

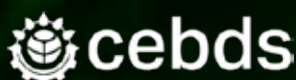
PRINCIPAIS CONCLUSÕES

AEROVIÁRIO



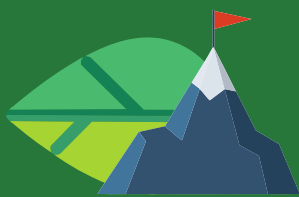
COALIZÃO DOS TRANSPORTES

COMO TORNAR O SETOR DE TRANSPORTES UM CONTRIBUIDOR
ATIVO PARA A REDUÇÃO DAS EMISSÕES BRASILEIRAS



CNT / SEST SENAT / ITL
Sistema Transporte





CONTEXTO E MOTIVAÇÃO

- A Nova Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) do Brasil e o Plano Clima representam **oportunidades para posicionar o país como um líder global de descarbonização**, especialmente por ser a sede da COP30, em 2025.
- O setor de transportes é crítico, sendo responsável por **~11% das emissões brutas nacionais (260 Mton em 2023, visão poço à roda¹); ~4% das emissões de transportes são provenientes do modo aeroviário.**
- Dado o crescimento esperado para o país, em um cenário de inação, as emissões do modo aeroviário podem atingir **13,4 Mton CO₂e em 2050.**



A COALIZÃO

- A magnitude do desafio exige mobilização e debate amplo pelo setor de transportes.
- **Liderada por Motiva, CEBDS, CNT e o Observatório de Mobilidade do Insper**, a Coalizão mobilizou **+50 entidades de 6 verticais**: Mobilidade Urbana, Rodoviário, Ferroviário, Aquaviário, Aeroviário e Infra/Transversalidade.



OBJETIVOS INICIAIS

- O esforço, iniciado em Nov/2024, desenvolvido a partir da **contribuição ativa das entidades da Coalizão e com dados primários** disponíveis até Fev/2025, materializou entregas importantes, como:
 1. Mensuração do *baseline* de emissões em 2050²;
 2. Mapeamento de 90 alavancas de descarbonização;
 3. Quantificação de impactos para a trajetória de descarbonização.

As conclusões deste estudo resultam de um esforço coletivo em prol da descarbonização sustentável do setor de transportes, com base nas tecnologias e informações atualmente disponíveis, e poderão evoluir com novos avanços futuros.

1. Emissão do setor de transportes calculada com base em outras fontes externas ao SEEG; 2. Baseline 2050 é uma projeção baseada em estimativas de crescimento de passageiros e carga e visão inercial da matriz de consumo de combustível.

AEROVIÁRIO – ENTIDADES INTEGRANTES

O presente documento contou com o apoio das seguintes entidades do modo de transporte aeroviário.



COORDENAÇÃO



DEMAIS INTEGRANTES



CNT / SEST SENAT / ITL
Sistema Transporte



OBSERVATÓRIO NACIONAL DE MOBILIDADE SUSTENTÁVEL
Insper CENTRO DE ESTUDOS DAS CIDADES

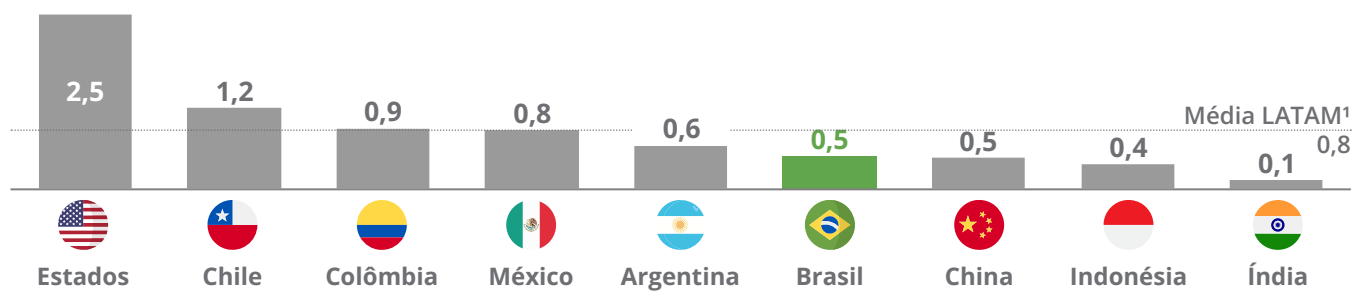


ENTIDADES TRANSVERSAIS CONSULTIVAS

Ao comparar o número de passageiros do modo aeroviário por habitante em diferentes países, observa-se que o Brasil ainda tem espaço para crescer.

