

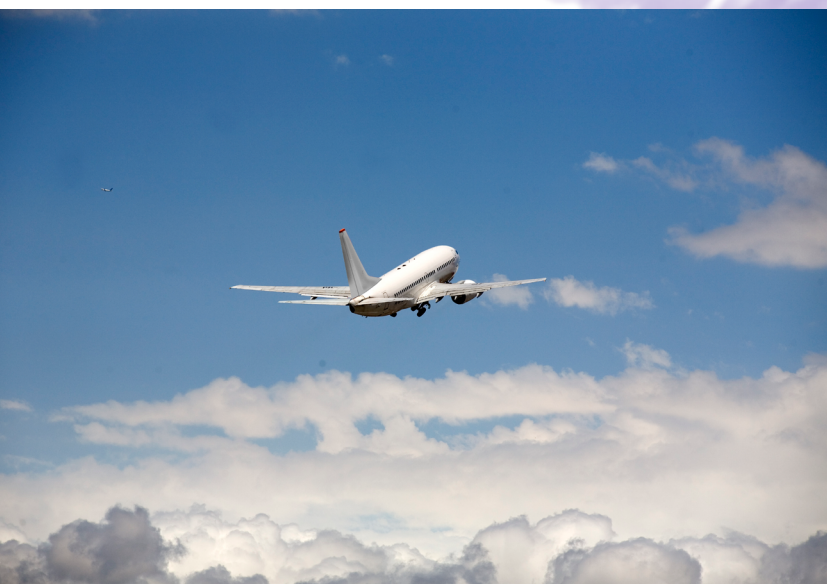
**Agência Nacional de Aviação Civil
Superintendência de Relações Internacionais
Gerência Técnica de Análise Ambiental**

**INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES
ATMOSFÉRICAS DA AVIAÇÃO CIVIL**

2014

ANO-BASE 2013

Relatório Final



Agência Nacional de Aviação Civil
Superintendência de Relações Internacionais
Gerência Técnica de Análise Ambiental

**INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES
ATMOSFÉRICAS DA AVIAÇÃO CIVIL**

2014

ANO-BASE 2013

Relatório Final

ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil

Diretor-Presidente: **Marcelo Pacheco dos Guaranys**

Diretor de Operações de Aeronaves: **Carlos Eduardo Magalhães da Silveira Pellegrino**

Diretor de Aeronavegabilidade: **Claudio Passos Simão**

Diretor de Regulação Econômica: **Ricardo Sérgio Maia Bezerra**

Superintendente de Relações Internacionais: **Bruno Dalcolmo**

Gerente Técnico de Análise Ambiental: **Alexandre Rodrigues Filizola**

Equipe Técnica: **Bruno Arantes Caldeira Silva, Cristiano Viana Serra Villa, Talita Armborst**

IEMA- Instituto de Energia e Meio Ambiente

Diretor Presidente: **André Luis Ferreira**

Equipe Técnica: **Ademilson Zamboni, David Shiling Tsai, Edgar Calligari Pires, Marcelo dos Santos Cremer**

Diagramação: **Karoline Costal dos Santos**

Apresentação

A atuação das agências reguladoras do setor de transporte no Brasil cada vez mais se expande e incorpora outras dimensões que buscam fortalecer o posicionamento do país em temas multinacionais, os quais transbordam a pauta das políticas socioeconômicas e perpassam, entre outras, as agendas ambiental e climática.

Com esse alinhamento, a ANAC apresenta o **INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DA AVIAÇÃO CIVIL**, que se configura uma importante ferramenta de gestão ambiental capaz de detalhar a evolução das emissões de poluentes atmosféricos e gases de efeito estufa do transporte aéreo ao longo dos anos. Trata-se de um documento concebido como um elemento estratégico ao planejamento, à implantação e ao acompanhamento de políticas públicas setoriais, direcionadas à melhoria da qualidade do ar e à mitigação das emissões de gases que contribuem para o aquecimento global, reforçando a lógica de internalizar a variável ambiental tanto na atuação, quanto na própria estrutura da Agência.

Assim, o **INVENTÁRIO** apresenta as emissões de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx), compostos orgânicos voláteis (COV), dióxido de enxofre (SO₂) e material particulado (MP) ocorridas entre 2005 e 2013 durante as fases de voo com altura menor do que 3.000 pés. Adicionalmente, estão aqui inventariadas as emissões dos gases de efeito estufa direto: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), de 2000 a 2013, para todas as fases de voo. Os números aqui apresentados detalham as emissões por aeródromo, por tipo de movimentação e por fase de voo.

Essa iniciativa vai além da aplicação de metodologias acordadas nos fóruns internacionais, pois, internamente, representa uma valiosa oportunidade de organização e ajuste das bases de dados do setor e provê, com transparência, um conjunto inédito de informações à sociedade e aos formuladores de políticas em transportes, meio ambiente, logística, tecnologia e competitividade setorial, e às instituições de ensino e pesquisa.

Finalmente, esse é o resultado da parceria com a sociedade civil organizada, aqui representada pela cooperação técnica com o INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE – IEMA, reforçando a pró-atividade institucional da ANAC nas discussões sobre os impactos da aviação civil ao meio, e na busca das melhores práticas reguladoras concebidas em bases ambientalmente mais avançadas.

Marcelo Pacheco dos Guarany

Diretor Presidente

Listas

Lista de Tabelas

Tabela 1: Tempos e regimes de potências por fase LTO	25
Tabela 2: Tempo médio de taxi por aeródromo	26
Tabela 3: Tempos de operação padrão da APU por fase de utilização e por categoria de aeronave.	28
Tabela 4: Categoria de aeronaves usadas nas estimativas de emissões das APUs	28
Tabela 5: Propriedades dos combustíveis utilizadas nas estimativas da metodologia <i>Tier 1</i>	33
Tabela 6: Bancos de dados de fatores de emissão	33
Tabela 7: Exemplo de correlação de bases de aeronaves e motores	34
Tabela 8: Exemplo de fatores de emissão de motores - base OACI	35
Tabela 9: Exemplos de dados de emissão e consumo de combustível por distâncias de voo para a aeronave A310 (CORINAIR)	36
Tabela 10: Relação entre as fases de utilização das APUs e os regimes de potência.....	36
Tabela 11: Fatores de emissão e fluxo de combustível das APUs.....	37
Tabela 12: Propriedades do querosene de aviação utilizadas nas estimativas da metodologia <i>Tier 3A</i>	38
Tabela 13: Emissões de gases de efeito estufa por movimentações domésticas em kt.....	57
Tabela 14: Emissões de gases de efeito estufa por movimentações internacionais em kt.....	57
Tabela 15: Emissões de CO ₂ e estimadas pelas metodologias <i>Tier 1</i> e <i>Tier 3A</i> por combustível	58
Tabela 16: Percentual de voos da base de movimentações contabilizados nos cálculos de emissões.....	63
Tabela 17: Emissões dos aeródromos de maior movimentação em 2013	65
Tabela 18: Evolução das emissões nos aeroportos de Congonhas e Guarulhos.....	67
Tabela 19: Evolução das emissões nos aeroportos do Rio de Janeiro	68
Tabela 20: Fatores de conversão entre os grupos de compostos orgânicos.....	69
Tabela 21: Classificação de etapas de voos, adaptada de IPCC, 2006	70
Tabela 22: Classificação de etapas de voos, adaptada de IPCC, 2000	70
Tabela 23: Número de movimentações anuais conforme critérios IPCC 2000 e IPCC 2006	71
Tabela 24: Consumo de QAv, em kg, de acordo com os critérios IPCC 2000 e IPCC 2006	72

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Série histórica de movimentações por tipo de voo.....	23
Gráfico 2: Série histórica da participação das aeronaves nas movimentações	24
Gráfico 3: Série histórica de movimentação por tipo de companhia	24
Gráfico 4: Principais pares origem-destino em 2013, considerando ambos os sentidos	25
Gráfico 5: Comparação entre os tempos de taxi	27
Gráfico 6: Regressão logarítmica do acréscimo sobre a distância direta.....	30
Gráfico 7: Curvas de penalização sobre a distância direta	31
Gráfico 8: Evolução do consumo de querosene de aviação	32
Gráfico 9: Evolução do consumo de QAv por fase de voo	41
Gráfico 10: Distribuição do consumo de combustível de acordo com as fases de voo em 2013	42
Gráfico 11: Participação das fases do ciclo LTO e do uso das APUs no consumo de combustível abaixo de 3000 pés, em 2013.....	42
Gráfico 12: Comparação do consumo de querosene de aviação estimado com o reportado pelo BEN.....	43
Gráfico 13: Emissões de CO por tipo de movimentação	44
Gráfico 14: Emissões de CO por tipo de atividade.....	44
Gráfico 15: Emissões de CO por fase em 2013	45
Gráfico 16: Emissões de CO em aeródromos selecionados.....	45
Gráfico 17: Emissões de COV por tipo de movimentação	46
Gráfico 18: Emissões de COV por tipo de atividade	47
Gráfico 19: Emissões de COV por fase em 2013.....	47
Gráfico 20: Emissões de COV em aeródromos selecionados.....	48
Gráfico 21: Emissões de NO _x por tipo de movimentação	48
Gráfico 22: Emissões de NO _x por tipo de atividade	49
Gráfico 23: Emissões de NO _x por fase em 2013.....	49
Gráfico 24: Emissões de NO _x em aeródromos selecionados	50
Gráfico 25: Emissões de SO ₂ por tipo de movimentação.....	51
Gráfico 26: Emissões de SO ₂ por fase em 2013	51
Gráfico 27: Emissões de SO ₂ por aeródromo.....	52
Gráfico 28: Emissões de MP por tipo de movimentação.....	53

Gráfico 29: Emissões de MP por fase em 2013.....	53
Gráfico 30: Emissões de MP por aeródromo.....	54
Gráfico 31: Emissões de CO ₂ e por tipo de gás.....	55
Gráfico 32: Emissões de CO ₂ e por tipo de movimentação.....	55
Gráfico 33: Comparação entre as estimativas de emissões de CO ₂ e pelas metodologias <i>Tier 1</i> e <i>Tier 3A</i>	56
Gráfico 34: Evolução do número de decolagens por aeródromo.....	63
Gráfico 35: Variação nos voos domésticos na alteração de critérios de classificação.....	71
Gráfico 36: Variação nos voos internacionais na alteração de critérios de classificação.....	72
Gráfico 37: Variação no consumo de QAv em voos domésticos na alteração de critérios de classificação.....	73
Gráfico 38: Variação no consumo de QAv em voos internacionais na alteração de critérios de classificação.....	73

Lista de Figuras

Figura 1: Divisão das fases de voo. Fonte: EMEP/CORINAIR 2013.....	19
Figura 2: Procedimentos adotados e fontes de informação para estimar as emissões da metodologia Tier 3A.....	21
Figura 3: Porcentagem de penalização sobre distância voada e distância direta em km - fonte: EUROCONTROL, 2003.....	30
Figura 4: Grupos de compostos orgânicos.....	69

Lista de Siglas

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ANTT	Agencia Nacional de Transportes Terrestres
APU	<i>Auxiliary Power Unit</i> ou Unidade Auxiliar de Potência
ASK	<i>Available Seat Kilometers</i> ou Assentos-quilômetros ofertados
ATAN	Assessoria para Assuntos de Tarifas de Navegação Aérea
AvGas	Gasolina de aviação
BEN	Balanco Energético Nacional
BIMTRA	Banco de Informações de Movimento de Tráfego Aéreo
CAEP	<i>Committee on Aviation Environmental Protection</i>
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
CO ₂ e	Dióxido de carbono equivalente
CORINAIR	<i>Core Inventory Air Emissions</i>
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
COVNM	Compostos Orgânicos Voláteis Não Metânicos
CQNUMC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
DECEA	Departamento do Controle do Tráfego Aéreo
EASA	<i>European Aviation Safety Agency</i>
EEA	<i>European Environment Agency</i>
EMEP	<i>European Monitoring and Evaluation Programme</i>
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
FAI	<i>Fédération Aéronautique Internationale</i>
FOI	<i>Totalförsvarets forskningsinstitut-Swedish Defence Research Agency</i>
GC	<i>Great Circle</i>
GEE	Gases de Efeito Estufa
Gg	Gigagrama
GGAP	Gerência Geral de Análise e Pesquisa de Segurança Operacional

GWP	<i>Global-Warming Potential</i>
GPU	<i>Ground Power Unit</i>
HC	Hidrocarbonetos
ICCAIA	<i>International Coordinating Council of Aerospace Industries Associations</i>
IEMA	Instituto de Energia e Meio Ambiente
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
kN	Quilonewton
kt	Quilotonelada
LTO	<i>Landing and Take Off</i> ou pouso e decolagem
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MES	<i>Main Engine Start</i>
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
MP	Material particulado
Mt	Megatonelada
N ₂ O	Óxido nitroso
NMHC	Hidrocarbonetos não metânicos
NO _x	Óxidos de nitrogênio
OACI	Organização de Aviação Civil Internacional
ONU	Organização das Nações Unidas
PDE	Planos Decenais de Energia
PIB	Produto Interno Bruto
PNE	Plano Nacional de Energia
RPK	<i>Revenue passenger kilometer</i> ou passageiros-quilômetros pagos transportados
SO ₂	Dióxido de Enxofre
tC	Tonelada de Carbono Elementar
tCO ₂	Tonelada de Dióxido de Carbono
tep	Tonelada Equivalente de Petróleo
TJ	Terajoule

Sumário

Apresentação.....	III
Listas	IV
Lista de Tabelas.....	IV
Lista de Gráficos	V
Lista de Figuras	VII
Lista de Siglas.....	VII
1 Introdução	11
1.1 Panorama do transporte aéreo brasileiro.....	11
1.2 Escopo do inventário	12
1.2.1 Gases e poluentes inventariados	13
1.2.2 Abrangência espacial e temporal.....	14
1.2.3 Estrutura do Inventário.....	14
2 Metodologia	17
2.1 Método <i>Tier 1</i>	17
2.1.1 Emissões de CO ₂	17
2.1.2 Emissões de CH ₄ e N ₂ O	18
2.2 Método <i>Tier 3</i>	18
2.2.1 Cálculo de emissões no Ciclo LTO	18
2.2.2 Cálculo de emissões em Cruzeiro	19
2.2.3 Cálculo de emissões por Unidade Auxiliar de Potência (APU).....	20
2.2.4 Sistematização dos procedimentos para estimar emissões.....	21
3 Dados de atividade	23
3.1 Movimentações	23
3.2 Regimes e Tempos de Operação.....	25
3.2.1 Ciclo LTO	25
3.2.2 Unidade Auxiliar de Potência (APU)	27
3.3 Estimativa de distâncias de voos	29
3.3.1 Algoritmo de cálculo de distância direta	29
3.3.2 Estimativa da distância efetiva de voo.....	29
3.4 Consumo de combustível	31
4 Fatores de Emissão	33
4.1 Metodologia <i>Tier 1</i>	33
4.2 Metodologia <i>Tier 3A</i>	33
4.2.1 Ciclo LTO	33
4.2.2 Cruzeiro	35
4.2.3 Unidade Auxiliar de Potência (APU)	36
4.2.4 Fatores de emissão dependentes das propriedades do combustível	37
4.2.5 Estimativas das emissões de compostos orgânicos voláteis (COV).....	38

5 Resultados	41
5.1 Consumo de combustível estimado.....	41
5.2 Emissões de poluentes atmosféricos locais.....	43
5.2.1 Emissões de monóxido de carbono (CO)	44
5.2.2 Emissões de compostos orgânicos voláteis (COV)	46
5.2.3 Emissões de óxidos de nitrogênio (NO _x)	48
5.2.4 Emissões de dióxido de enxofre (SO ₂)	50
5.2.5 Emissões de material particulado (MP)	52
5.3 Emissões de gases de efeito estufa direto	54
6 Considerações finais	59
7 Referências Bibliográficas	61
Anexo 1 – Análise de Incertezas	63
Anexo 2 – Emissões nos aeródromos de maior movimentação em 2013	65
Anexo 3 - Emissões em aeroportos selecionados.....	67
Anexo 4 - Grupos de compostos orgânicos	69
Anexo 5 – Comparação entre critérios de classificação de voos: IPCC 2006 e IPCC 2000	70

1 Introdução

Em um aspecto mais geral, inventários de emissões atmosféricas são instrumentos estratégicos da gestão ambiental destinados a estimar as emissões por fontes de poluição especificadas, em uma determinada área geográfica e num intervalo de tempo definido. Sua elaboração é fundamental para a implantação ou reorientação de programas voltados para a melhoria da qualidade do ar, uma vez que permitem relacionar os agentes emissores aos tipos e quantidades de gases emitidos.

