



**25 a 27
de junho**

Hotel Sesc Cacupé
Florianópolis - SC
Rodovia Haroldo Soares Glavan, 1670, Cacupé

EMISSIONES DE GASES POLUENTES PELA AVIAÇÃO COMERCIAL E A UTILIZAÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL DE AVIAÇÃO COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL AO TURISMO SOCIAL

Cássia Mareco Kusumi¹,
Cássio Aurélio Suski²,
Débora Souza Alvim³,
André Luiz dos Reis⁴

Este estudo analisou os impactos das emissões de gases de efeito estufa gerados pelo transporte aéreo comercial em Santa Catarina e a elaboração de um inventário das emissões antropogênicas relacionado ao turismo social. A pesquisa foi dividida em: coleta de dados dos voos comerciais de 2022, elaboração do inventário de emissões e avaliação de cenários de redução das emissões de gases de efeito estufa por meio do uso de Combustíveis de Aviação Sustentáveis.

Palavras-chave: Aquecimento global; Turismo; Combustíveis de Aviação Sustentáveis.

¹Graduação em Turismo; Técnica do turismo social no SESC; cassia.m1988@aluno.ifsc.edu.br.

²Doutor em Ciência e Engenharia de materiais; Professor Pesquisador do Curso Técnico em Mecânica, do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica e do Programa de Pós-Graduação - Mestrado em Clima e Ambiente; cassio.suski@ifsc.edu.br.

³Doutora em Ciências; Professora da Universidade de São Paulo; debora.alvim@eel.usp.br.

⁴Doutor em Meteorologia; Pós-Doutorando na Universidade Federal do Mato Grosso do Sul; andreluiz.reis4@gmail.com.





**25 a 27
de junho**

Hotel Sesc Cacupé
Florianópolis - SC
Rodovia Haroldo Soares Glavan, 1670, Cacupé

1. INTRODUÇÃO

O aquecimento global é uma realidade que exige a compreensão de suas causas, envolvendo fatores naturais e, principalmente, ações humanas, como a emissão de gases de efeito estufa (GEE) (Conti, 2005). O setor de transporte, junto a indústrias, geração de energia e agropecuária, impulsiona a economia global, mas é uma das principais fontes dessas emissões (Lamim, 2023). Responsável por cerca de 25% das emissões antropogênicas de GEE, o transporte tem sido alvo de estudos que buscam mitigar seus impactos (Hatami-Marbini et al., 2024). A aviação, em particular, responde por 2,5% das emissões globais de CO₂ e gera efeitos ambientais adicionais, como emissões de óxidos de nitrogênio, rastros de condensação e nuvens cirros induzidas, que intensificam o aquecimento global (Larsson et al., 2019). Esses impactos destacam a importância de ações urgentes e coordenadas para tornar o setor aéreo mais sustentável, especialmente frente ao crescimento da demanda por transporte, inclusive o turismo social.

2. JUSTIFICATIVA

As aeronaves emitem uma gama de gases e partículas que interferem na atmosfera. No que concerne às alterações climáticas, os gases elementares são o dióxido de carbono (CO₂), óxido de nitrogênio (NO_x) vapor d'água (H₂O), óxidos de enxofre (SO_x) e fuligem (Volker et al., 2021). Apesar de diversos estudos já realizados, dados que comprovam o crescimento do setor aéreo, pelo turismo social, e a sua participação no aquecimento global, ainda se tem poucas ações voltadas para a redução das emissões, sobretudo devido à relutância dos países em possivelmente obstruir o crescimento da indústria da aviação (Macintosh e Wallace, 2012). O setor é responsável por 4,1% do PIB global e emprega pelo menos 87,7 milhões de pessoas ao redor do mundo (Airbus, 2023).