TOTAL DE PASSAGEIROS POR HABITANTE

(PAX / 1000 habitantes) 2023

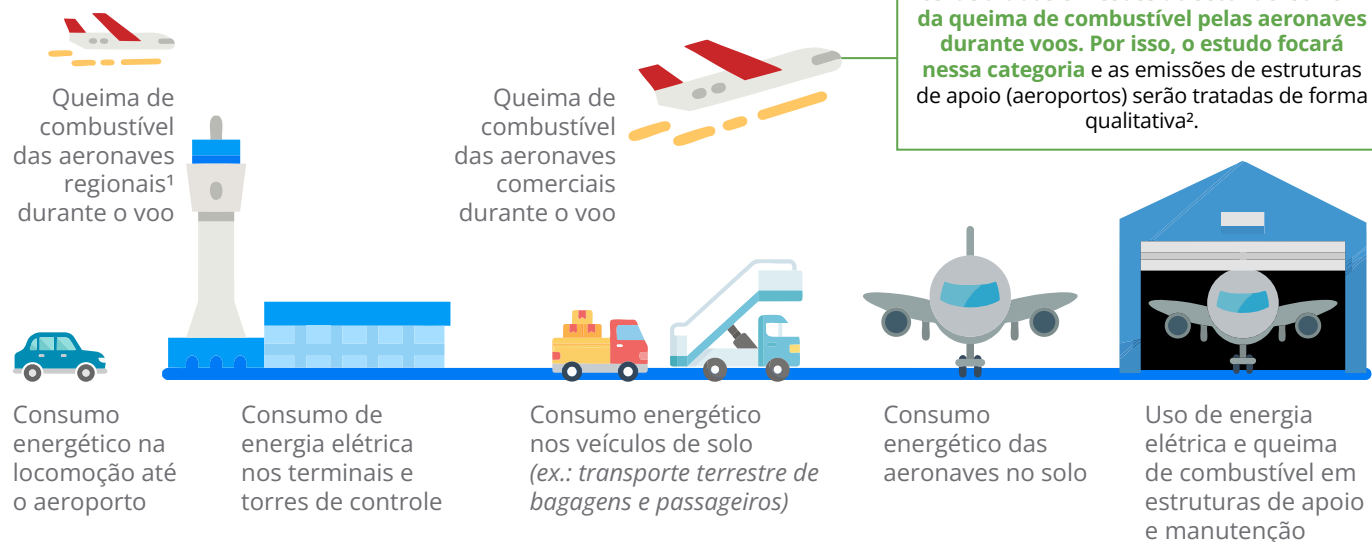


Brasil tem uma relação de **PAX / habitante 38% menor que a média LATAM¹**. Quando olhamos para países como os **Estados Unidos**, esse número chega a ser **5x menor**

