” é a elasticidade demanda/renda; “D” a demanda no tempo “t”, expressa em passageiro*km (RPK) para passageiro e tonelada*km (TK) para carga; “PIB” o produto interno bruto do país ou região em questão; “MOD” um modificador do crescimento da demanda, em percentual,

utilizado para aplicar os impactos referentes à pandemia da Covid-19. O ano base utilizado para a projeção é 2010, seguindo os modelos TEA e COFFEE, com horizonte variando até 2050 e 2100. A elasticidade demanda-renda é a derivada da função demanda em relação à renda, estimada neste trabalho pelo valor do PIB. Comumente, esta variável é calculada por uma análise econométrica de séries históricas, com estimações por diversos modelos de simples a complexos, entre eles a regressão linear por método de mínimos quadrados ordinários (OLS na sigla inglesa) - Carmona-Benítez, Nieto e Miranda (2017), Gallet e Doucouliagos (2014), Smyth e Pearce (2008), Valdes (2015) e Ventura, Cabo, Caixeta, Fernandes e Fernandes (2020).

Para o cálculo dessas elasticidades, utiliza-se um modelo logaritmo com uma variável preditora, conforme a Equação 4. O parâmetro da variável preditora pode ser aproximado para a elasticidade renda-demanda devido a aplicação do logaritmo – Smyth e Pearce (2008) e Ventura et al. (2020).

$$\ln(RPK_i) = constante + e_{renda-demanda} * \ln(PIB_i) \quad (4)$$

Outras variáveis foram testadas como possíveis preditoras para as demandas de passageiro e carga, sendo elas a população regional, as importações e exportações regionais, a distância média das rotas por região e o ano de ocorrência, porém não contribuíram significativamente para a melhoria da modelagem.

2.2. Cenário de emissões GEE

Uma vez equacionada a demanda futura de aviação, projeta-se o consumo de combustível através de dois indicadores de intensidade, para passageiro e carga: RPK/m³ e TK/m³. Esses indicadores são calculados para 2010 a partir da demanda de passageiros e carga no ano e dados de consumo de QAV da Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) (2021). Eles evoluem a cada ano de acordo com narrativas de aumento da eficiência de queima de querosene em aeronaves.

Para a estimativa de emissões através do consumo de combustível, utiliza-se da metodologia da International Energy Agency (IEA) (2020), considerando um conteúdo de carbono médio do QAV de 19,5 kg de carbono por GJ de energia liberada durante a combustão e um fator de oxidação completo de 1 (ou seja, assume-se que todo o carbono do combustível é emitido sob dióxido de carbono).

Seis cenários são avaliados, sendo os cinco primeiros inspirados, em parte, pelo estudo de Grewe et al. (2021). São eles:

1. “NO-CVD” – Cenário “baseline” onde contra factualmente considera-se que não houve pandemia e, portanto, não há decréscimo de demanda devido aos impactos do vírus a partir de 2020. Único parâmetro que controla a demanda por aviação é o PIB. Considera-se a taxa de aumento de eficiência de queima de combustível de 1% ao ano.
2. “ICAO” – Cenário comparativo da meta climática da ICAO (2010) (2013) de aumento de eficiência de queima de combustível de 2% ao ano até 2050. Utiliza-se a mesma projeção

de demanda do cenário anterior, na medida em que a meta foi conceptualizada muito antes da pandemia, de forma a melhor quantificá-la.