No Brasil, a formulação de inventários de emissões relacionados ao transporte de passageiros e cargas vêm, nos últimos anos, se constituindo em uma atividade cada vez mais presente na atuação dos órgãos responsáveis. Entre 2004 e 2014, foram elaborados estudos com diferentes finalidades e níveis de desagregação, por exemplo, as 1ª e 2ª Comunicações Nacionais à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (MCT 2004, 2010), os Inventários Nacionais de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA 2011, 2014), o Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas de Transporte Ferroviário de Cargas (ANTT, 2012), além de trabalhos nos níveis estadual e municipal.

No que trata do transporte aéreo, o setor esteve representado pela primeira vez no Relatório de Referência das Emissões de Gases de Efeito Estufa, parte integrante da 2ª Comunicação Nacional à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (MCT, 2010). Agora, com a publicação do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil, vê-se reforçada sua importância uma vez que possibilita:

- Consolidar, em nível Federal, a capacidade institucional para a adequada aplicação de metodologias que possibilitem estimar emissões;
- Ampliar o conhecimento acerca do perfil de emissões de poluentes locais e de gases de efeito estufa direto, das movimentações aéreas domésticas e internacionais, das diferentes fases de voo e dos principais aeródromos;
- Organizar e tornar públicas e transparentes as informações produzidas no âmbito da regulação setorial;
- Buscar melhorias ambientais e de eficiência energética na aviação civil brasileira tendo como base esse referencial;
- Dar suporte aos posicionamentos brasileiros em fóruns de âmbito internacional.

1.1 Panorama do transporte aéreo brasileiro

Com mais de oito milhões de quilômetros quadrados de área, o território brasileiro exige um meio de transporte com capacidade de cumprir grandes distâncias em tempos reduzidos. A aviação civil passa a ter, nesse cenário, um papel fundamental. Aliado à liberdade tarifária e de oferta suportada pela Lei nº 11.182 de 2005, o transporte por vias aéreas vem apresentando valores de movimentação cada vez mais expressivos nos mais de 700 aeródromos públicos espalhados pelo país.

De acordo com o Anuário Estatístico do Transporte Aéreo de 2012 publicado pela ANAC, a demanda doméstica do transporte de passageiros em território brasileiro mais do que triplicou no período de 2003 a 2012, alcançando em termos de RPK (*revenue passenger kilometer* – passageiros-quilômetros pagos transportados) um aumento de 234%. A demanda no mercado internacional para voos com origem ou destino no Brasil, por sua vez, mais do que dobrou no mesmo período, com alta de 128%¹.

¹ O mercado doméstico em 2012 teve sua demanda (RPK) absorvida principalmente por 3 grandes operadoras nacionais: 40,3% pelo grupo TAM; 33,9% pela Gol e 10,0% pela Azul. Entre as empresas brasileiras, o Grupo TAM e a Gol absorvem quase a totalidade das operações internacionais, com participação de 89,4% e 10,3% respectivamente.

O crescimento médio de 14,4% ao ano do RPK nas movimentações domésticas é equivalente a mais de 3,5 vezes o percentual médio do crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro (3,9%), e mais de 14 vezes o crescimento médio da população (1% ao ano).

Comportamento análogo ocorre com o transporte de carga paga transportada pelo modal, com um incremento de 50% (média de 4,6% ao ano) no mercado doméstico e de 76% (média de 6,5% ao ano) no mercado internacional no período.

A quantidade de passageiros pagos transportados – que foi de 37,2 milhões em 2003 – superou a importante marca de 100 milhões em 2012, tendo sido 88,7 milhões de passageiros pagos transportados em voos domésticos e 18,5 milhões em voos internacionais com origem ou destino no Brasil. O número alcançado em 2012 mostra uma proporção de 55 passageiros transportados no modal aéreo para cada 100 habitantes no Brasil, enquanto que em 2003 essa mesma proporção era de apenas 21 para 100.

O aproveitamento médio da capacidade de passageiros das aeronaves, medido em RPK/ASK, ascendeu de 60,0% em 2003 para 72,9% em 2012 para voos domésticos, e de 75,6% para 79,6% para voos internacionais. Esse contínuo crescimento no fator de carga indica uma tendência de aumento da eficiência do sistema.

Com um crescimento de 11,6% em relação a 2011, o faturamento em receitas de voo do setor foi da ordem dos 27,8 bilhões de reais em 2012. Por outro lado, o total de custos e despesas cresceu 20% no mesmo período, chegando a 31,3 bilhões de reais².

1.2 Escopo do inventário

O presente documento propõe-se a inventariar as emissões das aeronaves da aviação civil comercial e privada, tanto em voos regulares (domésticos e internacionais com origem ou destino no Brasil) quanto na aviação geral em território nacional.³

O grau de detalhamento da metodologia *bottom-up* utilizada permite a apresentação de emissões desagregadas por aeródromos, por modelo de aeronaves, por fases de voo, por tipos de voo e pelas APUs, conforme explicitado nos próximos capítulos.

O cálculo das emissões localizadas por aeródromo é indispensável no estudo dos impactos do setor em termos de poluentes locais, cujas emissões contabilizadas são oriundas das fases de voo em altitudes inferiores a 3000 pés (914.4 metros) e pelas APUs. Já quanto aos gases de efeito estufa, a classificação do tipo de voo em doméstico ou internacional se faz necessária, alinhando o presente documento com as recomendações do IPCC.

Excluem-se desse escopo as emissões originadas em equipamentos de rampa e outras atividades de solo dos aeródromos, assim como as emissões oriundas de atividades de natureza militar que, além da indisponibilidade dos dados de movimentação e dos modelos de aeronaves, também podem utilizar combustíveis com características diferenciadas.

2 Mantendo o status de principal componente dos custos e despesas de voo, o combustível das aeronaves teve participação de aproximadamente 39%, percentual maior que o de 2011, quando representava 34% dos custos e despesas.

3 As companhias aéreas estrangeiras operando voos de ou para o Brasil não podem, por força dos acordos em vigor, executar operações que caracterizem etapas domésticas, no sentido de que não haja embarques ou desembarques não-internacionais. Por exemplo, suponha-se um voo que parta de um ponto A do Brasil com destino final no exterior, e que faça uma parada intermediária no ponto B, ainda no Brasil. Uma companhia aérea estrangeira não poderá efetuar desembarques em B, de cargas ou passageiros embarcados em A. No entanto, para fins de inventário, esse tipo de voo é classificado como doméstico, conforme recomendação de IPCC (2006). A simplificação dos critérios propostos por IPCC (2006) em relação a IPCC (2000) levam em conta a otimização das operações aéreas e o avanço das tecnologias que reduziram significativamente o número de paradas técnicas intermediárias.

Critério de classificação das movimentações

De acordo com **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**, cada etapa de voo deve ser classificada em doméstica ou internacional de acordo apenas com seu par origem-destino, não importando o embarque ou desembarque de passageiros ou carga nem a origem da empresa aérea (se nacional ou estrangeira). Assim, movimentações com origem e destino dentro de um mesmo país são consideradas como voos domésticos, enquanto que movimentações com origem em um país e destino em outro são consideradas como voos internacionais.

Tal critério de classificação diferencia-se do critério proposto nos *guidelines* anteriores para formulação de inventários do próprio IPCC (2000) nos quais as movimentações com origem e destino dentro do país poderiam ser classificadas como etapas internacionais caso efetuadas por companhia aérea estrangeira.

A título de comparação, os resultados referentes a número de voos e consumo de combustível obtidos com a adoção dos critérios antigos do IPCC são apresentados no Anexo 5 – Comparação entre critérios de classificação de voos: IPCC 2006 e IPCC 2000.

As emissões resultantes das movimentações de helicópteros não são contabilizadas neste inventário devido à indisponibilidade de fatores de emissão para os motores a turbina (*turboshaft*) tipicamente utilizados nesse tipo de aeronave.

Analogamente, não há modelagem do espectro de emissões de motores a etanol, tipicamente utilizados em aeronaves de aplicações agrícolas, para que se possam inferir os fatores de emissão desse combustível. Mesmo uma abordagem *top-down* nesse caso é impossibilitada por não ser reportado pelo Balanço Energético Nacional (BEN) o consumo de etanol no transporte aéreo.

Também em similar situação se encontram as aeronaves movidas a AvGas (gasolina de aviação). Pela sua pequena importância na aviação nacional (inferior a 1% do combustível consumido) e pela indisponibilidade de fatores de emissão para esse tipo de motor, optou-se por uma abordagem *top-down* na estimativa de emissões geradas pela queima desse combustível.

1.2.1 Gases e poluentes inventariados

Neste inventário são contabilizadas as emissões dos poluentes para os quais há limites de emissão determinados pela Organização de Aviação Civil Internacional (OACI): óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos não queimados (HC)⁴. Além dessas, são contabilizadas as emissões de dióxido de enxofre (SO_2), material particulado (MP) e dos gases de efeito estufa direto: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O).

A seguir são caracterizadas as emissões típicas em aeronaves:

- **Monóxido de carbono (CO):** resulta da combustão incompleta do carbono (C) contido no combustível;

⁴ Ao longo deste inventário, faz-se referência às emissões de hidrocarbonetos (HC), porém as emissões contabilizadas são as de compostos orgânicos voláteis (COV) e metano (CH_4). A seção 4.2.5 e o Anexo 4 descrevem de forma mais detalhada as estimativas de emissões de compostos orgânicos.

- **Compostos orgânicos voláteis (COV):** a queima incompleta do combustível no motor também gera emissões de COV. A classificação desses compostos é abordada com maiores detalhes no item 4.2.5. São substâncias precursoras da formação de ozônio (O_3) no nível troposférico;
- **Óxidos de nitrogênio (NO_x):** grupo de gases altamente reativos, compostos por nitrogênio (N) e oxigênio (O) em quantidades variadas. São formados pela reação de oxigênio (O_2) e nitrogênio (N_2) presentes no ar sob condições de alta temperatura e elevada pressão. Juntamente com os compostos orgânicos voláteis (COV), são precursores da formação de ozônio (O_3) no nível troposférico;
- **Dióxido de enxofre (SO_2):** resultado da combustão do enxofre (S) presente no combustível utilizado;
- **Material particulado (MP):** são partículas de material sólido ou líquido que podem conter uma variedade de componentes químicos. São classificados de acordo com seu tamanho, sendo que, segundo o Emission Inventory Guidebook (EMEP/EEA, 2013), grande parte do MP emitido pelas aeronaves tem diâmetro menor do que $2,5\ \mu m$, sendo referido como $MP_{2,5}$;
- **Dióxido de carbono (CO_2):** produto da oxidação completa do carbono (C) presente no combustível durante sua queima. Considerado um gás de efeito estufa expressivo;
- **Metano (CH_4):** o processo de combustão pode levar também à geração de CH_4 , o mais simples dos hidrocarbonetos. É também considerado um expressivo gás de efeito estufa;
- **Óxido nitroso (N_2O):** outro produto da reação entre o oxigênio (O_2) e o nitrogênio (N_2) presentes no ar, apesar de ser um óxido de nitrogênio, não faz parte do grupo denominado NO_x , devido a sua composição química. Em conjunto com o dióxido de carbono e o metano, o óxido nitroso é mais um expressivo gás de efeito estufa.

1.2.2 Abrangência espacial e temporal

Neste inventário foram feitas estimativas de emissões anuais sob duas abordagens: uma com vistas à gestão da qualidade do ar e outra com vistas à contabilização de emissões de gases de efeito estufa:

- **Gases e partículas com impacto na qualidade do ar (poluentes locais) - CO , COV , NO_x , SO_2 e MP :** contabilizados nos pousos e decolagens nos aeródromos de todo o território nacional e para as fases de voo no território com altura inferior a 3.000 pés (914,4 metros), incluindo tanto movimentações domésticas quanto internacionais. Para essas emissões, as estimativas foram realizadas para o período 2005-2013, período para o qual estão disponíveis informações detalhadas sobre a movimentação aérea brasileira, de modo que possa ser aplicada a metodologia *Tier 3A* recomendada pelo IPCC;
- **Gases de efeito estufa direto - CO_2 , CH_4 , N_2O :** contabilizadas as emissões de todos os voos cujo aeródromo de origem se encontra em território nacional, sejam eles de movimentação doméstica ou internacional e sendo consideradas todas as fases de voo. Além das estimativas realizadas a partir da metodologia *Tier 3A* no período 2005-2013, foram estimadas também as emissões de gases de efeito estufa diretos no período 2000-2012 a partir da metodologia *Tier 1*. O inventário também permite obter as estimativas de gases de efeito estufa indireto – CO , COV e NO_x .

1.2.3 Estrutura do Inventário

Expostas as condições de escopo das estimativas e seu conteúdo introdutório, o documento está assim estruturado:

O Capítulo 2 explica as metodologias de cálculo adotadas para estimar as emissões da aviação civil, aponta as variáveis envolvidas nos cálculos e traz ainda a sistematização dos procedimentos adotados nas estimativas.

As informações necessárias para que as estimativas sejam efetuadas estão detalhadas nos Capítulos 3 e 4, e foram organizadas na seguinte sequência:

- Capítulo 3: Dados de atividade;
- Capítulo 4: Fatores de emissão.

No Capítulo 5 estão apresentados os resultados das estimativas de emissões dos gases e poluentes ao longo do escopo temporal definido e a evolução histórica do consumo de combustível.

Por fim, o Capítulo 6 traz as considerações finais, com reflexões sobre sua utilidade futura como ferramenta auxiliar para cálculos de impactos do consumo energético e emissões da aviação civil, além de direcionar futuros avanços e aperfeiçoamentos.

2 Metodologia

O IPCC, *Intergovernmental Panel on Climate Change*, por meio de diretrizes (*Guidelines*), recomenda metodologias para o desenvolvimento de inventários de emissões especificados por temas: energia, processos industriais, consumo de produtos, agricultura, florestas e outros usos do solo, resíduos e outros.

Tais protocolos definem *Tiers*, que são níveis de detalhamento do mapeamento de emissões: quanto maior o *Tier*, mais detalhada a metodologia e maior precisão de resultados. Consequentemente, maiores também serão a complexidade dos cálculos e a quantidade e detalhamento das informações de entrada.

Em seu último protocolo, *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, são definidos 3 *Tiers* para a aviação civil, de acordo com o detalhamento dos dados de entrada. Os níveis de detalhamento utilizados neste inventário são explicitados a seguir.

2.1 Método Tier 1

O método *Tier 1*, sob uma abordagem *top-down*, baseia-se apenas no consumo de combustível agregado da aviação civil, sem discriminação das emissões por fases de voo. Dessa forma, este método é utilizado nos casos onde não há informações disponíveis sobre as operações aeroviárias em si, mas apenas dados consolidados de consumo de combustível.

No presente Inventário, foram realizadas estimativas conforme o método *Tier 1* no que diz respeito às emissões de gases de efeito estufa (GEE) diretos: CO₂, CH₄ e N₂O, entre os anos de 2000 e 2012.

2.1.1 Emissões de CO₂

As emissões de CO₂ no método *Tier 1* foram calculadas a partir da seguinte equação⁵:

$$E_{CO_2} = Cons \times \rho_{energia} \times Fe_C \times \%Oxi \times \frac{44}{12} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

E_{CO_2} Emissão anual de CO₂ (tCO₂/ano)

$Cons$ Consumo doméstico ou internacional de combustível (m³/ano)

$\rho_{energia}$ Densidade energética do combustível (tep/m³)

Fe_C Fator de emissão de carbono elementar por unidade de energia contida no combustível (tC/ TJ)⁵

$\%Oxi$ Fração do carbono elementar oxidado na combustão

$\frac{44}{12}$ Razão entre as massas molares do CO₂ e do carbono elementar (gCO₂/gC)

⁵ Uma vez que a densidade energética é dada em tep/m³ e o fator de emissão em tC/TJ é preciso utilizar a equivalência 1 TJ = 0,041868 tep para adequar as unidades utilizadas.