1. Considera somente Chile, Colômbia, México, Argentina e Brasil. Fontes: IATA; OAG; ICAO; UNWTO; EIU; ANAC

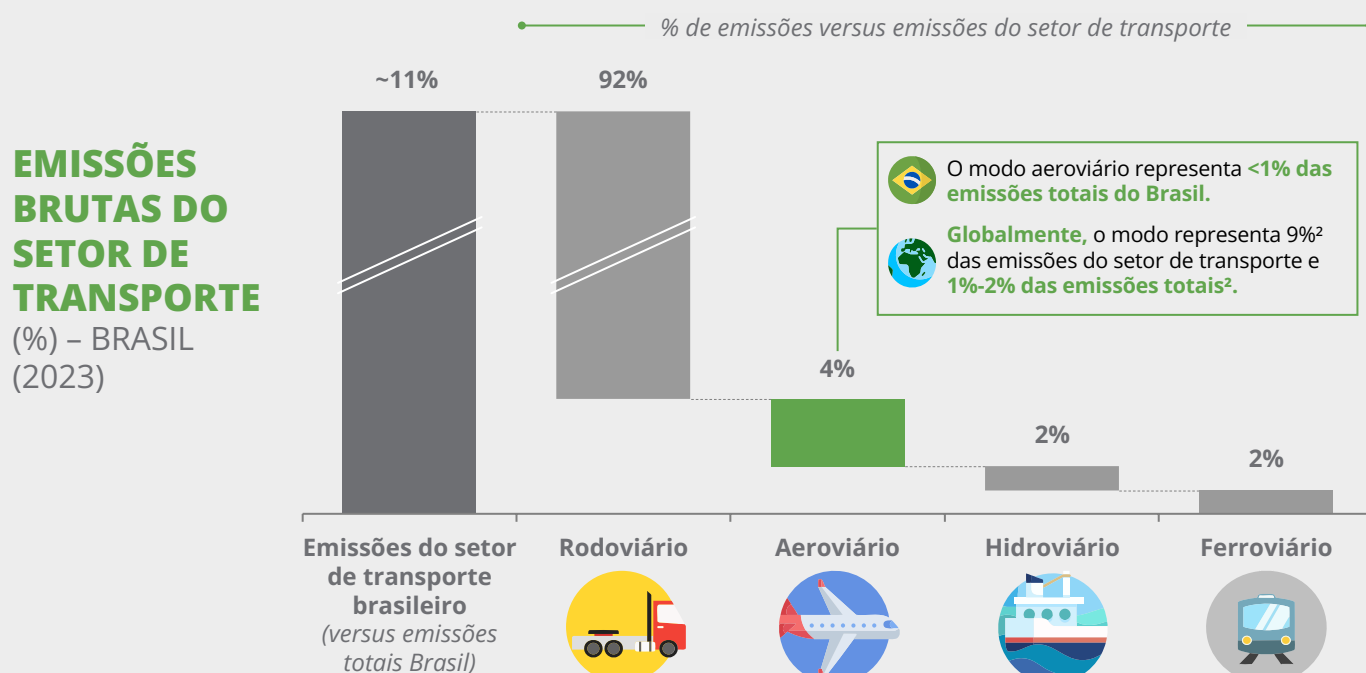
AS EMISSÕES AEROVIÁRIAS VÊM PRINCIPALMENTE DO TRANSPORTE, COM MENOR IMPACTO DA INFRAESTRUTURA

Ecosistema de emissões do modo aeroviário (transporte)



1. Aeronaves regionais incluem todas as categorias não comerciais; 2. Estima-se que as emissões de aeroportos representem de 10%-15% do total de emissões do setor aéreo, globalmente. Fontes: SEEG; entrevistas com especialistas do setor.

EMISSIONS¹ DO MODO AEROVIÁRIO REPRESENTAM ~4% DO TOTAL DO SETOR DE TRANSPORTES NO BRASIL



1. Emissões de transporte reportadas pelo SEEG não restritas à queima de combustível; 2. Valor global (2019) excluindo Brasil e considerando emissões de voos internacionais.
Fontes: Anfavea; SEEG; CAIT; Climate TRACE.



PANORAMA ATUAL - SETOR AEROVIÁRIO

Indicadores relevantes
do modo aeroviário

2023

96
Bilhões
RPK
doméstico

159
Aeroportos
públicos²

3B kg
Combustível
doméstico -
QAV

10
Mton
Emissão de
CO₂e - 2022

514
Frota de
aeronaves¹

789
mil
Voos
domésticos

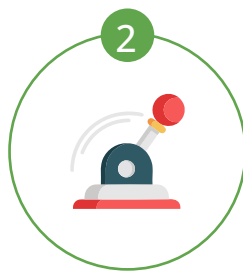
91
milhões
PAX
domésticos

1. Porte por # de passageiros: pequena (até 100), média (101-250) e grande (251+); 2. Aeroportos que receberam voos regulares domésticos. Fontes: ANAC.

ABORDAGEM I TRÊS ETAPAS PARA DEFINIÇÃO DOS CAMINHOS POSSÍVEIS PARA DESCARBONIZAÇÃO DO MODO AEROVIÁRIO



Definição de projeções para o total de emissões do setor, **com mudanças na participação dos diferentes modos de transportes;**



Mapeamento das alavancas para **redução de emissão aplicáveis ao modo aeroviário;**