3. “CVD-2” – Cenário que assume um decréscimo real da demanda por aviação devido à pandemia de Covid-19. Limita-se, porém, o impacto a dois anos (2020 e 2021), assumindo uma plena recuperação do setor após 2021. Utiliza-se a taxa de aumento de eficiência de queima de combustível de 1% ao ano.
4. “CVD-2-ICAO” – Cenário com impacto de 2 anos da pandemia que também utiliza simultaneamente a meta climática da ICAO de 2% ao ano para aumento de eficiência de queima de combustível.
5. “CVD-15” – Cenário drástico de mudança de comportamento da população no geral derivada de experiências durante a pandemia, com modificadores de impacto atuando por 15 anos. Utiliza-se a taxa de crescimento da eficiência de queima de combustível base de 1% ao ano.
6. “NetZero” – Cenário comparativo, de “emissões líquidas zero” em 2050, compatível ao aumento da temperatura média global abaixo de 1,5°C referente a níveis pré-industriais. É um resultado da modelagem integrada do modelo BLUES – IAMC (2020) e Köberle (2018), que é um modelo de otimização para menor custo, com detalhamento de uso do solo e energia em diversos setores. Dessa modelagem, extraem-se valores de consumo energético exclusivos para o setor de aviação, que são traduzidos em emissões de GEE. É utilizado para obter-se um “orçamento” de carbono para a aviação brasileira compatível com um mundo de 1,5°C.

3. Apresentação e discussão dos resultados

Nesta seção, primeiramente apresenta-se o impacto, até então, da pandemia de Covid-19 sobre o setor de aviação nacional (seção 3.1), seguido dos resultados da análise econométrica (seção 3.2), e finaliza com os resultados de avaliação das trajetórias futuras de demanda e emissões, calculadas para cada cenário (seção 3.3).

3.1. Impacto da pandemia da Covid-19 na aviação brasileira

Os dados, divididos por região, por natureza de voo e entre carga e passageiro são expostos na Tabela 1. Confirma-se o comportamento do resto do mundo no Brasil durante a pandemia, onde a aviação nacional de passageiros sofreu uma redução considerável na faixa de 30 e 50%, similares nos dois anos. O impacto no primeiro ano foi maior nas regiões Centro-Oeste e Sul, e no segundo ano nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul. Infere-se que, tratando-se das regiões Centro-Oeste e Sudeste, grande parte da redução de demanda se refira às pontes aéreas de Brasília, Rio de Janeiro e São Paulo, com voos diários principalmente de negócios.

Tabela 1 – Impacto da pandemia da Covid-19 sobre aviação no Brasil em 2020 e 2021

Ano	Região	Δ RPK		Δ TK	
		Doméstico	Internacional	Doméstico	Internacional
2020	Nordeste	-35%	-65%	-25%	-32%
	Centro-Oeste	-43%	-27%	-42%	-22%
	Norte	-33%	-66%	1%	7%
	Sudeste	-34%	-61%	-12%	-7%
	Sul	-45%	-49%	-37%	-35%
2021	Nordeste	-33%	-93%	-20%	-49%
	Centro-Oeste	-47%	-80%	-31%	29%
	Norte	-36%	-95%	5%	9%
	Sudeste	-41%	-83%	-7%	22%
	Sul	-55%	-88%	-32%	2%

Fonte: Produzido pelo autor com base nos dados de ANAC (2021).

A aviação internacional de passageiros sofreu um impacto consideravelmente superior, por volta de 60% em 2020, com exceção das regiões do Centro-Oeste e Sul, e 90% em 2021. A disrupção muito elevada em 2021 está, provavelmente, atrelada às restrições estrangeiras de viagens ao Brasil e à percepção global da situação da pandemia no país, aliado a crise econômica vigente. Um dos aspectos mais interessantes é o diferente impacto sobre a carga e a aviação de passageiros. Como previsto, a carga sofre impactos muito inferiores e até um aumento de demanda. Destaque para a região Norte em 2020, com acréscimo de 7% nos valores de TK internacionais e para as regiões Sudeste e Centro-Oeste, com surpreendentes 22% e 29% de acréscimo de demanda internacional de carga, respectivamente, no ano de 2021 em relação a valores de 2019, antes da pandemia. Supõe-se que há relação de efeito com o aumento do comércio internacional de mercadorias, diante das novas dinâmicas de compra relacionadas ao comportamento dos consumidores que estiveram mais dentro de suas residências no período. Esses resultados reforçam a importância da desagregação da projeção de demanda de aviação entre voos nacionais e internacionais, mas principalmente entre carga e passageiro.