2.1.2 Emissões de CH₄ e N₂O

As emissões dos outros gases de efeito estufa foram estimadas a partir de fatores de emissão por unidade de energia contida no combustível, tanto para o metano quanto para o óxido nitroso, a equação utilizada foi:

$$E_i = \text{Cons} \times \rho_{\text{energia}} \times Fe_i \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

E_i	Emissão anual do gás i (t gás/ano)
Cons	Consumo doméstico ou internacional de combustível (m ³ /ano)
ρ_{energia}	Densidade energética do combustível (tep/m ³)
Fe_i	Fator de emissão do gás i por unidade de energia contida no combustível (t gás/TJ)

2.2 Método Tier 3

O método *Tier 3* se baseia em informações mais detalhadas de cada voo, como os aeródromos de origem e destino e o modelo da aeronave. As emissões são calculadas separadamente para cada uma das fases de voo, como apresentado a seguir.

2.2.1 Cálculo de emissões no Ciclo LTO

O Ciclo LTO (*Landing and Take off*) contempla todas as etapas de voo próximas ao aeródromo realizadas pelas aeronaves em altitudes inferiores a 914,4 metros (ou 3000 pés). Como demonstrado na Figura 1, o ciclo LTO é composto por 6 fases:

1. Partida
 - a. Taxi de partida (*Taxi out*)
 - b. Decolagem (*Take off*)
 - c. Início da subida para cruzeiro (*Climb out*)
2. Chegada
 - a. Aproximação final (*Final approach*)
 - b. Toque e corrida de desaceleração (*Landing*)
 - c. Taxi de chegada (*Taxi in*).

As emissões por fase LTO são calculadas a partir do combustível consumido em cada uma delas. Por sua vez, o consumo de combustível em cada fase é função do modelo e do número de motores da aeronave. O fluxo de combustível, função do regime de potência dos motores nas fases, também é um dado de entrada. Por fim entra no cálculo o tempo de duração de cada fase, resultando nas equações 3 e 4 abaixo:

$$C_{a,f,p} = nM_a \times Fc_{a,f} \times t_{a,f,p} \quad (\text{Equação 3})$$

$$E_{g,a,f,p} = Fe_{g,a,f} \times C_{a,f,p} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

- C é o consumo de combustível da aeronave a , expresso em kg, para cada fase f no aeródromo p ;
- nM é o número de motores da aeronave a ;
- F_c é o fluxo de combustível, em kg/s, de cada motor da aeronave a na fase f ;
- t é o tempo, em segundos, que a aeronave a permanece na fase f no aeródromo p ;
- E é a emissão, expressa em kg, do gás g pela aeronave a na fase f no aeródromo p ;
- F_e é o fator de emissão do gás g , em $\text{kg}_{\text{gás}}/\text{kg}_{\text{combustível}}$, da aeronave a na fase f .

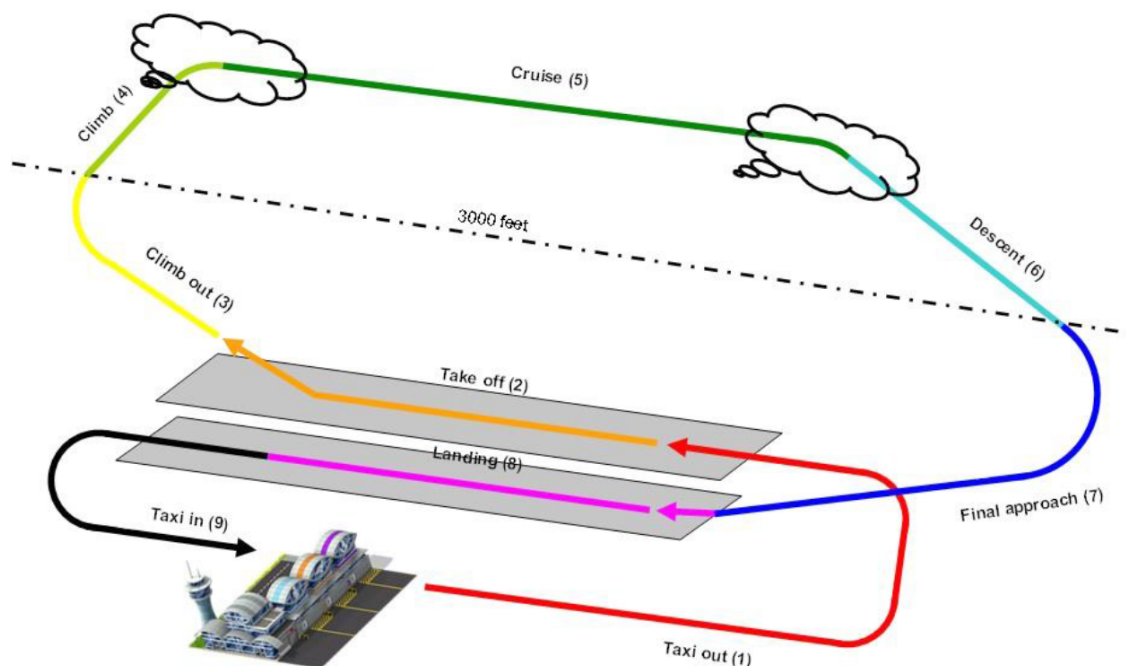


Figura 1: Divisão das fases de voo. Fonte: EMEP/CORINAIR 2013

2.2.2 Cálculo de emissões em Cruzeiro

A fase *Cruise* ou Cruzeiro é definida como a etapa de voo realizada pelas aeronaves em altitudes superiores aos 914,4 metros.

Dependendo do grau de informação da fase de cruzeiro aplica-se o *Tier 3A* ou *Tier 3B*. O último necessita de informações contínuas de toda a trajetória do voo e de programas avançados de modelagem enquanto o primeiro depende apenas das informações do modelo da aeronave e dos aeródromos de origem e destino.

O presente Inventário se baseia na metodologia *Tier 3A*, descrita com maiores detalhes no guia da EMEP/EEA de 2013 (EMEP/CORINAIR, 2013). Esse guia apresenta, para cada família de aeronaves, uma tabela com o consumo de combustível e as emissões totais em voo de acordo com a distância entre os aeródromos. Os resultados tabelados levam em consideração o perfil dos voos, como a altitude de cruzeiro que varia de acordo com a distância de voo e interfere nos tempos de cada fase (*Climb*, *Cruise* e *Descent*). Munido da distância do voo, a massa de combustível consumido ou de gases emitidos é calculada por interpolação linear na tabela de acordo com a equação 5.

$$M_{a,d,g} = Y_{1,a,g} + (Y_{2,a,g} - Y_{1,a,g}) \times \frac{(d - X_1)}{(X_2 - X_1)} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

- d é a distância de voo em km calculada entre os aeródromos de origem e destino;
- M é a massa expressa em kg do combustível consumido ou do gás emitido g no voo de distância d percorrida pela aeronave a ;
- X_1 é a distância tabelada imediatamente inferior à distância d ;
- X_2 é a distância tabelada imediatamente superior à distância d ;
- Y_1 é a massa de combustível consumida ou do gás g emitida tabelada para a aeronave a para a distância X_1 ;
- Y_2 é a massa de combustível consumida ou do gás g emitida tabelada para a aeronave a para a distância X_2 .

2.2.3 Cálculo de emissões por Unidade Auxiliar de Potência (APU)

De forma geral, aeronaves destinadas ao transporte regular possuem um equipamento formado por uma turbina a gás conectada a um gerador elétrico, destinado a suprir energia elétrica e pneumática durante as operações em solo, denominado APU (*Auxiliary Power Unit* - unidade auxiliar de potência).

A APU é, em geral, instalada no cone da cauda das aeronaves, após a caverna de pressão. A fonte de energia dessas unidades é o combustível armazenado nos tanques principais, dessa forma, as emissões aqui estimadas também são provenientes da combustão do querosene de aviação em uma turbina a gás. Logo, os poluentes resultantes da utilização da APU são os mesmos gerados na queima de combustível nos motores.

Diferentemente dos motores, as APUs não são certificadas e, uma vez que seus fabricantes consideram os dados de emissão como sua propriedade, esses não são divulgados amplamente.

A metodologia de cálculo apresentada no ***Handbook for Evaluating Emissions and Costs of APUs and Alternative Systems (ACRP, 2012)*** foi utilizada como base para a elaboração das estimativas apresentadas de consumo de combustível e de emissões das APUs.

De forma similar às estimativas para as emissões das fases do ciclo LTO, o consumo de combustível é estimado a partir do tempo de uso da APU e do fluxo de combustível. Calculado esse consumo, são estimadas as emissões a partir de fatores de emissão específicos para cada gás ou poluente.

As equações 6 e 7 representam a maneira como essas estimativas são feitas:

$$C_{a,f} = Fc_{a,f} \times t_{a,f} \quad \text{(Equação 6)}$$

$$E_{g,a,f} = Fe_{g,a,f} \times C_{a,f} \quad \text{(Equação 7)}$$

Onde:

- C é o consumo de combustível da APU na aeronave a , na fase de uso f ;
- Fc é o fluxo de combustível, em kg/s, de cada APU na aeronave a , na fase de uso f ;
- t é o tempo, em segundos, que a unidade APU é usada na aeronave a , na fase de uso f ;
- E é a emissão, expressa em kg, do gás g pela aeronave a na fase de uso f ;
- Fe é o fator de emissão do gás g , em $\text{kg}_{\text{gás}}/\text{kg}_{\text{combustível}}$, da aeronave a na fase de uso f .

2.2.4 Sistematização dos procedimentos para estimar emissões

A Figura 2 ilustra a sequência lógica de procedimentos utilizados nas estimativas das emissões conforme o método *Tier 3A*. Além disso, cada dado de entrada para a realização das estimativas está acompanhado de sua fonte de informação.

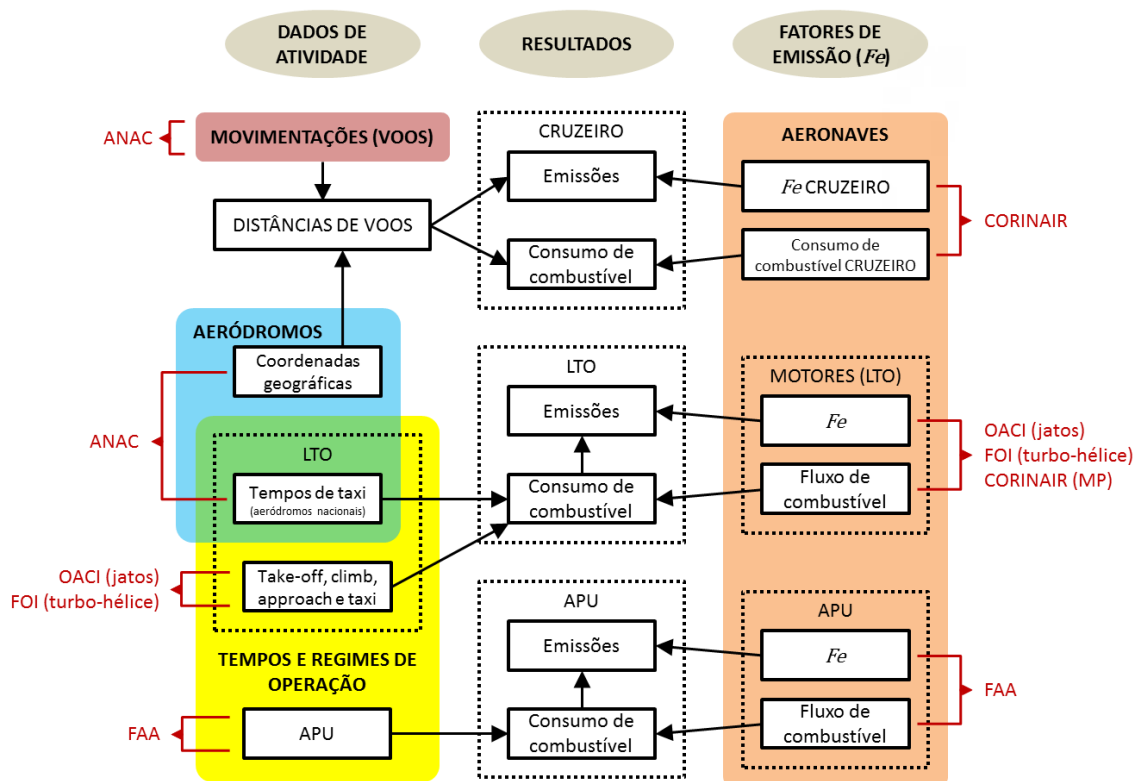


Figura 2: Procedimentos adotados e fontes de informação para estimar as emissões da metodologia Tier 3A

3 Dados de atividade

3.1 Movimentações

Os dados de movimentação das aeronaves foram fornecidos pela ANAC por meio de um extrato do Banco de Informações de Movimento de Tráfego Aéreo (BIMTRA), que vem a ser um banco de dados de movimento de tráfego aéreo que se encontra sob a responsabilidade da Assessoria para Assuntos de Tarifas de Navegação Aérea (ATAN), do Departamento do Controle do Tráfego Aéreo (DECEA). Esse extrato possibilitou a confecção de uma base de dados contendo o número de voos anuais segundo:

- O ano em que as movimentações ocorreram (2005-2013);
- Código OACI da aeronave;
- Código OACI dos aeródromos de origem e destino;
- Classificação do voo (doméstico ou internacional);
- Companhia aérea operadora do voo;
- Origem da companhia aérea (nacional ou estrangeira).

O BIMTRA compila informações desde 2005, o que permite uma visualização da evolução do número de movimentos em aeródromos nacionais, como apresentado no Gráfico 1 a seguir:

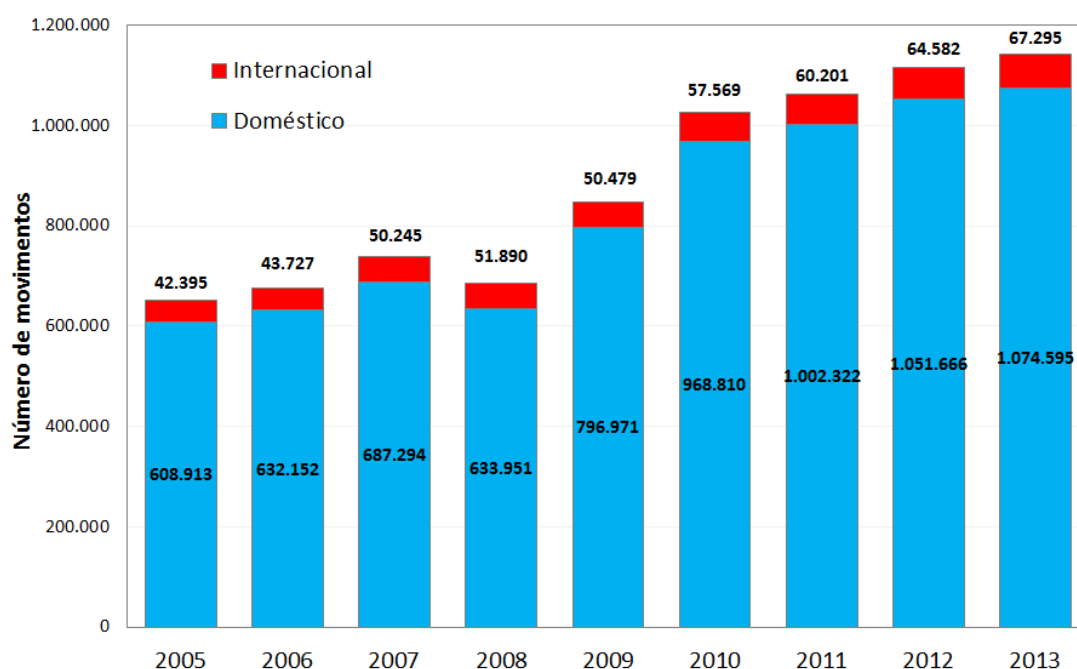


Gráfico 1: Série histórica de movimentações por tipo de voo

Nota-se no gráfico o crescimento no número de movimentos, ano após ano, com exceção do ano de 2008, cujo universo de movimentações não se apresenta em sua completude conforme detalhado no Anexo 1 – Análise de Incertezas, havendo uma subrepresentação das movimentações principalmente no caso do Aeroporto de Congonhas em São Paulo. Essa particularidade no ano de 2008 será lembrada em outras seções deste inventário para evitar interpretações equivocadas nos resultados apresentados.