**25 a 27
de junho**

Hotel Sesc Cacupé
Florianópolis - SC
Rodovia Haroldo Soares Glavan, 1670, Cacupé

3. OBJETIVOS

Analisar os impactos das emissões de gases de efeito estufa gerados pelo transporte aéreo comercial em Santa Catarina, considerando voos nacionais e internacionais e a elaboração de um inventário das emissões antropogênicas relacionado ao turismo social

4. PRINCIPAIS RESULTADOS

O estudo foi dividido em: Levantamento de dados abrangendo os voos comerciais de chegada e partida nacionais e internacionais do território catarinense em 2022; o estabelecimento do inventário de emissões antropogênicas referente ao modal aéreo catarinense e; a proposição de cenários que proporcione alternativas de reduções das emissões com a utilização de Combustíveis de Aviação Sustentáveis (SAF).

4.1 LEVANTAMENTO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS NOS VOOS

Para o levantamento de dados de voos, foram utilizados dados do Relatório de Demanda e Oferta de 2022 da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), com foco no indicador passageiros por quilômetro transportados (RPK) para voos com origem ou destino em Santa Catarina, nacionais e internacionais. A partir do número total de decolagens em 2022, foi elaborada a Tabela 1, que quantifica o consumo de combustível em litros para todos os voos operados no estado. Os voos foram divididos em dois tipos: os realizados exclusivamente dentro dos limites de Santa Catarina e os chamados "trajetos totais", que consideram todo o percurso, da decolagem ao pouso. A Tabela 1 apresenta dados sobre número de decolagens, distâncias percorridas e consumo das aeronaves em





**25 a 27
de junho**

Hotel Sesc Cacupé
Florianópolis - SC
Rodovia Haroldo Soares Glavan, 1670, Cacupé

kg/h. Utilizando a densidade e a fração de uso dos combustíveis (querosene e gasolina de aviação) obtidas das Tabelas 2 e 3 da ANP (2023), foi possível estimar o consumo de combustível nos três momentos do voo (Figura 1): taxiamento (taxi-in e saída), primeira hora (decolagem e subida) e cruzeiro (cruzeiro, descida e pouso), com base em equações matemáticas e tempo de duração de cada etapa.

Tabela 1 - Cálculo de consumo de combustível em litros

Entre Aeroportos	Nº de Decolagens	Participação	Distância total (Km)	Distância em SC (Km)	Tipo de aeronave	Consumo (Kg/h)	Duração total do voo (h)
Sbsp - São Paulo <----> Sbfl - Florianópolis	3.660,00	14,64%	487	187	Airbus A320	2.176,87	1,33
Sbsp - São Paulo <---> Sbnf - Navegantes	3.352,00	13,40%	440	100	Airbus A320	2.176,87	1,17
Sbgr - Guarulhos <----> Sbfl - Florianópolis	2.767,00	11,06%	500	187	Airbus A320	2.176,87	1,33

Fonte: Elaborado pelos autores.

Continua...





Encontro de
las Américas de
**Turismo
Social**
FLORIANÓPOLIS 2025
BRASIL

Inspirando, impactando e transformando vidas



**25 a 27
de junho**

Hotel Sesc Cacupé
Florianópolis - SC
Rodovia Haroldo Soares Glavan, 1670, Cacupé

Entre Aeroportos	Duração do voo em SC (h)	Combustível	Densidade GA (kg/l)	Combustível	Densidade QA (kg/l)
Sbsp - São Paulo <---> Sbfl - Florianópolis	0,51	Gasolina de aviação	0,72	Querosene de aviação	0,80
Sbsp - São Paulo <---> Sbnf - Navegantes	0,27	Gasolina de aviação	0,72	Querosene de aviação	0,80
Sbgr - Guarulhos <---> Sbfl - Florianópolis	0,50	Gasolina de aviação	0,72	Querosene de aviação	0,80

Fonte: Elaborado pelos autores.

Continua.