3.2. Elasticidades demanda-renda para as regiões do Brasil

Como tratado na seção 2.2, foi realizada uma análise econométrica simples com principal objetivo de obter elasticidades para realizar projeções de demanda com base numa variável exógena de PIB. Primeiramente, verifica-se que há uma relação linear consideravelmente forte entre a demanda de passageiros e a evolução do PIB, em todas as regiões do Brasil, para aviação nacional e internacional. Para avaliar a performance do modelo, analisam-se valores do coeficiente de correlação - R^2 (percentual de explicação do modelo para a variação da resposta) e p-valores (grosseiramente, a relevância estatística do parâmetro em questão, a elasticidade, sendo valores próximo a zero extremamente relevantes, com nível de significância usual de 0,05). No geral, os resultados obtidos para a aviação de passageiros, tanto em voos nacionais como internacionais, são satisfatórios, com

uma relação linear mais forte para elasticidades de voos nacionais. Em sua revisão bibliográfica de modelos, Gallet e Doucouliagos (2014) comentam que elasticidades-demanda para aviação internacional costumam ser mais sensíveis a outros elementos que não apenas a renda, com o destaque para o preço médio das passagens.

Todavia, para a aviação de carga, os resultados não foram tão satisfatórios. Para a aviação nacional, os modelos das regiões Centro-Oeste e Sul retornaram baixa capacidade de explicação e baixa significância estatística para os parâmetros. No caso de aviação internacional, a região Norte não conseguiu ser explicada pelo modelo. Tendo em vista a literatura, exploraram-se outras relações de dependência entre a demanda de carga, uni e multivariáveis, com população, importações e exportações, distância média das rotas por região e o ano em questão. No entanto, os resultados de regressão linear com essas novas possíveis variáveis preditoras obtiveram resultados inferiores aos supracitados, principalmente com parâmetros que, apesar de aumentarem por vezes a explicação da resposta do modelo (R^2), não possuíam relevância estatística. Portanto, optou-se por analisar a aviação de carga em âmbito nacional, sem regionalização. Esses modelos não regionalizados para carga apresentaram valores de R^2 próximos a 80% e se mostraram estatisticamente relevantes. Todavia, de antemão, identifica-se essa decisão de não regionalização da demanda de aviação de carga como uma provável limitação do trabalho.

A Tabela 2 sumariza as elasticidades calculadas que foram utilizadas para projeção de demanda. Para comparação, utiliza-se o relatório mais recente da IATA – Smyth e Pearce (2008) que calcula elasticidade demanda-renda para países economicamente desenvolvidos, Estados Unidos e economias em desenvolvimento. Nesse relatório, as elasticidades são desagregadas por duração do voo: curto, médio, longo e extra-longo, além de nível doméstico e internacional. As elasticidades calculadas para países subdesenvolvidos variam de 2,0 a 2,7 para voos domésticos e 1,8 a 2,5 para voos internacionais. Comparando esses números com os valores agregados em nível regional para o Brasil para passageiro, percebe-se uma considerável diferença, visto que os valores variam de 2,13 a 3,55 por região para voos nacionais, com valor de 3,18 para o país como um todo e de 2,45 a 11,94 para voos internacionais, com valor de 2,39 para o país como todo. Todavia, são resultados de modelagens diferentes, com bases de dados diferentes. Ademais, vale ressaltar que o Brasil é um país de dimensões continentais, com diversas rotas operando em vôos longos e extra-longos. A modelagem da IATA, utilizada para comparação, foi realizada em 2007 – provavelmente, se atualizada, poderia apresentar aumento nas elasticidades. Todavia, percebe-se também que os valores para voos internacionais do Centro-Oeste e Sul são bastante desconectados do resto, ressaltando uma possível fragilidade do modelo nessas situações, apesar da boa performance estatística.