Os dados permitem analisar a evolução da participação das aeronaves na frota. A partir do ranking das 10 aeronaves com mais movimentos no período de 2005 a 2013, foi criada a série histórica do Gráfico 2 a seguir:

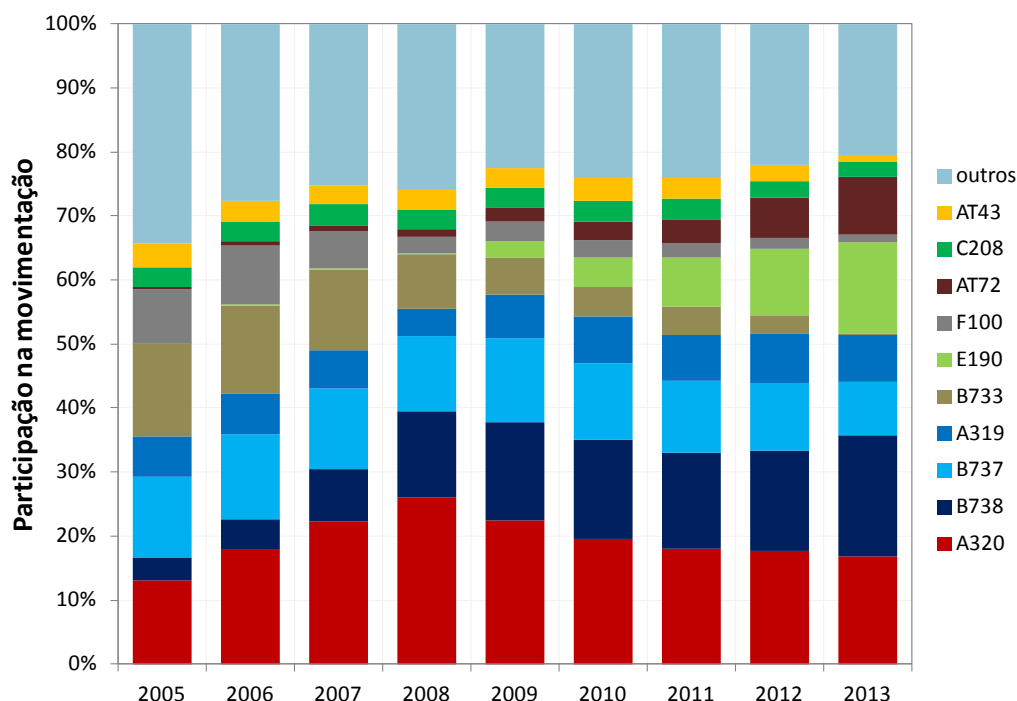


Gráfico 2: Série histórica da participação das aeronaves nas movimentações

Podem-se observar alguns casos de substituição de aeronaves, indicando uma renovação de frota por parte das companhias. Essas substituições refletem em alterações na emissão de determinados gases, uma vez que os fatores de emissão são dependentes do modelo da aeronave.

É possível também uma análise das movimentações por companhias aéreas conforme demonstrado no Gráfico 3, elaborado a partir do ranking das 6 empresas com maior movimentação em 2013:

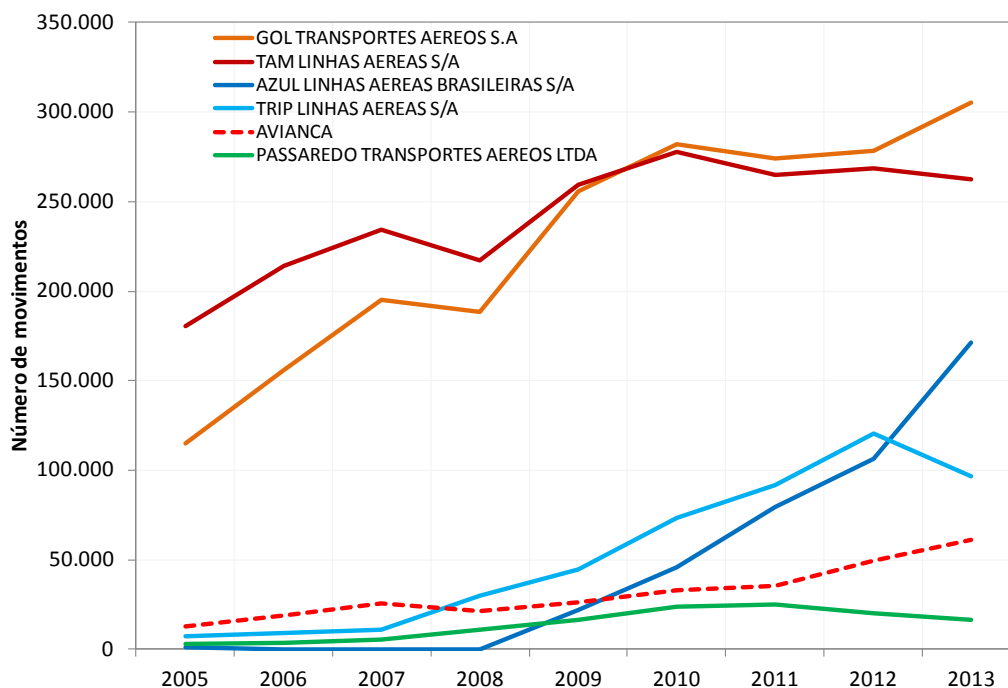


Gráfico 3: Série histórica de movimentação por tipo de companhia

Notam-se sensíveis quedas nas movimentações da GOL e da TAM no ano de 2008 que devem ser desconsideradas, uma vez que são resultado da falha na base de dados já referida.

O Gráfico 4 a seguir apresenta os principais pares origem-destino no país em 2013:

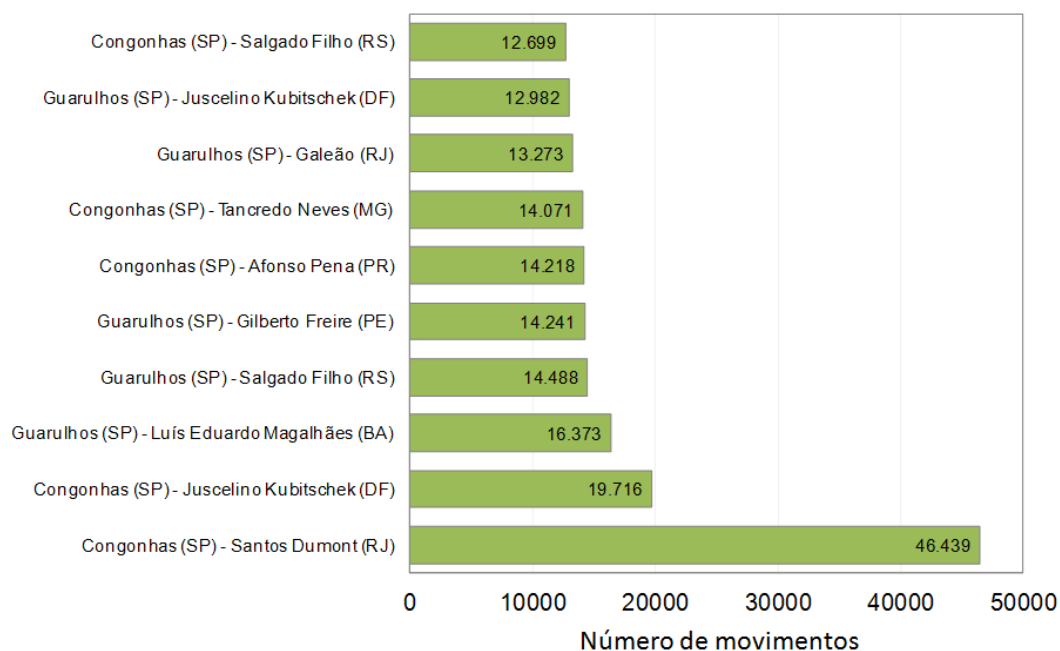


Gráfico 4: Principais pares origem-destino em 2013, considerando ambos os sentidos

Seguida pela ligação São Paulo-Brasília, Guarulhos-Salvador e Guarulhos-Porto Alegre, a ponte aérea Rio-São Paulo entre os aeroportos de Congonhas (SBSP) e Santos Dumont (SBRJ) despontam com enorme vantagem sobre os demais pares em número de movimentações.

3.2 Regimes e Tempos de Operação

3.2.1 Ciclo LTO

A OACI e a FOI – *Swedish Defence Research Agency* – sugerem tempos médios para cada etapa do ciclo LTO para aeronaves a jato e a turbo-hélice, respectivamente. Como parte das campanhas de certificação de motores, os valores do fluxo de combustível (kg/s) e emissões (em g/kg_{combustível}) são medidos nos regimes de potência 7%, 30%, 85% e 100%, de acordo com a operação. Cada valor é considerado característico de uma das fases do LTO.

A Tabela 1 a seguir resume as informações para cada fase:

Tabela 1: Tempos e regimes de potências por fase LTO

Fase	Jato			Turbo-hélice		
	Tempo (min)	Regime de Potência	Fonte	Tempo (min)	Regime de Potência	Fonte
<i>Approach</i>	4,0	30%	OACI	4,5	30%	FOI
<i>Taxi in</i>	7,0	7%	OACI	7,0	7%	OACI
<i>Taxi out</i>	19,0	7%	OACI	19,0	7%	OACI
<i>Take off</i>	0,7	100%	OACI	0,5	100%	FOI
<i>Climb</i>	2,2	85%	OACI	2,5	85%	FOI

Os tempos de *Taxi* dependem das características dos aeroportos. Assim, nos principais aeródromos nacionais foram utilizados os tempos de taxi informados pelos operadores de aviação regular. Essas informações são oriundas do Sistema Eletrônico de Registro de Voo, desenvolvido pela GGAP – Gerência Geral de Análise e Pesquisa de Segurança Operacional – que registra os dados informados pelos operadores de aviação regular sobre os tempos de taxi em cada aeródromo. Esses dados têm a vantagem de serem auditáveis, já que são oriundos de informação constante nos Diários de Bordo das aeronaves. Com base nessa fonte, calculou-se a média dos tempos de *Taxi in* e *Taxi out*, no período de 01 de Agosto a 22 de novembro de 2012 nos principais aeródromos brasileiros. Esses tempos foram considerados como representativos do tempo real de operação em cada aeródromo e foram aplicados nos cálculos de emissões. A Tabela 2 a seguir mostra os valores utilizados:

Tabela 2: Tempo médio de taxi por aeródromo

Aeródromo (Código OACI)	<i>Taxi in</i> (min)	<i>Taxi out</i> (min)
SBGR	7,8	13,2
SBSP	4,4	12,7
SBBR	7,7	15,0
SBGL	7,5	14,9
SBMT*	1,0	3,0
SBRJ	4,4	11,1
SBSV	6,4	10,1
SBCF	4,5	12,4
SBKP	4,9	14,2
SBPA	5,1	10,6
SBCT	4,2	10,8
SBRF	3,6	10,8
SBJR*	1,0	1,0
SBME	3,1	5,8
SBGO	4,5	8,6
SBBH	3,1	7,4
SBFZ	6,2	9,0
SBVT	4,0	9,9
SBCY	3,3	9,2
SBEG	4,9	10,1
SBBE	4,8	8,7
SBFL	4,8	9,8
SBCG	4,2	10,0

*Os valores dos tempos de taxi para SBMT – Campo de Marte (São Paulo, SP) e SBJR – Aeroporto de Jacarepaguá (Rio de Janeiro, RJ), apresentados em destaque na tabela anterior, são valores calculados a partir da distância de *taxi in* e *taxi out* entre a pista e o *gate* mais distante, considerando-se o sentido de operações da pista predominante e uma velocidade de 15 nós. Esses aeródromos, apesar de apresentarem expressivo movimento, não possuem operação de aviação regular, com uma porcentagem significativa de seus movimentos referente à operação de helicópteros.

Para os aeródromos nacionais que não constam da Tabela 2, geralmente de pequeno porte, foi considerado um tempo médio de *taxi in* de 5 minutos e de 3 minutos para *taxi out*.

Os tempos de *Take off*, *Climb* e *Approach* seguem a Tabela 1 de acordo com o tipo de aeronave, assim como os tempos de *Taxi* nela presentes para os aeródromos no exterior. No Gráfico 5, é apresentada uma comparação entre as médias internacionais de tempos de *taxi* adotadas pela OACI e os valores levantados para os aeródromos nacionais de maior movimentação.

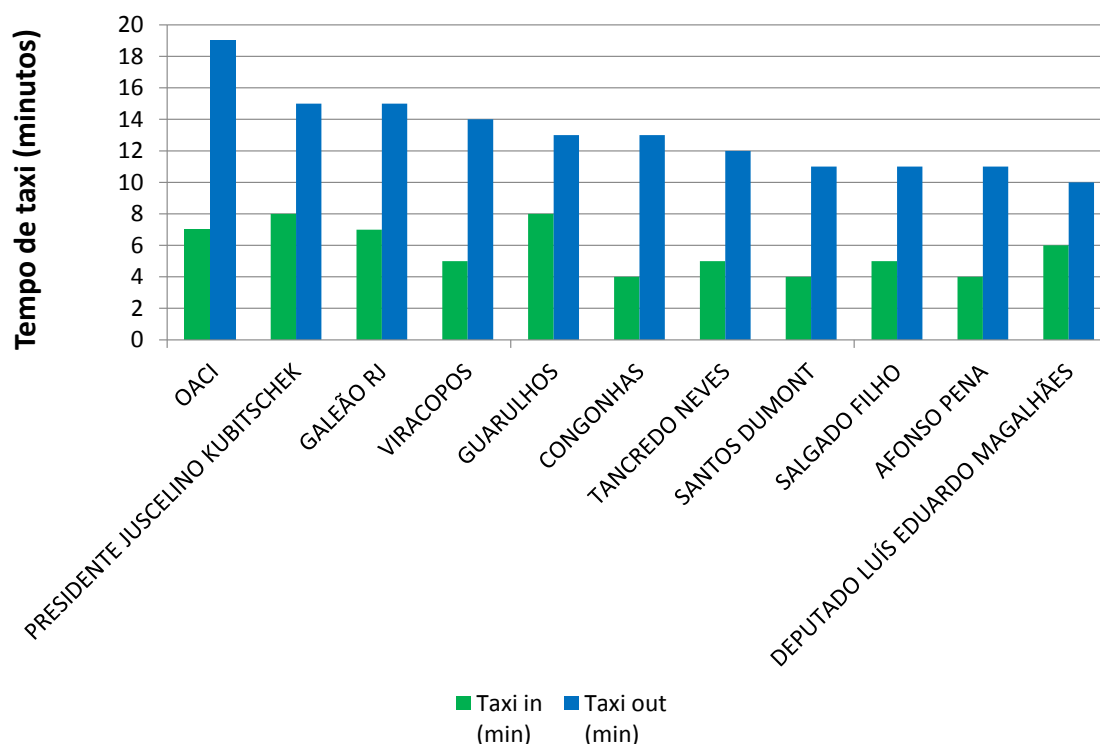


Gráfico 5: Comparação entre os tempos de taxi

3.2.2 Unidade Auxiliar de Potência (APU)

O uso da unidade auxiliar de potência (APU) é dividido em quatro fases distintas, sugeridas pela OACI (OACI, 2011). Essas fases correspondem ao uso da unidade a cada ciclo LTO realizado pela aeronave. Os quatro modos de operação (fases) são descritos a seguir:

- *Partida da APU*: condição de uso sem carga;
- *Gate-out*: funcionamento normal da APU para embarque de passageiros;
- *Main Engine Start (MES)*: funcionamento com carga alta para a partida dos motores principais, condição que exige a máxima potência da unidade;
- *Gate-in*: funcionamento normal da APU para desembarque de passageiros.

O tempo efetivo que cada aeronave passa no *gate* varia de forma considerável conforme o tipo de aeronave, o aeródromo e a necessidade de combustível requerido para a próxima movimentação. O **Handbook for Evaluating Emissions and Costs of APUs and Alternative Systems (ACRP, 2012)** apresenta valores padrão para os tempos de cada fase, conforme o tipo da aeronave.

As aeronaves são classificadas em cinco categorias: *narrow body* (aeronave de fuselagem estreita), *wide body* (aeronave de fuselagem larga), *jumbo-wide body* (aeronaves do tipo jumbo, de fuselagem larga), *regional jet* (jatos regionais) e *turbo-prop* (turbo-hélices).