Entre Aeroportos	Consumo Total em SC (Litros)	Consumo total de GA em SC (Litros)	Consumo total de QA em SC (Litros)	Consumo Total no trajeto completo (Litros)	Consumo total de GA no trajeto completo (Litros)	Consumo total de QA no trajeto completo (Litros)
Sbsp - São Paulo <---> Sbfl - Florianópolis	8.040.633,77	207.448,35	7.833.185,42	17.064.458,55	440.263,03	16.624.195,52
Sbsp - São Paulo <---> Sbnf - Navegantes	4.880.431,30	125.915,12	4.754.516,17	13.951.439,90	359.947,15	13.591.492,75
Sbgr - Guarulhos <---> Sbfl - Florianópolis	5.968.243,34	153.980,67	5.814.262,66	12.900.917,16	332.843,66	12.568.073,50

Fonte: Elaborado pelos autores.





**25 a 27
de junho**

Hotel Sesc Cacupé
Florianópolis - SC
Rodovia Haroldo Soares Glavan, 1670, Cacupé

Ano	Mês	Grande Região	Unidade da Federação	Produto	Vendas (m³)
2022	Jan	Região Sul	Santa Catarina	Gasolina de Aviação	212,45
	Fev				144,94
	Mar				210,61
	Abr				91,16
	Mai				153,5
	Jun				75,29
	Jul				88,00
	Ago				117,42
	Set				136,5
	Out				143,01
	Nov				152,45
	Dez				104,26
Total					1.629,59

Tabela 2 - Dados de venda de gasolina de aviação

Fonte: ANP (2024)

Tabela 3 - Dados de venda de querosene de aviação

Ano	Mês	Grande Região	Unidade da Federação	Produto	Vendas (m³)
2022	Jan	Região Sul	Santa Catarina	Querosene de Aviação	8.069,39
	Fev				4.543,48
	Mar				4.749,2
	Abr				4.745,89
	Mai				4.421,12
	Jun				4.430,97
	Jul				4.248,06
	Ago				3.489,56
	Set				4.445,84
	Out				5.688,85
	Nov				5.576,34
	Dez				6.956,11
Total					61.364,81

Fonte: ANP (2024)

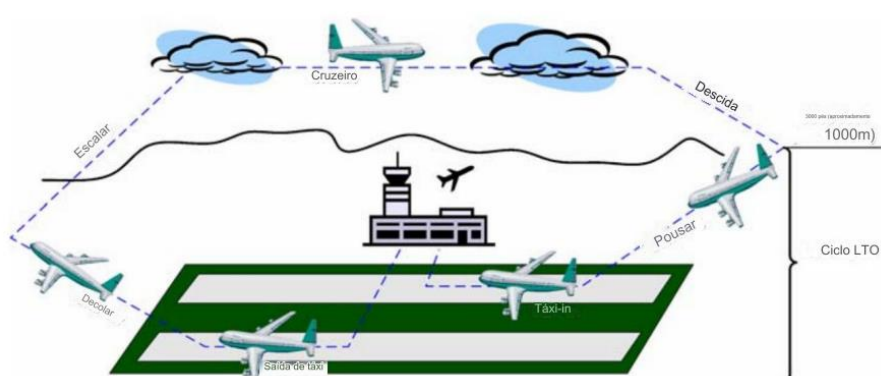




**25 a 27
de junho**

Hotel Sesc Cacupé
Florianópolis - SC
Rodovia Haroldo Soares Glavan, 1670, Cacupé

Figura 1 – Etapas de um voo



Fonte: Pejovic et al., 2008.

A tabela 4 mostra os resultados referentes à quantidade de consumo de gasolina e de querosene de aviação em que se calculou a soma do consumo de cruzeiro, consumo de primeira hora e consumo de taxiamento. Obteve-se um consumo total de 2.593.752,95 litros de gasolina de aviação e 97.939.307,26 litros de querosene de aviação nos trajetos em Santa Catarina. Já referente aos trajetos completos chegou-se ao resultado de 6.926.326,30 litros de gasolina de aviação e 261.535.933,22 litros de querosene de aviação.