Tabela 1 – Elasticidades demanda-renda para aviação

Região	Passageiro					
	Nacional			Internacional		
	Elasticidade	R ²	p-value	Elasticidade	R ²	p-value
Norte	2.14	0.97	4.59e-15	2.45	0.83	2.66e-08
Nordeste	2.77	0.98	2.81e-17	2.32	0.85	5.54e-09
Centro-Oeste	2.12	0.98	1.11e-16	11.94	0.91	1.05e-10
Sudeste	3.55	0.89	3.73e-10	2.43	0.81	6.47e-08
Sul	3.09	0.96	5.30e-14	5.72	0.92	3.60e-11
Brasil	3.18	0.97	2.06e-15	2.39	0.91	4.46e-11
Carga						
Brasil	0.68	0.77	4.30e-07	1.54	0.77	1.80e-07

Fonte: Produzido pelo autor.

3.3. Trajetórias futuras de emissão de GEE para o setor de aviação no Brasil

A análise dos resultados de trajetórias de emissão futuras de GEE pode ter foco em emissões anuais ou cumulativas, dependendo do que se pretende avaliar. Metas como a da International Air Transport Association (IATA) (2021) propõem, até 2050, uma redução de 50% de emissões anuais líquidas na aviação em relação ao ano base de 2005.

Os resultados indicam que, em todos os cenários aqui avaliados, tal meta não consegue ser atingida para o Brasil, caso se considerem todas as emissões de aviação (voos internacionais e domésticos). As emissões anuais sempre estão acima do valor de 5.500 ktCO₂/ano, que seria o valor referente a meta, em qualquer momento no tempo, variando de um mínimo de 6.700 ktCO₂/ano (“CVD-15” em 2035) a 69.000 ktCO₂/ano (“NO-CVD” em 2050). Inclusive o cenário “NetZero”, modelado para ambições climáticas de aumento de temperatura até 1,5°C, que considera medidas de mitigação além da redução de atividade e aumento de eficiência de queima de combustível, chega a emissões muito superiores a este patamar (34.000 ktCO₂/ano em 2050).

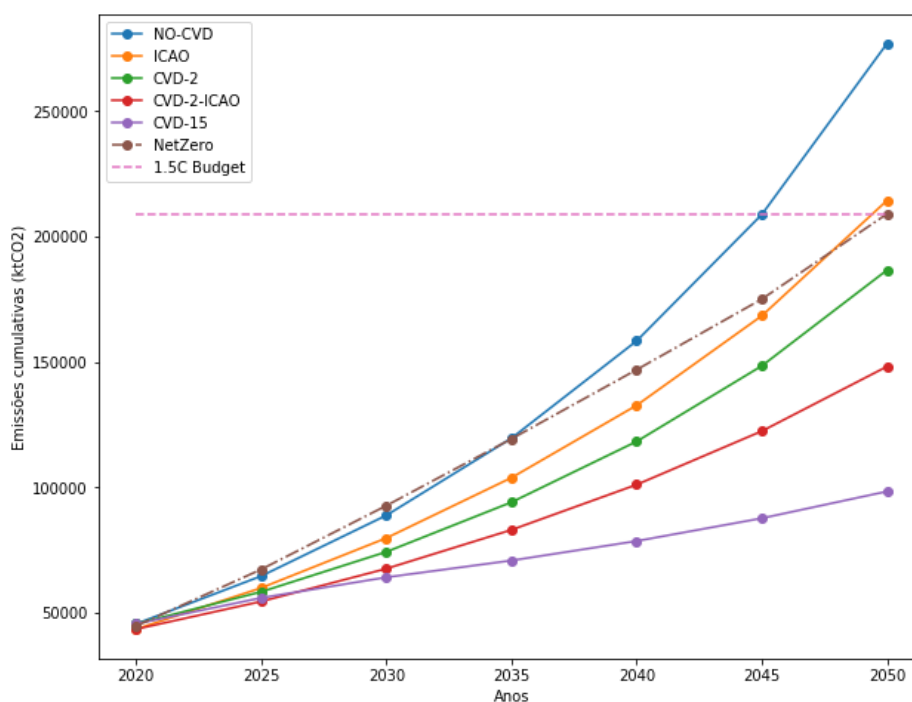
Tratando-se de redução total de atividade no setor devido a pandemia, utilizando o cenário “NO-CVD” como base, observa-se uma redução até 2050 sobre a demanda de passageiros de 47% e 89% para os cenários “CVD-2” e “CVD-15”, respectivamente. Sobre a demanda de carga os valores são inferiores, 17% e 38%, para os mesmos cenários.