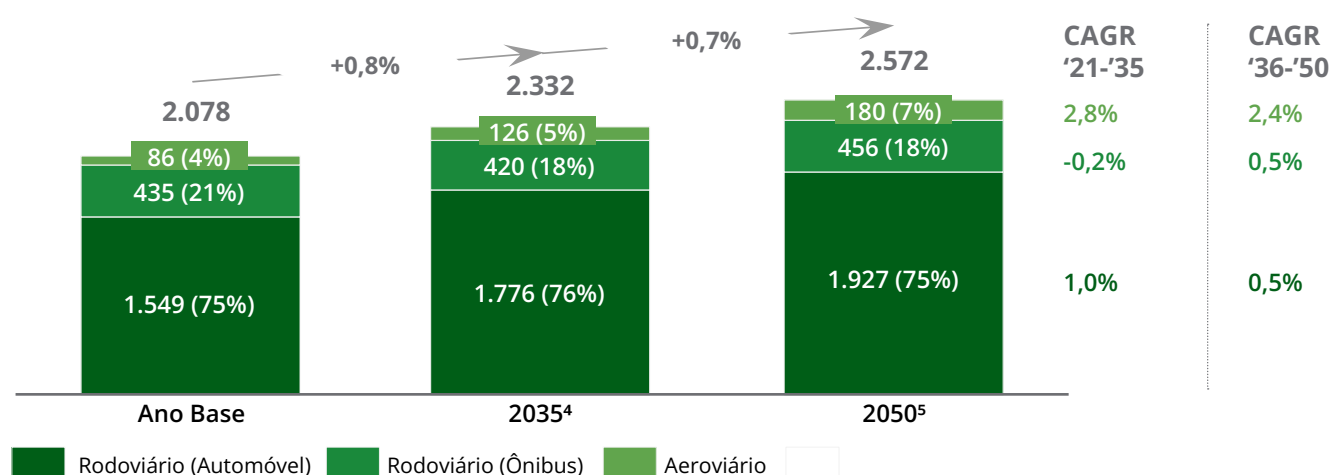
Proposição de possíveis **sensibilidades com base nas alavancas mapeadas.**

1 DEFINIÇÃO DE BAU¹ CONSIDERANDO O GANHO DE REPRESENTATIVIDADE NA MATRIZ DE PASSAGEIROS

Na primeira etapa, foi explorado um cenário futuro baseado no PNL e em Planos Setoriais, no qual a participação do modo aeroviário poderia ser ampliada, impactando a distribuição dos passageiros transportados entre os diferentes modos.

EVOLUÇÃO DA MATRIZ DE PASSAGEIROS²

(Passageiros, %) Milhões PAX, ano base³



1. BaU = Business-as-usual; 2. Projetado com base nos Planos Setoriais de Transportes e no PNL 2035 – Plano Nacional de Logística; 3. Ano Base = 2021, sendo o PNL projetado aos respectivos CAGRs do Cenário Referencial versus 2017. 4. Valores de TKU 2035 são referentes ao cenário PSR1 do PST e de PAX são oriundos do cenário referencial da matriz de passageiros do PNL 2035. 5. TKU projetado a PIB com share do cenário PSR3 do PST e PAX projetado a crescimento da população sem mudança de share. Nota: Passageiros informados no PNL contempla somente fluxos intermunicipais e interestaduais, não considera passageiros dentro dos centros urbanos. Fontes: Infra S.A.; Ministério dos Transportes; Ministério da Infraestrutura.

2 MAPEAMENTO DE ALAVANCAS PARA REDUÇÃO DE EMISSÕES

Após a apresentação da matriz de transportes, foram identificadas pelo grupo de trabalho **alavancas com potencial de reduzir emissões no modo aeroviário**.

Tais alavancas foram mapeadas em três grandes blocos, conforme descrito a seguir. Para cada uma delas, foi realizada uma análise¹ de viabilidade qualitativa e apresentadas referências locais e globais que ilustram a respectiva aplicação.

1. O detalhamento completo das viabilidades e referências encontra-se no documento completo do modo aeroviário, que pode ser acessado via QR Code ao final desse material

BLOCOS DE ALAVANCAS PARA REDUÇÃO DE EMISSÕES no modo aeroviário



EFICIÊNCIA



BIOCOMBUSTÍVEIS



ELETRIFICAÇÃO E POWER-TO-X



EFICIÊNCIA

Alavancas - Aeronaves (momento de voo)

- 1 **Renovação acelerada da frota atual**, com a substituição mais rápida de aeronaves mais antigas por modelos mais eficientes (ex.: modelos Max e Neo) e com melhor design.
- 2 **Otimização inteligente de rotas e alocação de frota** ao modernizar o sistema de operação de tráfego aéreo, reduzindo distância média e outros efeitos.
- 3 **Agir sobre o comportamento dos motores e dos pilotos** através de por meio de Condução Ecoeficiente e Assistida para otimizar a alta dispersão do consumo de energia entre os diferentes voos.
- 4 **Melhor aproveitamento das aeronaves**, com foco na elevação do load factor.

Fontes: Skypower Reports; EPE; The Economist; ProQR; FAPESP.