**25 a 27
de junho**

Hotel Sesc Cacupé
Florianópolis - SC
Rodovia Haroldo Soares Glavan, 1670, Cacupé

Tabela 4 - Consumo de combustíveis dos voos em Santa Catarina e do trajeto completo.

	Consumo total (litros)	Consumo total de Gasolina de Aviação (litros)	Consumo total de Querosene de Aviação (litros)
Voos em SC	100.533.060,21	2.593.752,95	97.939.307,26
Voos no trajeto completo	268.462.259,52	6.926.326,30	261.535.933,22

Fonte: Elaborado pelos autores.

4.2 CENÁRIOS PROPOSTOS

Foi realizada a construção do cenário atual (Tabela 5), que se baseia no registro das emissões das aeronaves, que operam em Santa Catarina em 2022, assim como do trajeto total, com utilização de querosene (QA) e gasolina de aviação (GA). Já os cenários futuros, são uma proposição de aeronaves consumindo frações diferenciadas de SAF.

Tabela 5 – Cenários de estudo dos combustíveis

Cenários				
	2022 (atual)	2030	2040	2050
Tipo de combustível	100% Combustíveis fósseis (97,3% QA + 2,7% GA)	60% Combustíveis fósseis + 40 % SAF	40% Combustíveis fósseis + 60 % SAF	100% SAF

Fonte: Elaborado pelos autores.

Na tabela 6 demonstra-se o resultado em litros da quantidade de combustível fóssil utilizado nos voos que sobrevoaram Santa Catarina e do trajeto completo, e a quantidade de biocombustível proposto para a construção dos cenários.





**25 a 27
de junho**

Hotel Sesc Cacupé
Florianópolis - SC
Rodovia Haroldo Soares Glavan, 1670, Cacupé

Tabela 6 – Consumo de combustível de aviação de Santa Catarina e trechos totais (L)

	Querosene SC	Gasolina SC	SAF SC	Querosene trajeto total	Gasolina trajeto total	SAF trajeto total
2022 (100% fóssil)	97.935.775,59	2.593.659,42	0	261.535.933,23	6.926.326,30	0
2030 (60% fóssil)	58.761.465,35	1.556.195,65	40.211.774,00	156.921.559,94	4.155.795,78	107.384.903,81
2040 (40% fóssil)	39.174.310,23	1.037.463,77	60.317.661,01	104.614.373,29	2.770.530,52	161.077.355,71
2050 (100% SAF)	0	0	100.529.435,01	0	0	268.462.259,52

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

4.3 INVENTÁRIO DE EMISSÕES ANTROPOGÊNICAS

Os fatores de emissão da gasolina de aviação e do querosene de aviação são 3,12 kg CO₂e/kg (2,251 kg CO₂e/l) e 3,15 kg CO₂e/kg (2,517 kg CO₂e/l), respectivamente (FGV, 2016). Para obter os níveis de redução de emissões geradas pela substituição gradual dos combustíveis fósseis (gasolina de aviação e do querosene de aviação) pelo SAF, foram analisados estudos diversos que apresentavam dados sobre emissões de diversas origens de materiais orgânicos utilizados para produção de SAF. A partir da tabela 6 adaptada do estudo de Jain et al. (2021), observou-se que os combustíveis sustentáveis podem possuir uma diversidade de origens, com cada um possuindo um determinado fator de emissão.