Grande parte da análise de emissões cumulativas parte da estimação de um “orçamento” de carbono para o setor de aviação no Brasil, a partir de resultados exógenos do cenário “NetZero”. Ressalta-se que todos os cenários modelados nesse trabalho possuem modelagem de demanda e, consequentemente, de emissões anuais do setor diferentes da modelagem utilizada pelo BLUES para geração do cenário “NetZero” aqui abordado. Outro fator importante para consideração é que este faz parte de uma modelagem integrada, envolvendo diversos setores energéticos e de uso do solo, de forma que emissões do setor de aviação podem ser compensadas por emissões negativas, como em captura de carbono em bioenergia em destilarias de etanol no Brasil. O “orçamento” de carbono para o cenário 1,5°C, para a aviação brasileira, é calculado como o valor acumulado de emissões de CO₂ do cenário “NetZero” e tem valor de 0,21 GtCO₂, mas este valor pode ser subestimado, visto que esse

orçamento não é fixo no modelo e depende de todos os outros setores da economia nacional, característica intrínseca da modelagem integrada.

A Figura 1 apresenta emissões acumuladas de todas as trajetórias até 2050. A meta da ICAO de 2% de aumento de eficiência de queima de combustível por ano até 2050 se mostra minimamente compatível, para a primeira metade do século, com um mundo de alta ambição climática, pelo menos caso fosse verificada no Brasil, considerando o *orçamento* aqui utilizado. Este cenário de emissão considerou projeção de demanda sem impacto da Covid-19 e manteve-se muito próximo do orçamento acumulado, reforçando ambições da agência que foram estipuladas muito antes da pandemia. Observam-se reduções em valores acumulados absolutos, em 2050, variando entre um mínimo de 23% (cenário “ICAO”) e máximo 65% (cenário “CVD-15”).

Figura 1 – Cenários de emissões GEE acumuladas



Fonte: Produzido pelos autores.

Talvez o mais importante dos resultados, o cenário realista “CVD-2”, mesmo com uma plena recuperação em 2022, se mantém abaixo do orçamento de carbono proposto e mostra que a queda de atividade no setor está dentro da escala de grandes ambições climáticas. Cenários mais ambiciosos, como o cumprimento da meta organizacional da ICAO de eficiência de queima de combustível (“CVD-2-ICAO”), ou uma mudança completa de comportamento resultado da pandemia (“CVD-15”), também se mantém abaixo desse orçamento.

Obviamente, esses resultados devem ser interpretados com cautela, de forma a não passar falsas informações de que a pandemia de Covid-19 foi capaz de manter a aviação brasileira dentro das ambições climáticas de baixo carbono. O mundo “não acaba em 2050”, e, portanto, caso nenhuma outra ação seja tomada e as emissões da aviação não sejam zeradas de 2050 em diante, bruscamente