Alavancas - Aeroportos e emissões em solo

- 1 **Aprimoramento da gestão operacional¹** (ex.: ground ops., ground control, flight control etc.) e trajetórias de pouso e decolagem por meio da **modernização de sistemas** e fortalecimento da **infraestrutura aeroportuária**.
- 2 Suporte ao **aumento de eficiência do consumo energético da aeronave no solo** (ex.: uso de rebocadores elétricos, utilização de GPUs elétricos – ex.: 400Hz – em vez de APUs etc.).
- 3 Implementação de estratégias de **ganho de eficiência no consumo de eletricidade, gases refrigerantes, resíduos e água** (ex.: lâmpadas LED, uso de ventilação natural etc.).
- 4 **Renovação acelerada da frota e maquinário de apoio atual**, com a substituição por modelos mais eficientes.

As primeiras duas alavancas consideram impacto/viabilização da redução de emissões por parte das aeronaves

1. Considera decisões de pista/pátio e de gestão de pouso/decolagem; Fontes: ICAO; NLR; FAPESP; ACI.



BIOCOMBUSTÍVEIS

Alavancas - Aeronaves (momento de voo)

- 1 **Intensificação do uso de bio-SAF** de forma direta como alternativa ao QAV e à gasolina de aviação.
- 2 **Utilização de práticas de Book & Claim¹**, por meio da aquisição de créditos de SAF.

Potencial intensificação de biocombustíveis para redução da pegada de carbono pode ser aplicada desde que seja constatada a viabilidade técnica, mecânica, operacional e laboratorial do referido insumo energético, bem como respeitada a diversidade de matrizes e especificidades regionais.

Corte de emissões relativa ao SAF em outra etapa da cadeia pode não acontecer dentro do escopo de emissões domésticas brasileiras².

1. Prática em que determinada cia. aérea compra os créditos correspondentes ao SAF produzido, mas usa combustível convencional em seus voos, outra parte do sistema consome o SAF físico e a cia. compradora recebe créditos de carbono; 2. Apesar de poder ser contabilizado no CORSIA. Fontes: Skycop Reports; EPE; The Economist; ProQR; FAPESP; Gol.

Alavancas - Aeroportos e emissões em solo

- 1 **Uso de combustível limpo no maquinário de apoio**, como APU (Auxiliary Power Unit) e GPU (Ground Power Unit).
- 2 **Uso de combustíveis limpos na frota de apoio** (ex.: ônibus internos e tratores de bagagem à base de GNC ou etanol).
- 3 **Apoio ao oferecimento de combustíveis limpos** às aeronaves (ex.: infraestrutura, facilitação etc.).

Potencial intensificação de biocombustíveis para redução da pegada de carbono pode ser aplicada desde que seja constatada a viabilidade técnica, mecânica, operacional e laboratorial do referido insumo energético, bem como respeitada a diversidade de matrizes e especificidades regionais.

Fontes: ICAO; NLR; FAPESP; ACI.



ELETRIFICAÇÃO E *POWER-TO-X*

Alavancas - Aeronaves (momento de voo)

- 1 **Utilização de soluções de Power-to-Liquid** (PtL: e-SAF¹) como fontes de energia.
- 2 **Uso de soluções de hidrogênio como fonte energética direta** (através de combustão direta ou célula de combustível).

Alavancas podem ser aplicadas desde que seja constatada a viabilidade técnica e operacional das respectivas soluções.

Outras iniciativas que são potenciais alavancas para aeronaves menores e de curta distância, como eletrificação/hibridização, não foram analisadas em detalhes dada a limitação da solução e do tempo de implementação

1. Combustíveis sintéticos produzidos a partir de hidrogênio verde, eletricidade renovável e CO₂ capturado - o gás sintético precisa passar por um processo de conversão (Fischer-Tropsch) para produzir produtos líquidos que podem ser refinados para combustíveis; Fontes: Skycopower Reports; EPE; The Economist; ProQR; FAPESP.

Alavancas - Aeroportos e emissões em solo

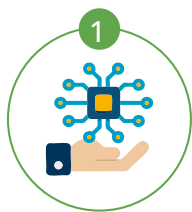
- 1 **Utilização de energia renovável** (ex.: matriz fotovoltaica) nas operações (terminais, pátio e administrativas).
- 2 **Eletrificação** (ou uso de baterias híbridas) **da frota** (ex.: ônibus e tratores de bagagem) e **maquinário** (ex.: GPU) de apoio.
- 3 **Uso de matriz energética limpa** nos sistemas e maquinários de apoio elétricos/híbridos (ex.: GPU).
- 4 **Aprimoramento da infraestrutura** do aeroporto, permitindo a eletrificação (ex.: infraestrutura de tomadas, rede elétrica de transmissão adaptada etc.).