De acordo com a ANAC, o tempo total médio de uso é aproximadamente igual a 75 minutos, apresentando diferença significativa em relação ao tempo total padrão apresentado pela OACI (entre 22 e 26 minutos). No presente inventário, assumiu-se que os tempos padrão para as fases *partida*, *gate-out* e *MES* são representativos das condições dos aeródromos brasileiros, sendo os tempos de *gate-in* ajustados de modo a refletir esses tempos e o tempo total estimado pela ANAC. A Tabela 3 a seguir apresenta os tempos utilizados nas estimativas deste inventário:

Tabela 3: Tempos de operação padrão da APU por fase de utilização e por categoria de aeronave

Categoria da aeronave	Partida da APU (min)	Gate-out (min)	MES - partida dos motores (min)	Gate-in (min)	Tempo total de uso (min)
Fuselagem estreita	3,00	3,60	0,58	67,82	75,00
Fuselagem larga	3,00	3,60	0,58	67,82	75,00
Fuselagem larga (jumbo)	3,00	5,30	2,33	64,37	75,00
Jato regional	3,00	3,60	0,58	67,82	75,00
Turbo-hélices	3,00	3,60	0,58	67,82	75,00

Alguns exemplos de aeronaves e suas classificações conforme as cinco categorias usadas no cálculo das emissões de APUs são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Categoria de aeronaves usadas nas estimativas de emissões das APUs

Categoria da aeronave	Exemplos de aeronaves
Fuselagem estreita	Boeing 737-700 Series, Boeing MD-80 Series, Airbus A320 Series, Boeing 757-200 Series, Airbus A319-100 Series, Boeing 737-800 Series, Boeing 737-300 Series, Boeing 717- 200 Series, Embraer ERJ170, Embraer ERJ175.
Fuselagem larga	Boeing 767-300 Series, Boeing 777-200 Series, Airbus A300B/C/F-600 Series, Boeing 767-200 Series, Boeing 767-400, Airbus A310- 200 Series, Boeing 777-300 Series, Airbus A300B/C/F Series, Airbus A310-300 Series, Boeing 787-300 Series.
Fuselagem larga (jumbo)	Boeing 747-400 Series, Airbus A330-200 Series, Airbus A340-200 Series, Boeing 747- 200/300 Series, Airbus A330-300 Series, Airbus A340-600 Series, Airbus A340-300 Series, Airbus A340-500 Series, Boeing 747- 100 Series, Airbus A380 Series.
Jato regional	Bombardier CRJ-200/400, Embraer ERJ145, Bombardier CRJ-700, Bombardier CRJ-900, Embraer ERJ140, Bombardier CRJ-100, Embraer ERJ135, Dornier 328 Jet, BAE 146-100, BAE 146-200.
Turbo-hélices	DeHavilland DHC-8-400, DeHavilland DHC-8- 100, Embraer EMB120 Brasília, DeHavilland DHC-8-300, DeHavilland DHC-8-200, Shorts 360-100 Series, DeHavilland DHC-7 Dash 7, Embraer EMB110 Bandeirante, Fokker F27- 100 Series, Fokker F27-200 Series.

3.3 Estimativa de distâncias de voos

3.3.1 Algoritmo de cálculo de distância direta

As emissões em cruzeiro são calculadas com base nos aeródromos de origem e destino de cada voo. Estas informações são usadas para calcular a distância direta, que é a menor distância entre dois pontos medida ao longo da superfície de uma esfera.

Essa distância foi calculada a partir das coordenadas geográficas dos aeródromos de origem e destino (convertidas para radianos) e a partir do raio médio da Terra⁶ (6.371 km). A equação 8 apresenta a expressão utilizada no cálculo.

$$d_{GC} = 2 \operatorname{asin} \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\Delta\phi}{2} \right) + \cos \phi_1 \cos \phi_2 \sin^2 \left(\frac{\Delta\lambda}{2} \right)} \right) R_T$$

(Equação 8)

Onde:

- d_{GC} : distância direta estimada;
- $\Delta\phi$: diferença entre as latitudes dos aeródromos de origem e destino;
- ϕ_1 : latitude do aeródromo de origem;
- ϕ_2 : latitude do aeródromo de destino;
- $\Delta\lambda$: diferença entre as longitudes dos aeródromos de origem e destino;
- R_T : raio médio da Terra

3.3.2 Estimativa da distância efetiva de voo

O cálculo da equação anterior resulta na distância direta entre dois aeródromos em uma aproximação da superfície terrestre por uma esfera. Entretanto, é sabido que em um voo real uma aeronave não realiza a rota de menor distância entre dois aeroportos, fato causado por fatores como posição de fixos de navegação, órbitas de espera em aeroportos congestionados e ocorrências meteorológicas. Este impacto é maior em voos mais curtos, onde os efeitos da navegação aérea são mais pronunciados em relação à distância total do voo.

O IPCC (1999, item 8.2.2.3) estima um fator de “penalização” de 9-10% sobre a distância direta calculada; já o *Carbon Calculator*, da OACI, ferramenta disponibilizada pela organização para a estimativa das emissões de CO₂ por voo, atribui uma penalização em etapas. Para voos até 550 km de distância uma penalização de 50 km seria adequada. De 550 km a 5.500 km é sugerida uma penalização de 100 km e a partir de 5.500 km a penalização seria de 125 km.

Já o documento “*ATM flight efficiency and its impact on the environment*”, publicado pela EUROCONTROL em 2003, apresenta valores mais atuais. No documento é apresentado o levantamento da relação média entre as distâncias reais e as distâncias diretas das rotas, conforme a Figura 3, calculada pela seguinte equação:

⁶ O raio médio da Terra foi definido como 6.371 km de acordo com o padrão adotado pela FAI (Fédération Aéronautique Internationale).

$$\% \text{ DistanceDifference} = \frac{\text{Actual Distance flown} - \text{Direct Distance}}{\text{Direct Distance}} \quad (\text{Equação 9})$$

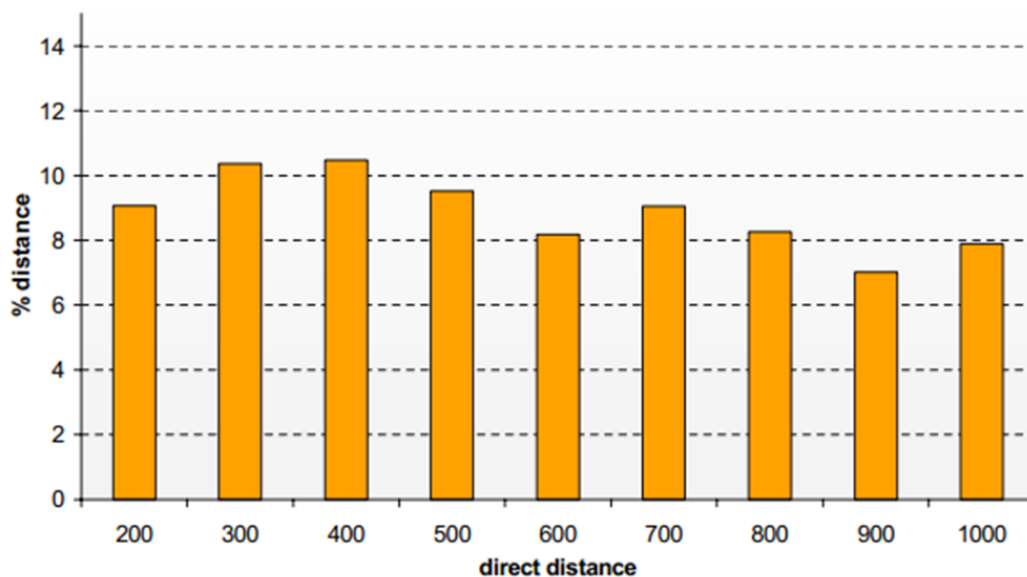


Figura 3: Porcentagem de penalização sobre distância voada e distância direta em km - fonte: EUROCONTROL, 2003

Colocando esses valores em um gráfico de valores absolutos, foi possível encontrar uma boa correlação por meio de regressão logarítmica, como apresentado no Gráfico 6 abaixo:

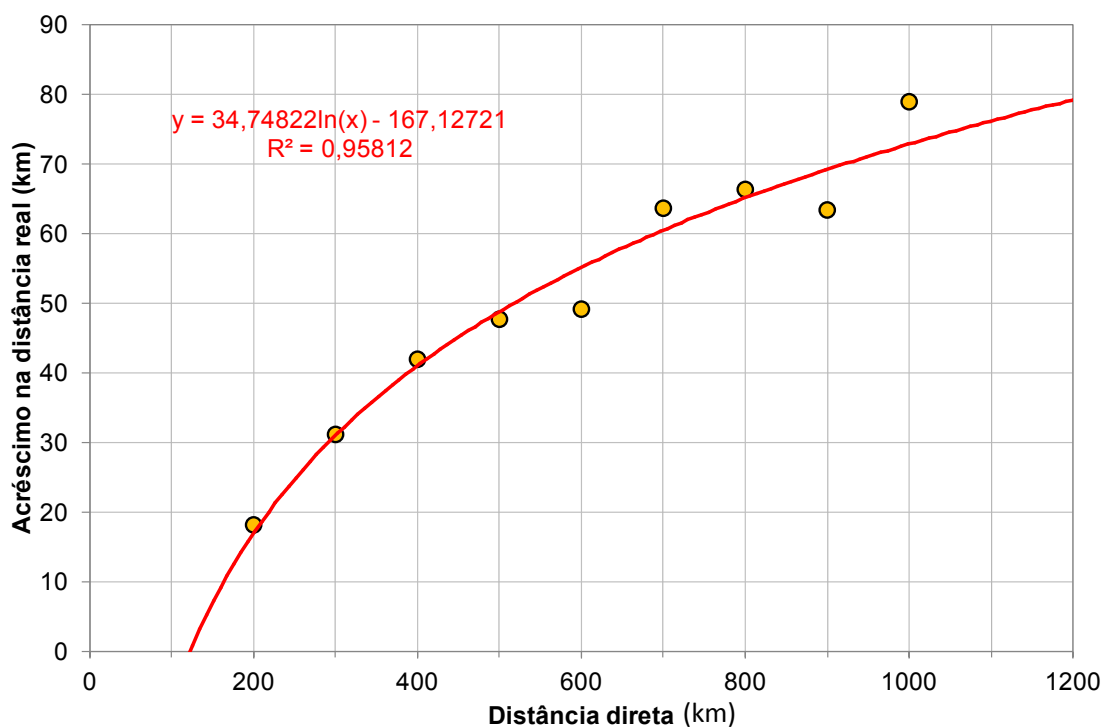


Gráfico 6: Regressão logarítmica do acréscimo sobre a distância direta

Com base nessa correlação, foi calculado um fator de penalização de distancia em função do comprimento de cada voo. Evitando valores negativos, a penalização para voos cuja distância direta calculada foi inferior a 450 km foi definida como 10%. A partir dessa distância a penalização segue então a logarítmica anteriormente apresentada, como explícito no Gráfico 7.

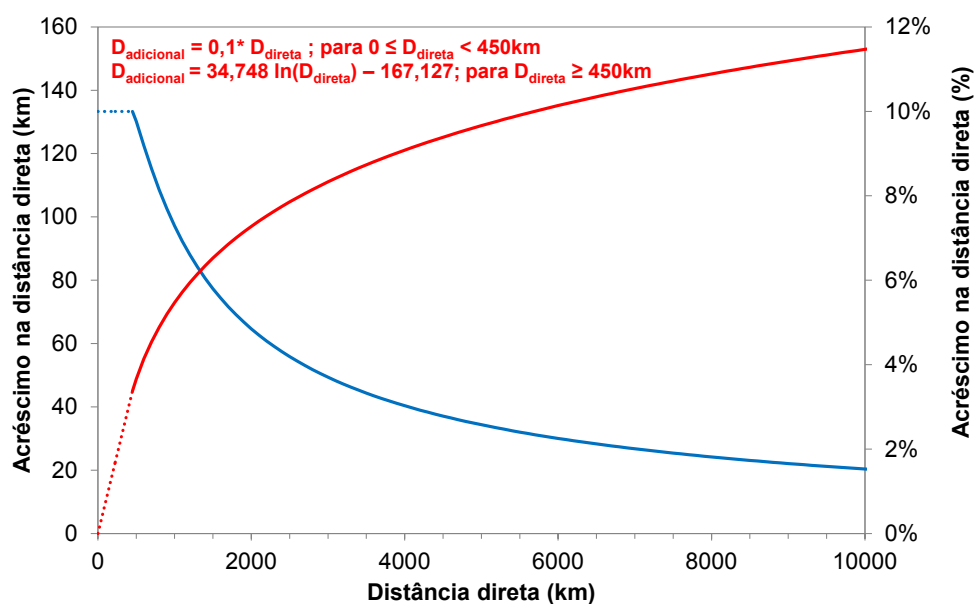


Gráfico 7: Curvas de penalização sobre a distância direta

A distância assim estimada é então utilizada para o cálculo das emissões e consumo em cruzeiro para todos os registros de movimento.

3.4 Consumo de combustível

Os dados de consumo de combustível foram obtidos do **Balanço Energético Nacional 2013, Ano Base 2012 (MME, 2013)** tanto para o querosene quanto para a gasolina de aviação. A partir desses dados foi possível realizar a desagregação entre o consumo de combustível em movimentações nacionais e internacionais e, dessa forma, desagregar as emissões estimadas pela metodologia *Tier 1* da mesma maneira.

O consumo de combustível em movimentações domésticas é proveniente da categoria “Consumo Final Energético” do transporte aéreo reportado pelo BEN. Já o consumo em movimentações internacionais foi obtido da matriz 49x47 disponível na página do Ministério de Minas e Energia - Balanço Energético Nacional (http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html), nos valores indicados como “Bunker incluído na exportação”, uma vez que o fluxo “Exportação” reportado no Relatório Final do BEN corresponde às somas do consumo de combustível em movimentações internacionais e do volume de querosene e gasolina de aviação exportados para consumo em outros países.

Outra fonte de informação de dados de consumo de combustível são os dados estatísticos mensais, publicados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2013). Esse documento apresenta a evolução da venda, pelas distribuidoras, dos combustíveis utilizados na aviação ao longo de cada ano a partir de 2005. No entanto, os dados de vendas de querosene de aviação da ANP não são desagregados com referência às movimentações domésticas e internacionais. O Gráfico 8 apresenta a comparação entre a evolução do consumo de querosene informado por cada um dos documentos. Nota-se que há coerência nos valores comparados, com pequenas diferenças, não significativas.

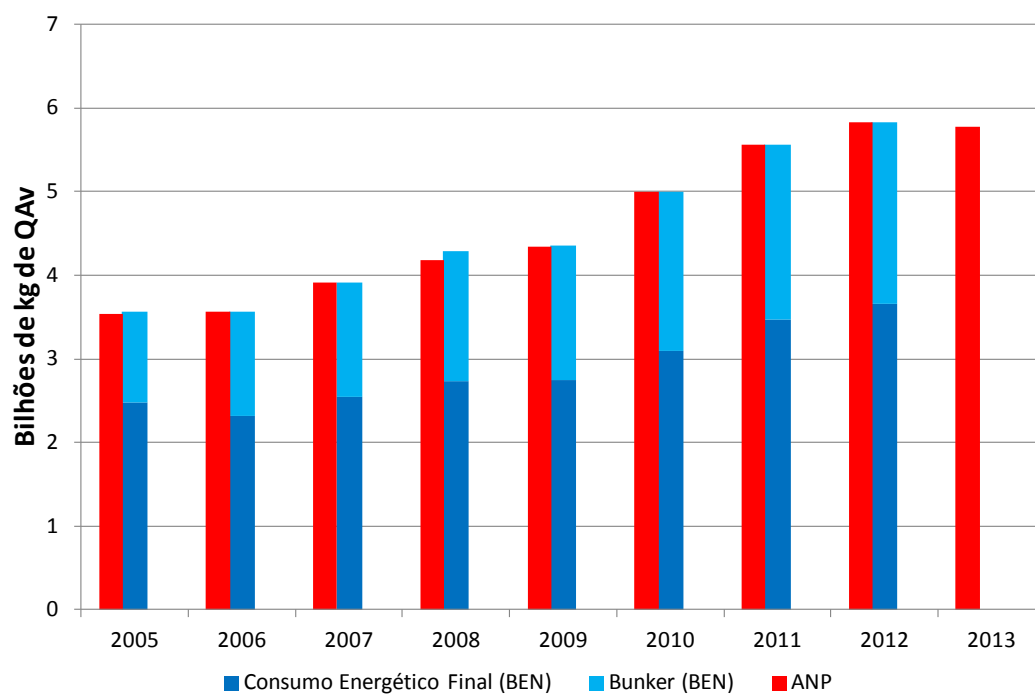


Gráfico 8: Evolução do consumo de querosene de aviação

4 Fatores de Emissão

4.1 Metodologia Tier 1

Como descrito na seção 2.1, as emissões de gases de efeito estufa foram estimadas tanto pela metodologia Tier 1 quanto pela metodologia Tier 3A. Com relação à metodologia Tier 1, dos dados necessários para a aplicação das equações 1 e 2, a densidade energética (ρ_{energia}) foi obtida do Balanço Energético Nacional 2013, Ano Base 2012 (MME, 2013). O fator de emissão (Fe_c), a fração de carbono oxidado (%Oxi), e os fatores de emissão necessários para as estimativas das emissões de óxido nitroso (N_2O) e metano (CH_4) foram obtidos no documento 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, tanto para gasolina quanto para o querosene de aviação.