Portanto, a partir das informações da tabela 6, adaptada de Jain et al. (2021), e dos estudos de Shahriar et al. (2022), que declaram ser de 80% a redução de emissões; da tese de Milanez (2021), que calcula que os SAFs derivados de biomassa, resíduos e outras





**25 a 27
de junho**

Hotel Sesc Cacupé
Florianópolis - SC
Rodovia Haroldo Soares Glavan, 1670, Cacupé

matérias-primas possam reduzir em até 94% as emissões de GEE; do estudo de Huq et al. (2021) que constataram que as rotas que utilizam esse tipo de combustível reduziram entre 50 a 70% as emissões de CO₂, do artigo desenvolvido por Yoo (2022), que afirma que várias matérias primas com base em celulose e em biomassa possuem reduções potenciais de emissões entre 33% e 91%, foi estabelecido nesse estudo, como referência nos cálculos, uma redução na emissão de gases de efeito estufa de 75% com o uso do SAF.

Tabela 6 – Fatores de emissão das diferentes matérias primas de SAF.

Tipos de biocombustíveis HEFA	Fatores de emissão (kg CO ₂ e por kg de combustível)
Sebo	0,439
Óleo de cozinha	0,272
Destilado de ácido graxo de palma	0,405
Óleo de milho	0,336
Óleo de soja	0,790
Óleo de colza	0,927
Óleo de camelina	0,821
Óleo de palma	0,731
Brassica carinata	0,673

Fonte: Elaborada pelos autores.

Na tabela 7 constam os resultados das emissões do ano de 2022 e das proposições de cenários para os voos somente em Santa Catarina e do trajeto total.





**25 a 27
de junho**

Hotel Sesc Cacupé
Florianópolis - SC
Rodovia Haroldo Soares Glavan, 1670, Cacupé

Tabela 7 – Emissões anuais de Santa Catarina e trechos totais (tCO₂e)

	Querosene SC	Gasolina SC	SAF SC	Querosene trajeto total	Gasolina trajeto total	SAF trajeto total
2022 (100% fóssil)	248.366,92	5.882,67	0	663.259,92	15.709,57	0
2030 (60% fóssil)	149.020,15	3.529,60	25.424,96	397.955,95	9.425,74	67.896,95
2040 (40% fóssil)	99.346,77	2.353,07	38.137,44	265.303,97	6.283,83	101.845,42
2050 (100% SAF)	0	0	63.562,40	0	0	169.742,37

Fonte: Elaborado pelos autores.

O estudo revela alto uso de combustíveis fósseis pela aviação catarinense, com tendência de aumento nas emissões devido ao crescimento dos voos. Alternativas sustentáveis, como o SAF, crescem lentamente. Em 2022, as emissões em Santa Catarina somaram 254.249,59 tCO₂e, podendo cair 75% com uso de SAF. A substituição por biocombustíveis se mostra essencial para reduzir o impacto ambiental do setor aéreo. Embora haja avanços tecnológicos e uso de combustíveis sustentáveis, o progresso é limitado diante da crescente demanda. Assim, reforça-se a importância de pesquisas e dados que incentivem a transição para uma aviação mais sustentável e menos poluente.

5. REFERÊNCIAS

AIRBUS, PREVISÃO DO MERCADO GLOBAL 2023-2042, Redes Globais, Cidadãos Globais (2023).





**25 a 27
de junho**

Hotel Sesc Cacupé
Florianópolis - SC
Rodovia Haroldo Soares Glavan, 1670, Cacupé

CONTI, José Bueno. Considerações sobre as mudanças climáticas globais. Geography Department, University Of Sao Paulo, [S.L.], p. 70-75, 2005. Universidade de Sao Paulo, Agencia USP de Gestao da Informacao Academica (AGUIA). <http://dx.doi.org/10.7154/rdg.2005.0016.0007>.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS (FGV), 2016. http://mediadrawer.gvces.com.br/ghg/original/ghg-protocol_nota-tecnica_categorias-escopo-1_-v3.pdf

HATAMI-MARBINI, Adel; ASU, John Otu; KHOSHNEVIS, Pegah. Environmental performance assessment in the transport sector using nonparametric frontier analysis: a systematic literature review. Computers & Industrial Engineering, [S.L.], v. 189, p. 109968, mar. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2024.109968>.