Alavancas podem ser aplicadas desde que seja constatada a viabilidade técnica e operacional das respectivas soluções

Fontes: ICAO; NLR; FAPESP; ACI.

3 PROPOSIÇÃO DE SENSIBILIDADES BASEADAS NAS ALAVANCAS MAPEADAS

Por último, foram propostas sensibilidades para avaliar o impacto de diferentes caminhos de descarbonização:



Tecnologias atuais

Restritas à aplicação de alavancas de eficiência e ao cumprimento de exigências regulatórias;



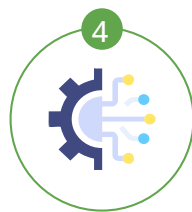
Intensificação de biocombustíveis

Predominância da aplicação de alavancas de intensificação do uso de biocombustíveis;



Aceleração da eletrificação/*Power-to-X*

Predominância da aplicação de alavancas de aceleração da eletrificação/power-to-x da frota de aeronaves;



Transformacional

Combinação de esforços considerando as alavancas das sensibilidades 1, 2 e 3 para alcance mais próximo de emissões líquidas zero.

SENSIBILIDADES PROPOSTAS CONSIDERARAM DIFERENTES PREMISSAS:

Assim como no BaU¹, o **aumento da penetração de SAF não impacta a matriz de passageiros** em nenhuma sensibilidade.

Não está prevista a utilização em escala de aeronaves de novos perfis de emissão (ex.: híbridas/elétricas, eVTOL)².



TECNOLOGIAS ATUAIS

TRANSFORMACIONAL



Eficiência em aeroportos

Todas as alavancas de eficiência foram consideradas nas diferentes sensibilidades.



Eficiência em aeronaves

Modelos novos até 25% mais eficientes em consumo de combustível vs. antigos, com encomendas desses entrando antes da data prevista³.

Uso de SAF (biocombustível⁴)

Segue penetração do BaU¹, com bio-SAF atingindo 11% da matriz de combustível total em 2050.

Cenário mais otimista, com bio-SAF atingindo a penetração de 22% em 2050.



Rota PtL (e-fuels / e-SAF)²

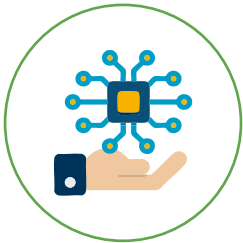
–

A rota de PtL (e-SAF) atinge 11% da matriz total em 2050.

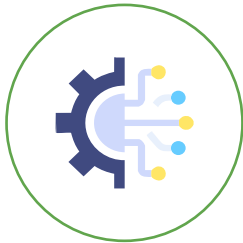
1. BaU – business-as-usual (baseline de emissões); 2. Dados o foco em aviação comercial de grande porte e a imaturidade das respectivas soluções para o modo, a eletrificação, eVTOL e o uso de hidrogênio puro não estão sendo considerados no modelo; 3. A frota total é, em média, 30% mais eficiente em 2050 versus ano base; 4. Potencial intensificação de biocombustíveis para redução da pegada de carbono pode ser aplicada desde que seja constatada a viabilidade técnica, mecânica, operacional e laboratorial do referido insumo energético, bem como respeitada a diversidade de matrizes e especificidades regionais. Fontes: AviationWeek; IATA; relatório de sustentabilidade das cias. aéreas brasileiras; legislação ReFuelEU; Departamento de Energia dos EUA; S&P; EPE; ICAO; Argus; entrevistas com experts setoriais.

RESULTADOS DAS SENSIBILIDADES EM IMPACTO EM EMISSÕES

Devido ao crescimento esperado do volume de passageiros, as emissões do setor podem alcançar **13,4 Mton CO₂e absolutos em 2050** no cenário baseline (BaU), um crescimento de ~50% vs 2023. Com a implementação das alavancas mapeadas, o setor deve atingir **9,6 Mton CO₂e absolutos (+7% vs. 2023)** na sensibilidade transformacional em 2050, uma redução de 28% vs. BaU, alcançando **53gCO₂e/PAX (-46% vs. 2023 e -28% vs. BaU) de emissões relativas**.