Cabe destacar que durante a fase cruzeiro de voo não há emissões de metano e que para as fases do ciclo LTO o fator de emissão é $5 \text{ kgCH}_4/\text{TJ}$. Porém, conforme assumido pelo IPCC no documento supracitado, o querosene consumido em LTO corresponde a aproximadamente 10% do consumo total, o que faz com que nas estimativas Tier 1 o fator utilizado seja $0,5 \text{ kgCH}_4/\text{TJQAv}$.

Os valores utilizados na aplicação das equações estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Propriedades dos combustíveis utilizadas nas estimativas da metodologia Tier 1

Combustível	Fator de emissão (tC/TJ)	Densidade energética (tep/m ³)	Fração de Carbono Oxidado	Fator de Emissão (kgCH ₄ /TJ)	Fator de Emissão (kgN ₂ O/TJ)
Gasolina de Aviação	19,1	0,763	100%	0,5	2
Querosene de Aviação	19,5	0,822	100%	0,5	2

4.2 Metodologia Tier 3A

4.2.1 Ciclo LTO

Os fatores de emissão são extraídos de três conjuntos de dados, quais sejam aqueles mostrados na Tabela 6.

Tabela 6: Bancos de dados de fatores de emissão

Banco de dados	Descrição	Fatores
<i>Emissions Databank</i> (OACI)	Fatores de emissão de motores de aeronaves a jato em relação ao regime de potência do motor	HC, CO, NO _x e fluxo de combustível
<i>CORINAIR Guidebook 2013</i> (EMEP/EEA)	Fatores de emissão de aeronaves a jato e turbo-hélice	MP _{2,5}
<i>Turboprop Engine Emissions Database</i> (Luftfartsverket- Swedish Civil Aviation Administration)	Fatores de emissão de motores de aeronaves turbo-hélice em relação ao regime de potência do motor	HC, CO, NO _x e fluxo de combustível

Os fatores de emissão para motores a jato foram obtidos através do banco de dados da OACI. Este banco de dados é disponibilizado na página da EASA (*European Aviation Safety Agency*) e contém informações sobre as emissões dos motores nos regimes de operação de 7%, 30%, 85% e 100% de potência. Essas informações, fruto dos trabalhos realizados pela OACI através do CAEP (*Committee on Aviation Environmental Protection*).

Quanto às aeronaves com motores turbo-hélice, os fatores de emissão são originários da *Turboprop Engine Emissions Database*. Essa base de dados foi compilada pelos fabricantes através da ICCAIA (*International Coordinating Council of Aerospace Industries Associations*) e fica sob a custódia da FOI (*Luftfartsverket-Swedish Civil Aviation Administration*). O acesso a essa base é restrito, podendo ou não ser autorizada por meio de solicitação.

Os dados referentes às emissões de $MP_{2,5}$ em LTO são calculados a partir das tabelas de emissão da EMEP/CORINAIR *Emission Inventory Guidebook – 2013, Part B 1.A.3.a Aviation* e podem ser obtidos no site da EEA (*European Environment Agency*). Tais emissões, informadas em quantidade mássica emitida para cada fase do ciclo LTO para cada aeronave, foram divididas pelo tempo médio utilizado em cada fase para obtenção dos fatores em kg/s.

Como as tabelas do banco de dados apresentam as emissões por motor, foi necessário correlacionar as aeronaves da frota brasileira com um dos motores incluídos na tabela. Desta forma, foi criada uma tabela de conversão do tipo de aeronave para o tipo de motor. No caso de inexistência do motor da aeronave nos bancos de dados, este foi substituído pelo equipamento com tração nominal em kN (quilonewtons) mais próximo do motor real.

No caso da utilização da base CORINAIR, foi necessária também uma tabela que correlacionasse os códigos OACI das aeronaves com os códigos daquela, como exemplificado na Tabela 7 a seguir:

Tabela 7: Exemplo de correlação de bases de aeronaves e motores

Aeronave	Fabricante	Cód. Aeronave (OACI)	Aeronave correlacionada (CORINAIR)	Cód. Aeronave (CORINAIR)	Classe da Aeronave	Motor
Ruslan	ANTONOV	A124	747-400	B744	L4J	CF6-80C2B4F
A300	AIRBUS	A306	A300	A306	L2J	JT9D-59A
A-300F4-200	AIRBUS	A30B	767-300	B763	L2J	JT9D-59A
A310	AIRBUS	A310	A310	A310	L2J	JT9D-59A
A318	AIRBUS	A318	A318	A318	L2J	PW6124A
A319	AIRBUS	A319	A319	A319	L2J	V2524-A5
A320	AIRBUS	A320	A320	A320	L2J	V2527-A5
A321	AIRBUS	A321	A321	A321	L2J	V2533-A5
A330-200	AIRBUS	A332	A332	A332	L2J	PW4168A
A330-300	AIRBUS	A333	A333	A333	L2J	PW4168A
A340-200	AIRBUS	A342	A343	A343	L4J	CFM56-5C4
A340-300	AIRBUS	A343	A343	A343	L4J	CFM56-5C4
A340-500	AIRBUS	A345	A345	A345	L4J	Trent 553-61
A340-600	AIRBUS	A346	A346	A346	L4J	Trent 556-61
A380-800	AIRBUS	A388	A388	A388	L4J	GP7270
Caravan	CESSNA	C208	PA-42-720 Cheyenne 3	PAY3	L1T	PT6A-114

A coluna “Cód. Aeronave Corinair” apresenta o código utilizado para o cruzamento dos fatores de $MP_{2,5}$ e das emissões em cruzeiro, como será explicitado no capítulo a seguir. Da coluna “Classe da Aeronave” retiram-se as informações do tipo de aeronave:

- A primeira letra designa o tipo de aeronave: L para *Landplanes* ou terrestres, A para Anfíbios, S para *Seaplane* ou hidroaviões, H para helicópteros, T para *Tilt wing* e G para Girocópteros;
- O dígito central carrega a informação do número de motores da aeronave;
- A letra final informa o tipo de motor: J para Jato, P para Pistão e T para *Turboprop* ou turbo-hélice.

A última coluna apresenta os motores para o cruzamento com os fatores de emissão nas bases, conforme o exemplo da Tabela 8.

Tabela 8: Exemplo de fatores de emissão de motores - base OACI

Motor	Fabricante	Força (kN)	NO _x (g/kg)				Fluxo de combustível (kg/s)			
			em função do regime de potência				em função do regime de potência			
			100%	85%	30%	7%	100%	85%	30%	7%
BR-700-710A1-10	BMW Roll-Royce	65,61	18,79	15,07	7,68	4,69	0,713	0,594	0,214	0,089
CF34-10A18	General Electric	82,1	19,47	16,72	8,26	3,58	0,826	0,684	0,232	0,086
Trent 972-84	Rolls-Royce Ltd	345,9	38,80	29,6	11,8	5	2,69	2,23	0,75	0,27

4.2.2 Cruzeiro

A fase cruzeiro abrange as operações das aeronaves realizadas acima de 3000 pés (914,4 m). As emissões contabilizadas são, portanto, das etapas *climb*, *cruise* e *descent*, como demonstrado na Figura 1.

Além da distância do voo, o consumo de combustível e as emissões atmosféricas de uma aeronave são condicionados por diversos outros fatores que caracterizam o voo, como a trajetória altimétrica, as variações de velocidade, a carga transportada, as condições de climáticas, etc. A base CORINAIR apresenta uma tabela com valores de emissão e consumo resultantes de modelagem, onde para cada combinação de modelo de aeronave e fator de emissão/consumo de combustível são tabelados os totais (em kg) para 16 pontos. Cada ponto designa uma distância de voo, compreendidos entre 231,5 a 12038,0 quilômetros, como exemplificado na Tabela 9 a seguir:

Tabela 9: Exemplos de dados de emissão e consumo de combustível por distâncias de voo para a aeronave A310 (CORINAIR)

Distância de voo (km)	231,5	463	926	1389	1852	2778	3704	4630	5556	6482	...
Combustível Consumido (kg)	1906	3293	5252	7487	9699	14234	18647	23090	27573	32091	...
NO _x (kg)	44,58	63,33	88,11	114,3	140,4	193,5	245,7	298	351,1	405,5	...
CO (kg)	12,15	14,24	21,15	24,25	27,33	34,01	39,43	45,59	51,55	57,23	...

No exemplo podemos observar que as aeronaves equivalentes ao Airbus A310 consomem 1906 kg de QAV e emitem 44,58 kg de NO_x na fase de cruzeiro de um voo cujos aeroportos de origem e destino distam 231,5 km.

Para cada aeronave, a tabela CORINAIR apresenta os dados para distâncias de voo até certo limite. Como na base de movimentações existem voos cujas distâncias percorridas superam estes limites, nestas situações são calculados fatores de emissão por extrapolação linear. Esta extrapolação foi feita a partir do primeiro e do último valores informados pela tabela para cada aeronave.

4.2.3 Unidade Auxiliar de Potência (APU)

Os fatores de emissão e o consumo de combustível das APUs são dependentes tanto do tipo de aeronave quanto do regime de potência no qual ela está operando. Cada uma das fases de utilização da unidade apresenta um regime de potência típico, o qual varia conforme as condições de temperatura ambiente.

Levando em conta a temperatura média dos aeródromos brasileiros, as fases de utilização foram associadas aos regimes de potência utilizados na condição de “altas temperaturas” (acima de 10°C), dessa forma, as fases se relacionam com os regimes de potência conforme a Tabela 10.

Conhecida a categoria da aeronave, a Tabela 11 apresenta o fluxo de combustível e os fatores de emissão para cada fase de utilização. Esses valores são utilizados nas equações 6 e 7 nas estimativas das emissões.

Tabela 10: Relação entre as fases de utilização das APUs e os regimes de potência

Fase de utilização	Regime de potência (acima de 10°C)
Partida da APU	Sem carga
Gate-out	ECS*
MES	Carga Máxima
Gate-in	ECS

* ECS (Environmental Control System): condição normal de operação usada no embarque e desembarque de passageiros

Tabela 11: Fatores de emissão e fluxo de combustível das APUs

Fase de utilização	Categoria da aeronave	Fluxo de combustível (kg QAv/s)	gCO/kgQAv	gHC/kgQAv	gNO _x /kgQAv
Partida da APU	Fuselagem estreita	0,021	31,75	6,53	5,45
	Fuselagem larga	0,035	10,26	0,87	7,55
	Fuselagem larga (jumbo)	0,033	9,38	0,88	7,41
	Jato regional	0,012	6,26	1,69	6,14
	Turbo-hélices	0,012	6,26	1,69	6,14
Gate-in e gate-out	Fuselagem estreita	0,033	5,72	0,43	6,85
	Fuselagem larga	0,052	1,14	0,19	10,99
	Fuselagem larga (jumbo)	0,061	0,53	0,12	10,3
	Jato regional	0,019	6,47	0,49	4,93
	Turbo-hélices	0,019	6,47	0,49	4,93
MES	Fuselagem estreita	0,038	4,94	0,29	7,64
	Fuselagem larga	0,064	0,98	0,13	11,53
	Fuselagem larga (jumbo)	0,058	0,53	0,12	11,2
	Jato regional	0,02	6,48	0,42	4,91
	Turbo-hélices	0,02	6,48	0,42	4,91

De acordo com **Recommended Best Practice for Quantifying Speciated Organic Gas Emissions From Aircraft Equipped With Turbofan, Turbojet and Turbo-hélice Engines (FAA & EPA, 2009)**, é grande a incerteza quanto à emissão de CH₄ por motores tipo turbina a gás e esta emissão provavelmente só ocorre em regimes de baixa tração. No caso da APU a classificação por nível de tração do motor não se aplica, dessa forma optou-se por considerar as emissões de CH₄ como desprezíveis.

A literatura consultada não apresenta fatores de emissão de material particulado (MP) e dióxido de enxofre (SO₂) para APUs, sendo assim, essas emissões não foram estimadas.

4.2.4 Fatores de emissão dependentes das propriedades do combustível

Para alguns dos gases estimados no inventário, os fatores de emissão são dependentes exclusivamente do tipo de combustível utilizado e de sua composição química, não variando conforme o regime de operação do motor.

4.2.4.1 Fatores de emissão de CO₂, CH₄ e N₂O

No que diz respeito aos gases de efeito estufa diretos (CO₂, CH₄ e N₂O), as estimativas das emissões foram feitas a partir de valores padrão de fator de emissão e poder calorífico para o querosene de aviação⁷, apresentados pelo IPCC (2006). Para a densidade média, foram adotados os dados divulgados pela ANP.

Uma vez que os fatores de emissão do IPCC apresentam-se em kg de gás por unidade de energia (kg/TJ), foi utilizado o poder calorífico, expresso em quantidade de energia por unidade de massa (TJ/Gg). Dessa forma, foram obtidos fatores de emissão expressos em kg de gás por kg de combustível utilizado.

⁷ As estimativas feitas através da metodologia *Tier 3A* correspondem apenas às emissões geradas pelo consumo de querosene de aviação.

Os valores utilizados para essas propriedades estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12: Propriedades do querosene de aviação utilizadas nas estimativas da metodologia Tier 3A

Combustível	Querosene de Aviação	Unidade	Fonte
Fator de emissão de CO ₂	71500	kgCO ₂ /TJQAv	IPCC 2006
Fator de emissão N ₂ O	2	kgN ₂ O/TJQAv	IPCC 2006
Fator de emissão CH ₄	5	kgCH ₄ /TJQAv	IPCC 2006
Valor calorífico	44,1	TJ/Gg	IPCC 2006
Fator de emissão (massa) de CO ₂	3,15	kgCO ₂ /kgQAv	Calculado
Fator de emissão (massa) de N ₂ O	0,0000882	kgN ₂ O/kgQAv	Calculado
Fator de emissão (massa) de CH ₄	0,0002205	kgCH ₄ /kgQAv	Calculado*
Densidade média	0,799	kg/L	ANP 2008

*As emissões de metano só foram estimadas para as fases de taxi do ciclo LTO, uma vez que não são geradas emissões desse gás nas outras fases de voo.

4.2.4.2 Fatores de emissão de SO₂

As emissões de SO₂ também são dependentes unicamente da composição química do combustível, no caso, do teor de enxofre (S) no querosene de aviação consumido pelas aeronaves. Uma vez que esse teor pode variar mensalmente, foi utilizado valor obtido pela ANAC a partir de solicitação junto à ANP que sugere conteúdo médio de 0,042% (em massa).

A partir desse conteúdo mássico, da relação estequiométrica da combustão de enxofre (S) em dióxido de enxofre (SO₂) - 1 mol S: 1 mol SO₂ - e da relação entre as massas molares de enxofre elementar e dióxido de enxofre (64/32), foi calculado o fator de emissão de 0,0008 kg SO₂/kg QAv.

4.2.5 Estimativas das emissões de compostos orgânicos voláteis (COV)

Os fatores de emissão apresentados no Banco de Dados da **OACI (Emissions Databank)** dizem respeito às emissões de hidrocarbonetos (HC), medidas a partir de detecção por ionização de chama. Porém esse grupo de gases não inclui outros compostos orgânicos, como aldeídos e cetonas, que são gases precursores do ozônio (O₃) no nível troposférico. De modo a incluir também estes compostos, seguiu-se a sugestão apresentada no **Recommended Best Practice for Quantifying Speciated Organic Gas Emissions From Aircraft Equipped With Turbofan, Turbojet and Turboprop Engines (FAA & EPA, 2009)** – ver Anexo 4 - Grupos de compostos orgânicos⁸. Assim, as emissões de HC obtidas a partir dos fatores de emissão da OACI foram multiplicadas pelo fator 1,15, obtendo-se, então, as emissões de compostos orgânicos voláteis (COV). A equação 10 representa essas estimativas.