reduzidas ou exista um mecanismo corrente de emissões negativas capaz de balanceá-las, eventualmente esse patamar estipulado será ultrapassado bem antes de 2100. Para o caso do cenário “CVD-2-ICAO”, o orçamento é ultrapassado próximo a 2060 e para “CVD-15”, em 2080. À guisa de exercício ilustrativo, extrapola-se o cenário “CVD-15” para “CVD-15-ICAO”, utilizando o aumento anual de eficiência de queima de 2% aspiracional da ICAO até 2050, e adota-se um aumento de 1% até 2100. Nesse caso, extremamente inviável, por fim, consegue-se manter as emissões de carbono até 2100 da aviação brasileira dentro de um orçamento de carbono compatível com um mundo cuja temperatura média não se eleva mais do que 1,5°C. Uma interpretação desse exercício é que, sem medidas estruturais de mitigação de GEE (apenas aumento de eficiência de queima de QAV), para reduzir emissões de forma compatível com um mundo de 1,5°C, a atividade do setor de aviação no Brasil teria de ter uma redução de magnitude similar a observada durante a pandemia de Covid-19, porém ocorrendo num período de 15 anos.

No âmbito de modelagem integrada, é sempre pertinente reforçar que os cenários projetados seguem a lógica de “e se”. Obviamente, como este trabalho usa de resultados de modelagem integrada e realiza modelagens econométricas em paralelo, é apenas capaz de avaliar futuros específicos, não obstante a infinita complexidade de projeções.

4. Considerações finais

Este trabalho debruça-se sobre os impactos da pandemia sobre o setor de aviação no Brasil e interações com ambições climáticas de redução de emissões de GEE. Tem como principal objetivo avaliar se a redução de atividade, aliada ou não com aumentos de eficiência de queima de combustível, pode levar a descarbonização do setor para ambições climáticas de 1,5°C. O impacto de redução de atividade no setor de aviação (e aumento para o caso da carga em algumas regiões) foi identificado, de acordo com o esperado, utilizando experiências internacionais como base. A redução da demanda em voos internacionais de passageiros foi mais significativa do que em voos domésticos. Ademais, observou-se uma razoável relação entre a demanda por passageiros e o crescimento do PIB.

O presente estudo conclui, primeiramente, que de fato a redução de atividade no setor de aviação do país foi considerável durante a pandemia. Em uma primeira análise, as emissões anuais podem parecer não sofrer alteração significativa, mas considerando as emissões acumuladas, que são de fato o determinante para a concentração de CO₂ atmosférico e consequentemente a temperatura média da terra, há grande relevância. Utilizando para comparação estudos paralelos realizados com os modelos integrados TEA e BLUES para quantificar trajetórias futuras da aviação brasileira de grande ambição climática, percebe-se que a meta organizacional da ICAO aqui avaliada indica ser compatível com suas ambições. A meta da IATA de corte em 50% emissões anuais em 2050 relativa a níveis de 2005, porém, é muito arrojada para o caso do Brasil, considerando aviação nacional e internacional.

Com a gama de cenários utilizados, entende-se que reduções de demanda provenientes da pandemia da Covid-19 estão, em um primeiro momento, em escala comparável com ambições climáticas até 2050 para o Brasil, visto que cenários realistas foram capazes de se manter abaixo do

orçamento estipulado. Todavia, ressalta-se que estas análises necessitam levar em conta horizontes maiores de tempo. Caso não se tornem nulas ou quase-nulas as emissões líquidas anuais após 2050, o orçamento é superado muito antes de 2100. Para manter o mundo abaixo de 1,5°C até 2100 seria necessário que altas eficiências de conversão de querosene de aviação fossem observadas em conjunto com uma brusca mudança comportamental, de magnitude similar com a observada na pandemia, mas que atuasse por pelo menos 15 anos. Essas observações corroboram que outras medidas de mitigação, como a utilização de SAFs, podem ser essenciais para grandes ambições climáticas no setor, principalmente a longo prazo.