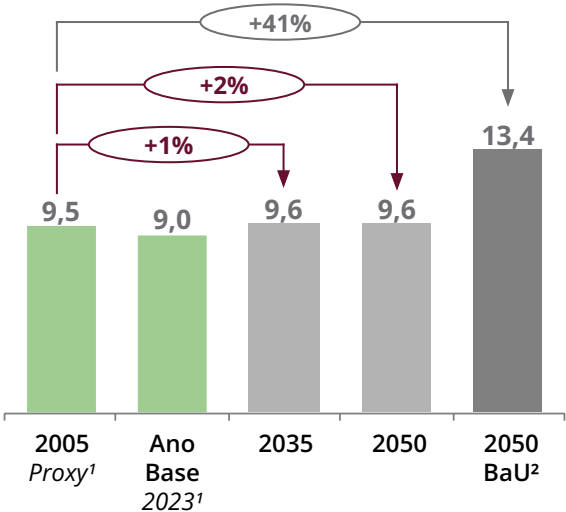
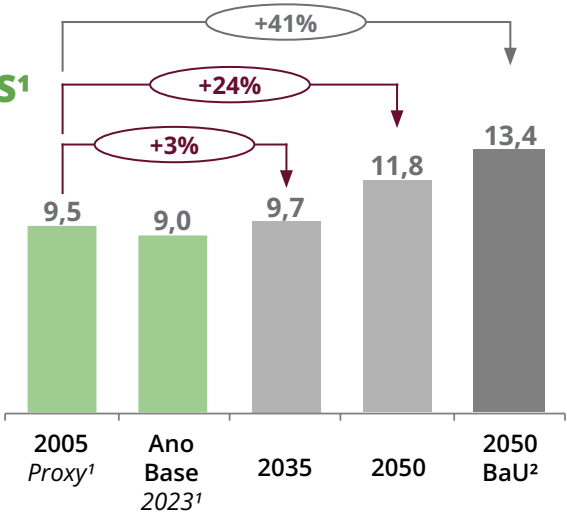


TECNOLOGIAS ATUAIS



TRANSFORMACIONAL

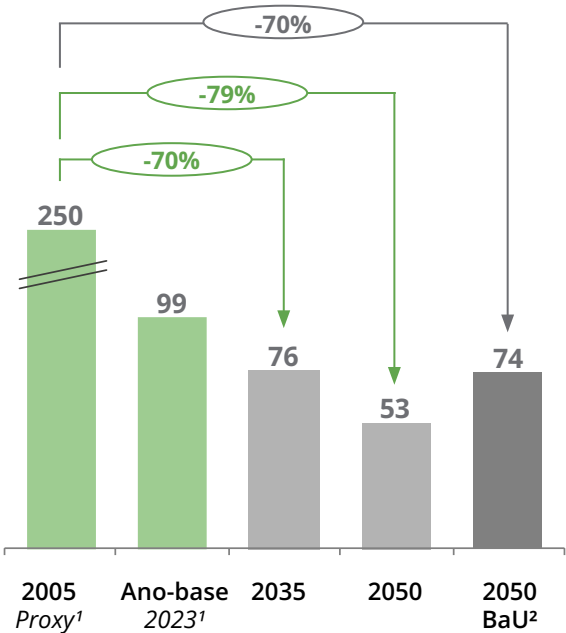
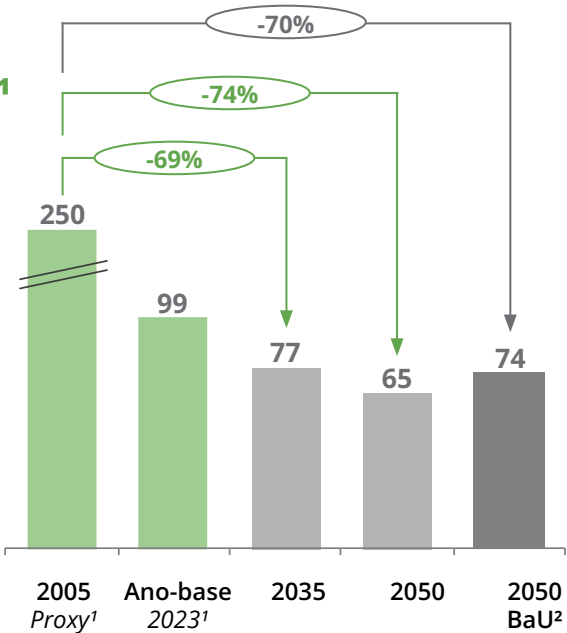
EMISSIONS ABSOLUTES¹ (MtCO₂e)



TKU (B)



EMISSIONS RELATIVES¹ (gCO₂e / PAX)



1. As emissões SEEG 2005/2023 (2023: proxy por fator de emissão GLEC) foram ajustadas por um fator de emissões do poço ao tanque (WTT) / emissões do tanque à roda (TTW) do modo; 2. BaU = Business-as-usual. Fontes: SEEG; AviationWeek; IATA; relatório de sustentabilidade das cias. aéreas; legislação ReFuelEU; Departamento de Energia dos EUA; S&P; EPE; ICAO; Argus; entrevistas com experts setoriais.