⁸ O Anexo 4 - Grupos de compostos orgânicos - apresenta uma série de diagramas com os diferentes grupos de compostos orgânicos, além de uma tabela contendo as relações quantitativas entre esses grupos, provenientes do documento da EPA.

$$E_{COV} = 1,15 * E_{HC} \quad \text{(Equação 10)}$$

Onde:

- E_{COV} : emissões de compostos orgânicos voláteis;
- E_{HC} : emissões de hidrocarbonetos

5 Resultados

Os resultados do **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil** estão organizados em três seções distintas: estimativas de **consumo de combustível**, emissões de poluentes relacionados com a **qualidade do ar** e emissões de **gases de efeito estufa direto**.

5.1 Consumo de combustível estimado

O consumo de combustível na aviação civil, como já descrito neste inventário, pode ser obtido em publicações como o Balanço Energético Nacional (MME, 2013) ou o Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), porém a metodologia *Tier 3A* aplicada possibilita o cálculo do consumo para cada uma das movimentações realizadas no escopo do inventário.

Esta seção apresenta os resultados dessas estimativas de consumo de combustível, desagregando as movimentações em voos domésticos e internacionais, desagregando o consumo por fases de voo, além de comparar o consumo agregado com aquele reportado pelo BEN, que é utilizado nas estimativas da metodologia *Tier 1*.

O consumo de querosene na aviação civil ocorre de forma majoritária durante a fase cruzeiro dos voos; em 2013, 85,1% do consumo ocorreu nessa etapa, enquanto o ciclo LTO foi responsável por 12,7% e o uso de APUs por 2,2%. A evolução do consumo por fase de voo é apresentada no Gráfico 9. A estimativa das participações de cada fase do ciclo LTO e do uso das APUs no consumo de combustível, em 2013, está apresentada no Gráfico 11.

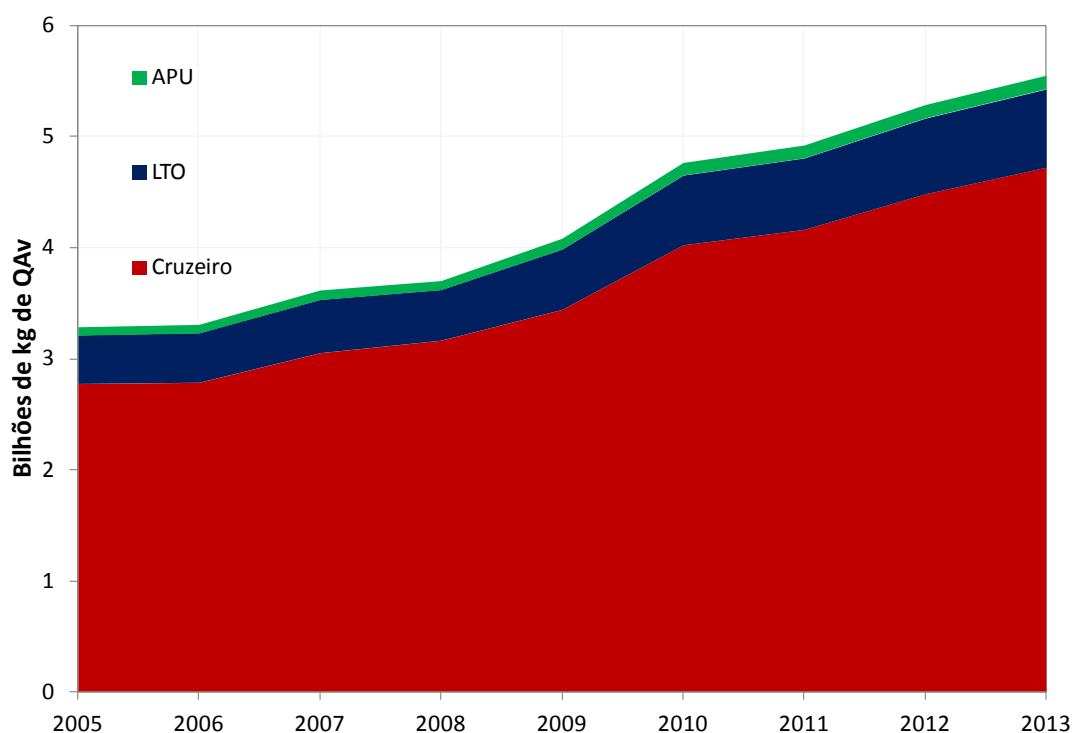
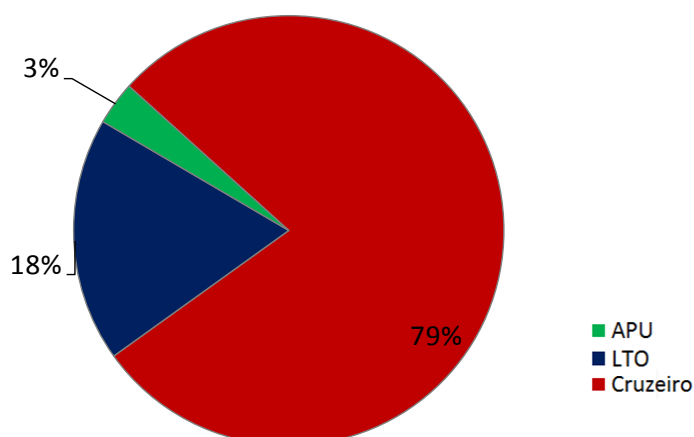


Gráfico 9: Evolução do consumo de QAv por fase de voo

Voos domésticos, 2013



Voos internacionais, 2013

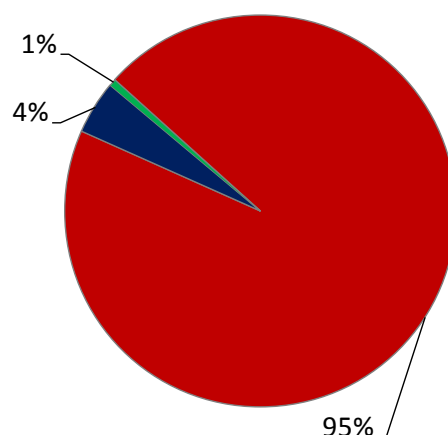


Gráfico 10: Distribuição do consumo de combustível de acordo com as fases de voo em 2013

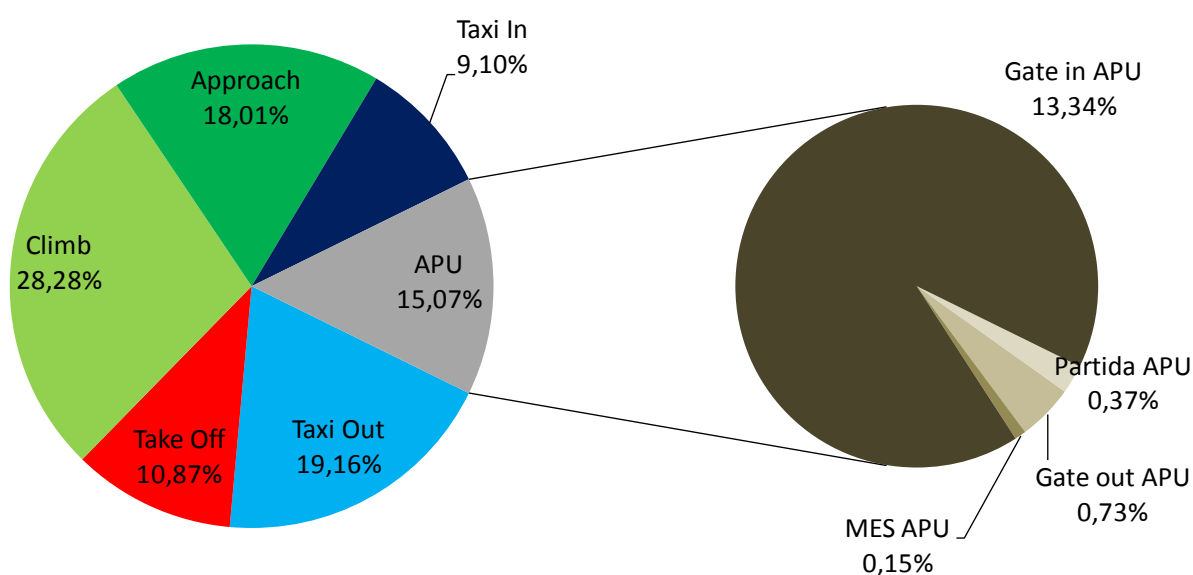


Gráfico 11: Participação das fases do ciclo LTO e do uso das APUs no consumo de combustível abaixo de 3000 pés, em 2013

O Gráfico 12 apresenta a evolução do consumo de combustível estimado pela metodologia *Tier 3A*, dividida entre movimentações domésticas e internacionais e comparada com o consumo reportado pelo BEN, também dividido entre os tipos de movimentação. Cabe destacar que se esperava que o consumo estimado fosse sempre menor do que aquele reportado pelo Balanço Energético Nacional, pois o escopo do inventário não abrange todas as movimentações que ocorrem no país, conforme discutido anteriormente. No entanto, a tendência de crescimento está presente em ambas as evoluções, apontando coerência na evolução das séries, inclusive na distribuição entre os tipos de movimentação.

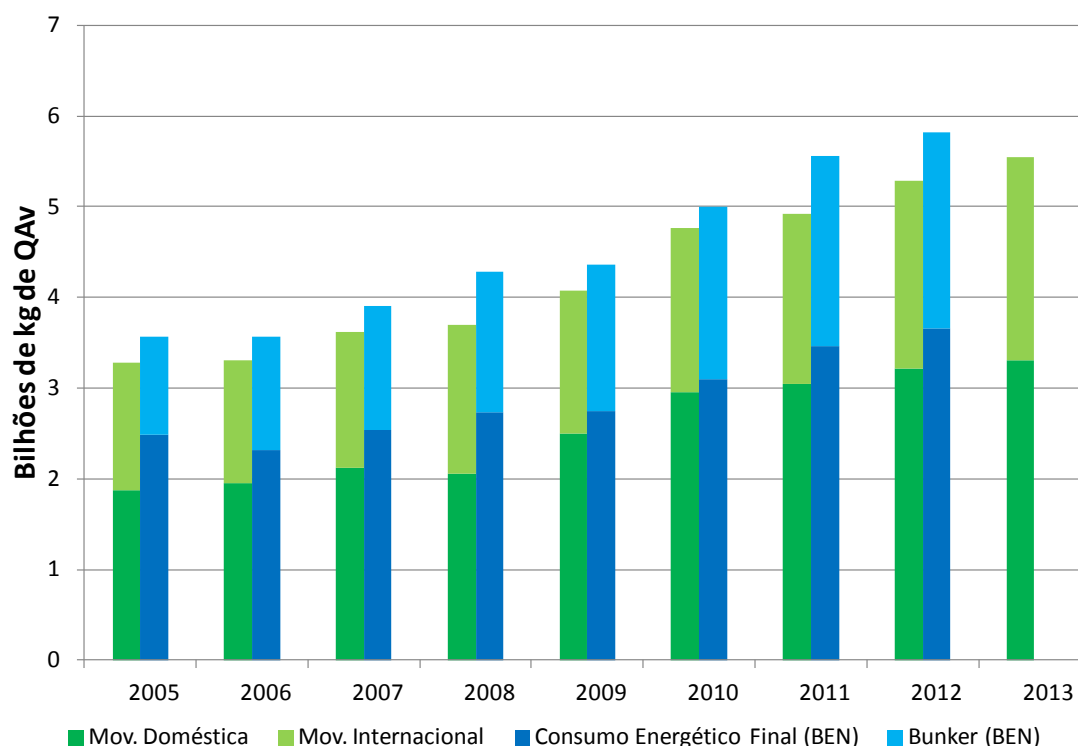


Gráfico 12: Comparação do consumo de querosene de aviação estimado com o reportado pelo BEN

5.2 Emissões de poluentes atmosféricos locais

Esta seção apresenta as emissões de poluentes atmosféricos locais, responsáveis por impactos negativos na qualidade do ar. São reportadas as emissões de monóxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis (COV), óxidos de nitrogênio (NO_x), dióxido de enxofre (SO₂) e material particulado (MP) das atividades relacionadas aos aeródromos nacionais, que compreendem o ciclo LTO e o uso das APU's (unidades auxiliares de potência). Uma vez que as emissões provenientes da fase cruzeiro de voo ocorrem a uma altitude muito elevada, considera-se desprezível o seu impacto na qualidade do ar. Dessa forma, essas emissões não foram reportadas nesta seção.

Os gráficos representam a evolução das emissões desses gases por tipo de movimentação (doméstica ou internacional), por tipo de atividade (ciclo LTO ou uso das APU's) e por tipo de fase dessas atividades (ciclo LTO: *taxi out*, *take off*, *climb*, *approach* e *taxi in*; uso das APU's: partida, *gate-in*, MES e *gate-out*).

Deve ser destacado que, apesar de, na base de movimentações, não constarem os voos com origem no exterior e destino no Brasil, suas emissões referentes às fases do ciclo LTO associadas ao pouso da aeronave (*taxi in* e *approach*) foram estimadas, assumindo-se que para toda partida do Brasil para exterior há uma correspondente chegada do exterior para o Brasil.

É ainda apresentada a evolução das emissões desses poluentes locais nos cinco aeródromos de maior movimentação do país: Aeroporto Internacional de São Paulo - Guarulhos (Guarulhos, SP), Aeroporto Internacional de Congonhas (São Paulo, SP), Aeroporto Internacional Presidente Juscelino Kubitschek (Brasília, DF), Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro - Galeão (Rio de Janeiro, RJ) e Aeroporto Internacional de Viracopos (Campinas, SP).

É importante notar também que todos os gráficos a seguir devem ser analisados com a ressalva discutida na seção 3.1 a respeito do problema na contabilização das movimentações no ano 2008. Esse ano pode apresentar valores que não correspondem à realidade das emissões geradas e, portanto, as tendências podem sofrer alterações nesse período, principalmente para o Aeroporto de Congonhas (São Paulo, SP). Quanto aos gráficos que apresentam as emissões por aeródromo, os resultados obtidos para 2008 no Aeroporto de Congonhas não foram representados, apontando para a incerteza a respeito desses dados de movimentação.

5.2.1 Emissões de monóxido de carbono (CO)

O Gráfico 13 e o Gráfico 14 apresentam, respectivamente, as emissões de monóxido de carbono por tipo de movimentação e por tipo de atividade. As emissões atingiram em 2013 o maior nível ao longo do escopo temporal do inventário, reflexo do máximo atingido, também, pelas movimentações e pelo consumo de combustível. Dos 6,6 milhões de kg emitidos, 83% são provenientes de movimentações domésticas, contra 17% gerados por movimentações internacionais. No que diz respeito à atividade realizada, 89% das emissões correspondem ao ciclo LTO das aeronaves e 11% são gerados no uso das APUs.

Os dados relativos a 2008 apresentam comportamento inconsistente ao restante da evolução das emissões, resultante da imprecisão gerada pelo problema na base de dados de movimentações.