Apesar da análise conduzida ser robusta, existem algumas limitações no estudo. Primeiramente, ressalta-se que o cenário “NetZero” para aviação utilizado como base de comparação, resultado do modelo BLUES, depende de inúmeros outros fatores e está atrelado a manutenção de emissões cumulativas de CO₂ com a interação de vários setores energéticos no país. A análise integrada, com outras rodadas do modelo com as demandas de aviação e cenários aqui propostos, traria resultados interessantes. O presente trabalho também não diferencia intensidades de conversão de combustível de aviação em RPK e TK para rotas nacionais e internacionais, o que é uma aproximação. A modelagem para projeção de demandas possui também limitações, desde sua concepção de projeção através de elasticidades e variação do PIB, quanto o cálculo propriamente dito das elasticidades. A utilização de técnicas econométricas mais robustas e modelos multivariáveis poderiam retornar análises mais acuradas. O relativo baixo número de observações também é um ponto a ser ressaltado. Outra grande limitação é a não atenuação das elasticidades para o Brasil. Entende-se que o país ainda teria grande espaço para crescimento do setor e consequentemente crescimento da demanda, mas elasticidades relativamente altas, com valores superiores a 2, levam a uma explosão exponencial e uma possível superestimação de demanda futura.

5. Agradecimentos

Pedro Luiz Barbosa Maia e Bruno Scola Lopes da Cunha agradecem o apoio financeiro do Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – PRH-41/ANP, suportado com recursos provenientes do investimento de empresas petrolíferas qualificadas na Cláusula de P, D&I da Resolução ANP nº 50/2015.

Referências

- Agência do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Agência IBGE). (2021). *PIB cai 4,1% em 2020 e fecha o ano em R\$ 7,4 trilhões*. <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/30165-pib-cai-4-1-em-2020-e-fecha-o-ano-em-r-7-4-trilhoes>
- Agência Nacional da Aviação Civil (ANAC). (2021). *Dados Estatísticos*. <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/dados-e-estatisticas/dados-estatisticos/dados-estatisticos>
- Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). (2021). *Dados estatísticos*. <http://www.anp.gov.br/dados-estatisticos>
- Carmona-Benítez, R. B., Nieto, M. R., & Miranda, D. (2017). An Econometric Dynamic Model to estimate passenger demand for air transport industry. *Transportation Research Procedia*, 25(2017), 17–29. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.191>
- Cunha, B. S. L. (2019). *Desenvolvimento de um modelo global de equilíbrio geral computável para avaliação de políticas climáticas: o papel da mudança de dieta* [PhD Thesis]. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Dados do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (DataSebrae). (2021). *Conhecer o PIB te ajuda a entender o passado e programar o futuro*. <https://datasebrae.com.br/pib/?pagina=evolucao-do-pib&ano=1990>
- Forster, P. M., Forster, H. I., Evans, M. J., Gidden, M. J., Jones, C. D., Keller, C. A., Lamboll, R. D., Quéré, C. L., Rogelj, J., Rosen, D., Schleussner, C. F., Richardson, T. B., Smith, C. J., & Turnock, S. T. (2020). Current and future global climate impacts resulting from COVID-19. *Nature Climate Change*, 10(10), 913–919. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0883-0>
- Gallet, C. A., & Doucouliagos, H. (2014). The income elasticity of air travel: A meta-analysis. *Annals of Tourism Research*, 49(2014), 141–155. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2014.09.006>
- Grewe, V., Gangoli Rao, A., Grönstedt, T., Xisto, C., Linke, F., Melkert, J., Middel, J., Ohlenforst, B., Blakey, S., Christie, S., Matthes, S., & Dahlmann, K. (2021). Evaluating the climate impact of aviation emission scenarios towards the Paris agreement including COVID-19 effects. *Nature Communications*, 12(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24091-y>
- Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). (2021). *ipeadata*. <http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>
- Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). (2021). *Ipea projeta crescimento de 3% do produto interno bruto em 2021*. https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=37711&catid=3&Itemid=3
- Integrated Assessment Modeling Consortium (IAMC). (2019). *Model Documentation - COFFEE-TEA*. https://www.iamcdocumentation.eu/index.php/Model_Documentation_-_COFFEE-TEA