EXEMPLOS ILUSTRAM COMO HABILITADORES AJUDAM A VIABILIZAR ALAVANCAS DE DESCARBONIZAÇÃO

DIRETRIZES E INCENTIVOS PÚBLICOS PARA VIABILIZAR REDUÇÃO DE EMISSÕES DO MODO AÉREO

CORSIA

Regulação que estabelece metas obrigatórias para compensação e redução de emissões de carbono na aviação internacional, impactando a aviação doméstica.

MECANISMOS DE COORDENAÇÃO MULTISSETORIAL QUE FOMENTEM A INFRAESTRUTURA E DISPONIBILIDADE DE SAF

O Aeroporto Internacional Sea-Tac¹, em colaboração com 13 aéreas², está ajustando sua infraestrutura para abastecer 10% dos voos com SAF até 2028. 

REGULAÇÃO QUE INCENTIVE INVESTIMENTOS PÚBLICOS E PRIVADOS EM COMBUSTÍVEIS MAIS LIMPOS

Lei Combustível do Futuro

O ProBioQAV promove pesquisa, produção e uso de SAF para descarbonizar o transporte aéreo doméstico.

MECANISMOS TANGÍVEIS PARA FOMENTO AO FINANCIAMENTO PRIVADO

Sustainable Flight Fund

+20 parceiros globais e brasileiros (ex.: Embraer) comprometidos em financiar mais de US\$ 200 mi em projetos voltados à descarbonização do transporte aéreo.

CONTABILIZAÇÃO DE EMISSÕES COM BOOK-AND-CLAIM

ICAO

O CORSIA reconhece e sistematiza o modelo Book-and-Claim, permitindo o uso desses créditos para contabilizar redução de emissões e aliviar a escassez de SAF em países com menor disponibilidade.

PASSOS CONCRETOS PARA O BRASIL SE TORNAR PROTAGONISTA NA CADEIA GLOBAL DE SAF

Em 2024, a Raízen realizou o primeiro embarque de etanol de cana-de-açúcar do Brasil para os Estados Unidos, destinado à conversão em SAF em uma usina na Geórgia. 

1. Seattle-Tacoma; 2. Incluindo Alaska Airlines, Delta Air Lines, Emirates, Horizon Air, Icelandair e Lufthansa. Fontes: Bloomberg; FINEP; IATA; United Airlines Ventures; Aero Magazine; Embraer; Airport Technology News.

AMBICIONAMOS UM CRESCIMENTO SUSTENTÁVEL PARA O MODO AEROVIÁRIO

Dado o expressivo crescimento do número de passageiros transportados pelo modo aeroviário (+ 100% 2023-50) e sua maior representatividade na matriz brasileira (7% vs 4% no ano-base¹), **as emissões remanescentes em 2050 representariam 7,0% do total de emissões de transportes do Brasil mesmo na sensibilidade mais transformacional.**



Conclusões ambicionadas pelo trabalho em direção ao modo aeroviário no Brasil em 2050:

AEROVIÁRIO ATUAL¹

 **~4% DOS PASSAGEIROS DO MODO AEROVIÁRIO**
(equivalente a ~91M de PAX³).

 **~0 B L DE BIOCOMBUSTÍVEIS CONSUMIDOS**
(focada no uso de opções fósseis⁴).

 **~0% da matriz de combustível PROVENIENTE DE SOLUÇÕES DE PTX⁵ OU HIDROGÊNIO.**

AEROVIÁRIO FUTURO²

  **~7% DOS PASSAGEIROS DO MODO AEROVIÁRIO**
(~180M), crescimento de +2,5% a.a.

  **~1,1 B L DE BIO-SAF** consumidos, representando 22% da matriz de combustíveis do modo.

  **~11% DAS AERONAVES** usando combustíveis sintéticos (PtX - eSAF).

1. 2023 Proxy; 2. 2050 Transformacional; 3. Passageiros; 4. Querosene ou gasolina de aviação; 5. Power-to-X; 6. Dado o foco em aviação comercial de grande porte e a imaturidade das respectivas soluções para o modo, a eletrificação, e-vtol e uso de hidrogênio puro não estão sendo considerados. Fontes: SEEG; AviationWeek; IATA; ReFuelEU; Departamento de Energia dos EUA; S&P; EPE; ICAO; Argus; entrevistas com experts setoriais.

MODA AEROVIÁRIO

Escaneie o QR Code para acessar o documento completo