HUQ, Nabila A.; HAFENSTINE, Glenn R.; HUO, Xiangchen; NGUYEN, Hannah; TIFFT, Stephen M.; CONKLIN, Davis R.; STÜCK, Daniela; STUNKEL, Jim; YANG, Zhibin; HEYNE, Joshua S.. Toward net-zero sustainable aviation fuel with wet waste-derived volatile fatty acids. Proceedings Of The National Academy Of Sciences, [S.L.], v. 118, n. 13, p. 01-11, 15 mar. 2021. Proceedings of the National Academy of Sciences. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.2023008118>.

JAIN, Samarth; CHAO, Hsun; MANE, Muharrem; CROSSLEY, William A.; DELAURENTIS, Daniel A.. Estimating the Reduction in Future Fleet-Level CO2 Emissions From Sustainable Aviation Fuel. Frontiers In Energy Research, West





**25 a 27
de junho**

Hotel Sesc Cacupé
Florianópolis - SC
Rodovia Haroldo Soares Glavan, 1670, Cacupé

Lafayette, v. 9, p. 1-14, 29 nov. 2021. Frontiers Media SA.
<http://dx.doi.org/10.3389/fenrg.2021.771705>.

LAMIM, Gabriela. IMPACTOS DA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE) DO SISTEMA MODAL NA ROTA DE CARGAS PORTUÁRIAS DE SANTA CATARINA. 2023. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Clima e Ambiente, Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023.

LARSSON, Jörgen; ELOFSSON, Anna; STERNER, Thomas; ÅKERMAN, Jonas. International and national climate policies for aviation: a review. Climate Policy, [S.L.], v. 19, n. 6, p. 787-799, 11 jan. 2019. Informa UK Limited.
<http://dx.doi.org/10.1080/14693062.2018.1562871>.

MACINTOSH, Andrew; WALLACE, Lailey. International aviation emissions to 2025: can emissions be stabilised without restricting demand?. Energy Policy, [S.L.], v. 37, n. 1, p. 264-273, jan. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2008.08.029>.

MILANEZ, Artur Yabe; MAIA, Guilherme Baptista da Silva; GUIMARÃES, Diego Duque; FERREIRA, Cleiton Leandro Alves. (2021). Biocombustíveis de aviação no Brasil: uma agenda de sustentabilidade. Revista BNDES, Rio de Janeiro, v. 28, n. 56, p. 361-398.

PEJOVIC, Tamara; NOLAND, Robert B.; WILLIAMS, Victoria; TOUMI, Ralf. Estimates of UK CO2 emissions from aviation using air traffic data. Climatic Change,





Inspirando, impactando e transformando vidas



**25 a 27
de junho**

**Hotel Sesc Cacupé
Florianópolis - SC**
Rodovia Haroldo Soares Glavan, 1670, Cacupé

[S.L.], v. 88, n. 3-4, p. 367-384, 29 jan. 2008. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-007-9370-0>.

SHAHRIAR, Md Fahim; KHANAL, Aaditya. The current techno-economic, environmental, policy status and perspectives of sustainable aviation fuel (SAF). Fuel, [S.L.], v. 325, p. 124905, out. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124905>.

VOLKER, Grewe; RAO, Arvind Gangoli; GRÖNSTEDT, Tomas; XISTO, Carlos; LINKE, Florian; MELKERT, Joris; MIDDEL, Jan; OHLENFORST, Barbara; BLAKEY, Simon; CHRISTIE, Simon. Evaluating the climate impact of aviation emission scenarios towards the Paris agreement including COVID-19 effects. Nature Communications, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 0-0, 22 jun. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41467-021-24091-y>.

YOO, Eunji; LEE, Uisung; WANG, Michael. Life-Cycle Greenhouse Gas Emissions of Sustainable Aviation Fuel through a Net-Zero Carbon Biofuel Plant Design. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, [S.L.], v. 10, n. 27, p. 8725-8732, 29 jun. 2022. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c00977>.