- Integrated Assessment Modeling Consortium (IAMC). (2020). *Model Documentation - BLUES*.
https://www.iamcdocumentation.eu/index.php/Model_Documentation_-_BLUES
- International Energy Agency (IEA). (2020). *CO2 Emissions from Fuel Combustion 2020 Edition Database Documentation*. https://iea.blob.core.windows.net/assets/474cf91a-636b-4fde-b416-56064e0c7042/WorldCO2_Documentation.pdf
- International Energy Agency (IEA). (2021). *Net Zero by 2050 : A Roadmap for the Global Energy Sector* IEA Publications.
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2019). *ICAO environmental report 2019 : destination green : the next chapter*.
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2013). *Assembly Resolution in Force*.
https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/A38-17_A38-18.pdf
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2010). *Resolution A37-19: Consolidated statement of continuing ICAO policies and practices related to environmental protection – Climate change*.
http://www.icao.int/environmental-protection/37thAssembly/A37_Res19_en.pdf
- International Air Transport Association (IATA). (2021). *Working Towards Ambitious Targets*.
<https://www.iata.org/en/programs/environment/climate-change/>
- Köberle, A. C. (2018). *Implementation of Land Use in an Energy System Model To Study the Long-Term Impacts of Bioenergy in Brazil and its Sensitivity to the Choice of Agricultural Greenhouse Gas Emission Factors* [PhD Thesis]. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Le Quéré, C., Jackson, R. B., Jones, M. W., Smith, A. J. P., Abernethy, S., Andrew, R. M., De-Gol, A. J., Willis, D. R., Shan, Y., Canadell, J. G., Friedlingstein, P., Creutzig, F., & Peters, G. P. (2020). Temporary reduction in daily global CO2 emissions during the COVID-19 forced confinement. *Nature Climate Change*, 10(7), 647–653.
<https://doi.org/10.1038/s41558-020-0797-x>
- Merriam-Webster. (2021). *Pandemic*. <https://www.merriam-webster.com/dictionary/pandemic>
- Pianta, S., Brutschin, E., van Ruijven, B., & Bosetti, V. (2021). Faster or slower decarbonization? Policymaker and stakeholder expectations on the effect of the COVID-19 pandemic on the global energy transition. *Energy Research and Social Science*, 76(2021), 102025. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102025>
- Rochedo, P. R. R. (2016). *Development of a global integrated energy model to evaluate the brazilian role in climate change mitigation scenarios* [PhD Thesis]. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Rogelj, J., Shindell, D., Jiang, K., Fifita, S., Forster, P., Ginzburg, V., Handa, C., Kheshgi, H., Kobayashi, S., Kriegler, E., Mundaca, L., Séférián, R., & Vilariño, M. V. (2018). Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development. In *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*.
- Smyth, M., & Pearce, B. (2008). *Air Travel Demand : IATA Economics Briefing N°9* IATA.
https://www.iata.org/whatwedo/documents/economics/air_travel_demand.pdf
- Steffen, B., Egli, F., Pahle, M., & Schmidt, T. S. (2020). Current and future global climate impacts resulting from COVID-19. *Joule*, 4(6), 1137–1141. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.04.011>
- Valdes, V. (2015). Determinants of air travel demand in Middle Income Countries. *Journal of Air Transport*

Management, 42(2015), 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2014.09.002>

Ventura, R. V., Cabo, M., Caixeta, F., Fernandes, E., & Fernandes, V. A. (2020). Air transportation income and price elasticities in remote areas: The case of the Brazilian Amazon Region. *Sustainability*, 12(15), 6039.

<https://doi.org/10.3390/su12156039>

World Health Organization (WHO). (2021). *Coronavirus*. https://www.who.int/health-topics/coronavirus#tab=tab_1