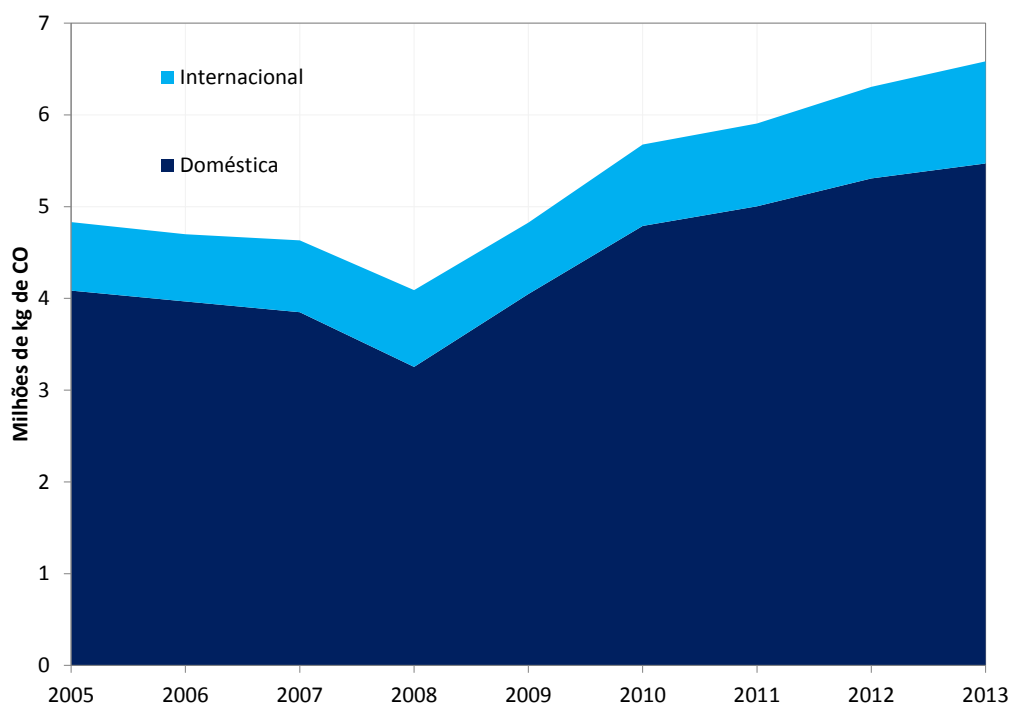


Gráfico 13: Emissões de CO por tipo de movimentação

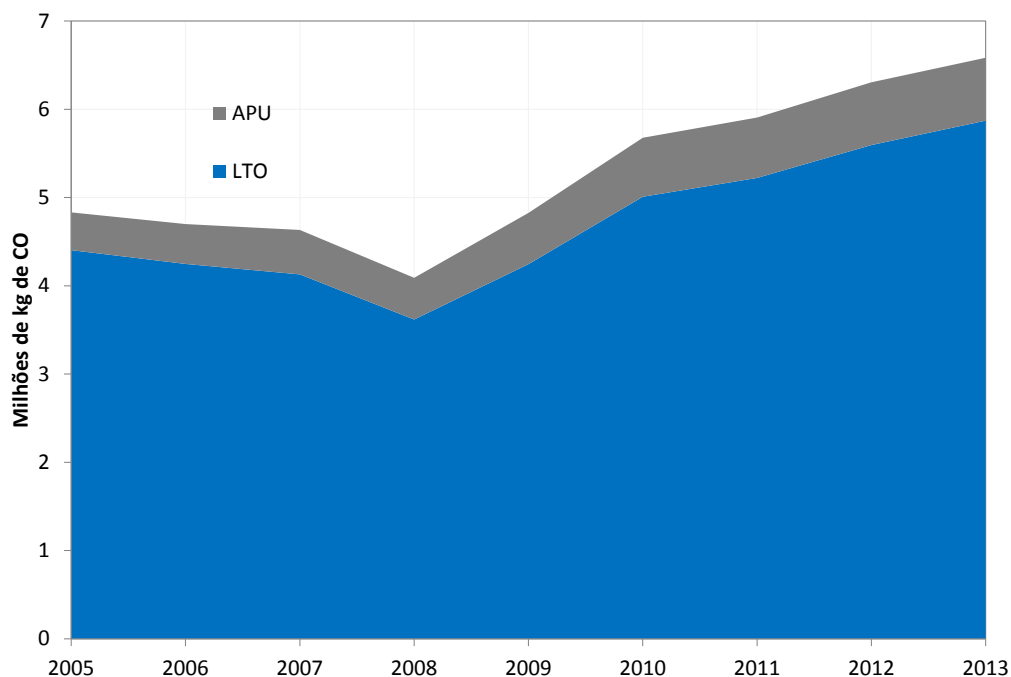


Gráfico 14: Emissões de CO por tipo de atividade

As emissões de CO são, de forma majoritária, geradas pelas fases em que os motores se encontram em *idle* (*taxi in e taxi out*) no ciclo LTO. Como mostrado no Gráfico 15, 81,2% das emissões são provenientes dessas fases. Quanto às emissões geradas pelo uso das APUs, a maior parte é proveniente da fase de *gate-in*, uma vez que essa possui a maior parte do tempo de utilização das unidades.

Dos cinco aeródromos brasileiros de maior movimentação, Guarulhos é o responsável pela maior parte das emissões de CO, consequência de ser também líder no número de voos. Porém, apesar de Congonhas possuir a segunda maior movimentação, aeroportos como Juscelino Kubitschek e Galeão emitiram mais monóxido de carbono nos últimos anos; o que é explicado pelo tempo médio de *taxi* nestes aeroportos, apresentado no Gráfico 5. Esses dois aeroportos possuem os maiores tempos de *taxi out*, fase do ciclo LTO responsável pela maior parte das emissões de CO, causando o nível de emissões mostrado no Gráfico 16.

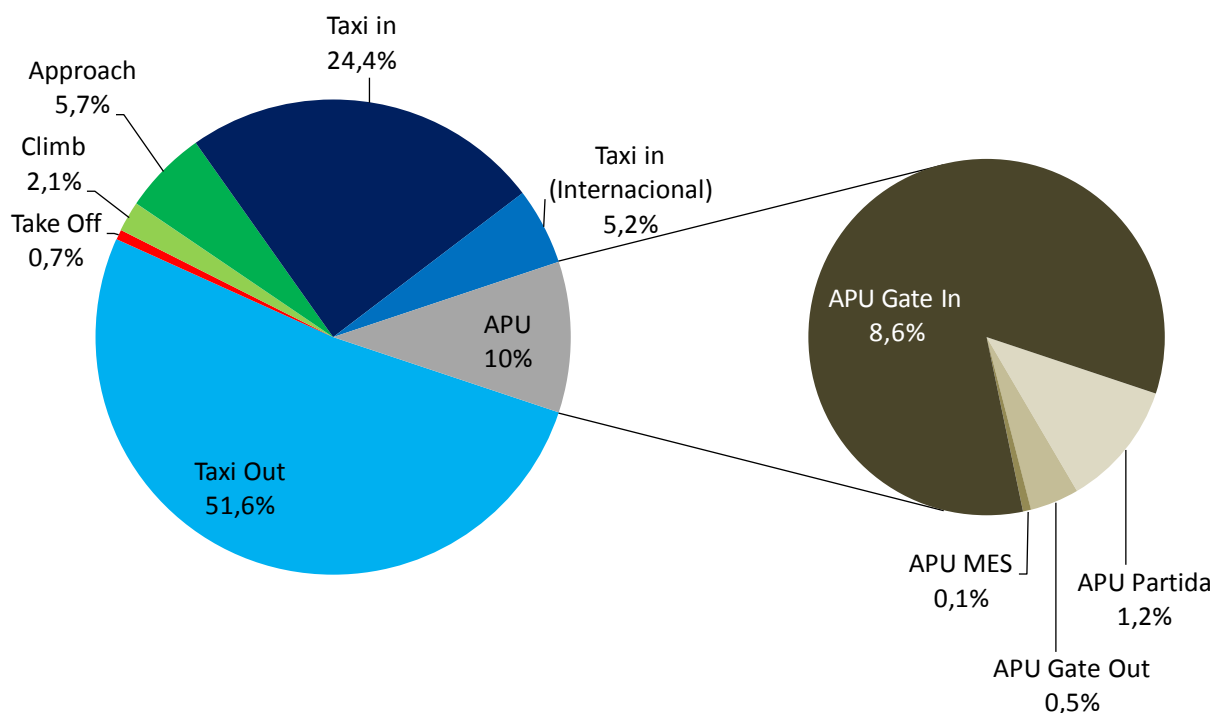


Gráfico 15: Emissões de CO por fase em 2013

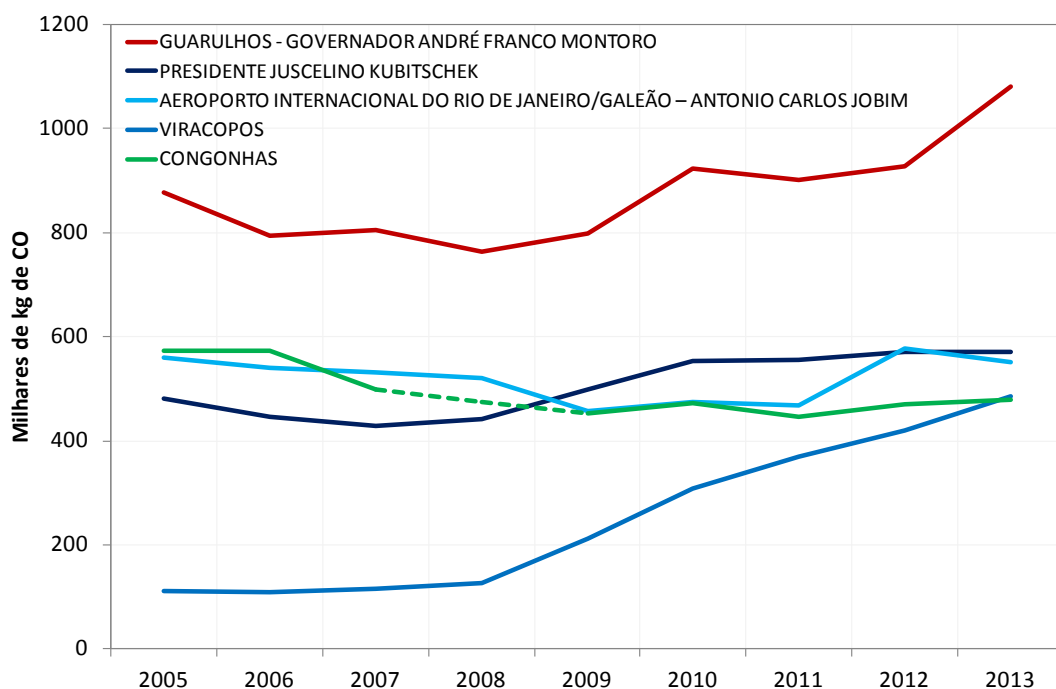


Gráfico 16: Emissões de CO em aeródromos selecionados

5.2.2 Emissões de compostos orgânicos voláteis (COV)

As emissões de compostos orgânicos voláteis apresentam duas tendências distintas ao longo da abrangência temporal do inventário. Entre os anos de 2005 e 2008 houve redução das emissões estimadas, porém de 2009 em diante, as emissões voltaram a crescer.

Esse primeiro comportamento (redução) pode ser explicado pela substituição de modelos de aeronaves na frota das companhias, por modelos com fatores de emissão menores. Um exemplo é a redução das movimentações das aeronaves do modelo F100 e o aumento das movimentações das aeronaves modelo A320, que pode ser constatada no Gráfico 2. O fator de emissão de HC⁹ de uma aeronave A320 (segunda aeronave com maior número de movimentações em 2013), nas fases de *idle* do ciclo LTO, é vinte e nove vezes menor quando comparados aos de uma F100. A tendência de crescimento notada a partir de 2009 é resultado do aumento intenso nas movimentações registradas pela base de dados.

O Gráfico 17 e o Gráfico 18 retratam essas tendências e mostram, assim como nas emissões de CO, a predominância das emissões geradas por movimentações domésticas (78%) e pelo ciclo LTO das movimentações (90%).

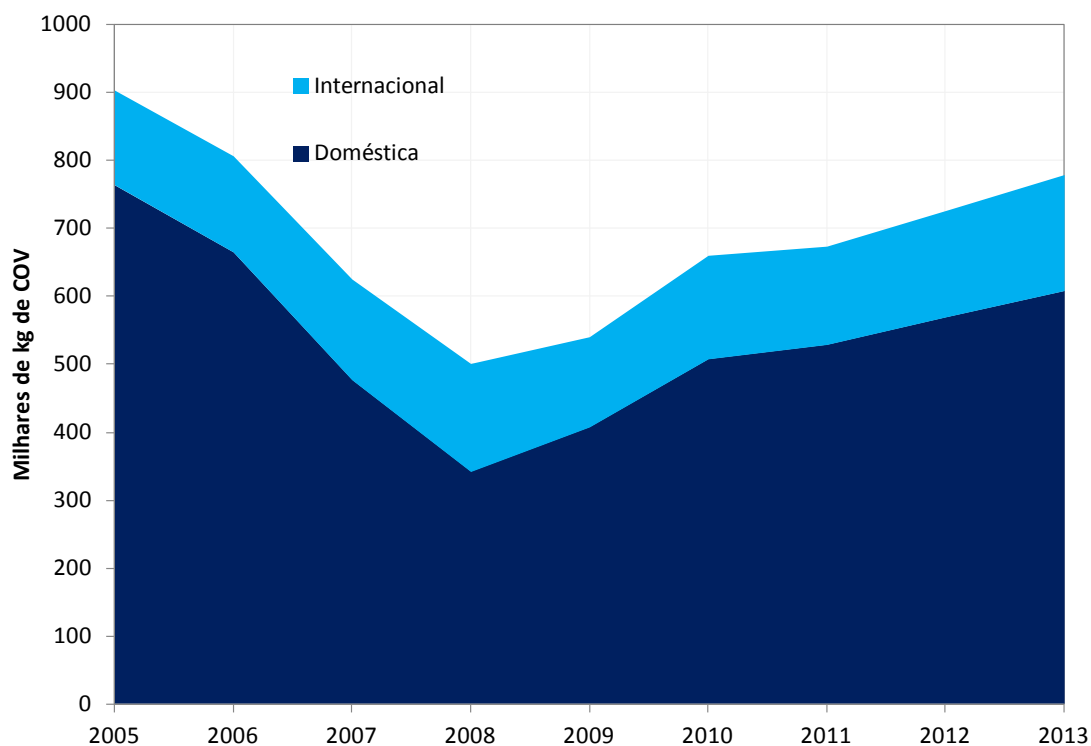


Gráfico 17: Emissões de COV por tipo de movimentação

⁹ Como destacado na seção 4.2.5, as emissões de COV são dependentes do fator de emissão de hidrocarbonetos (HC).

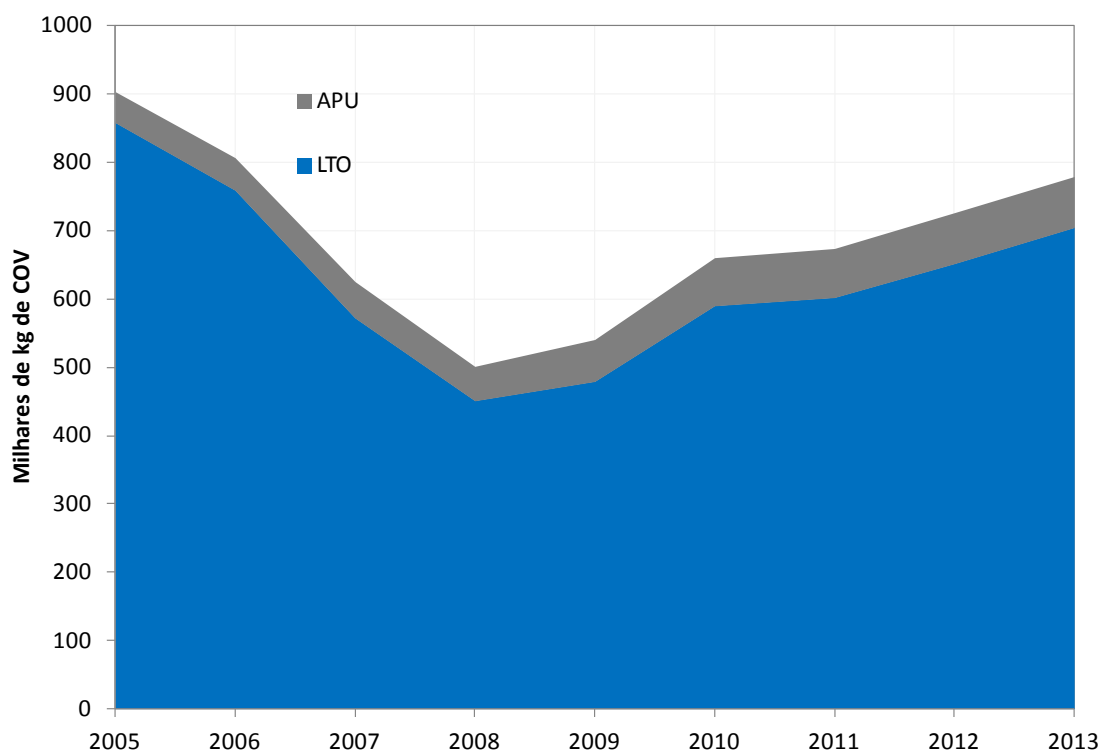


Gráfico 18: Emissões de COV por tipo de atividade

O Gráfico 19 revela que as emissões de COV também são fortemente influenciadas pelas fases de *taxi* do ciclo LTO: elas corresponderam a 84,6% das emissões em 2013. Devido ao tempo de uso, a fase *gate-in* do uso das APUs também é a responsável pela maior parcela das emissões dessas unidades (6,3%).

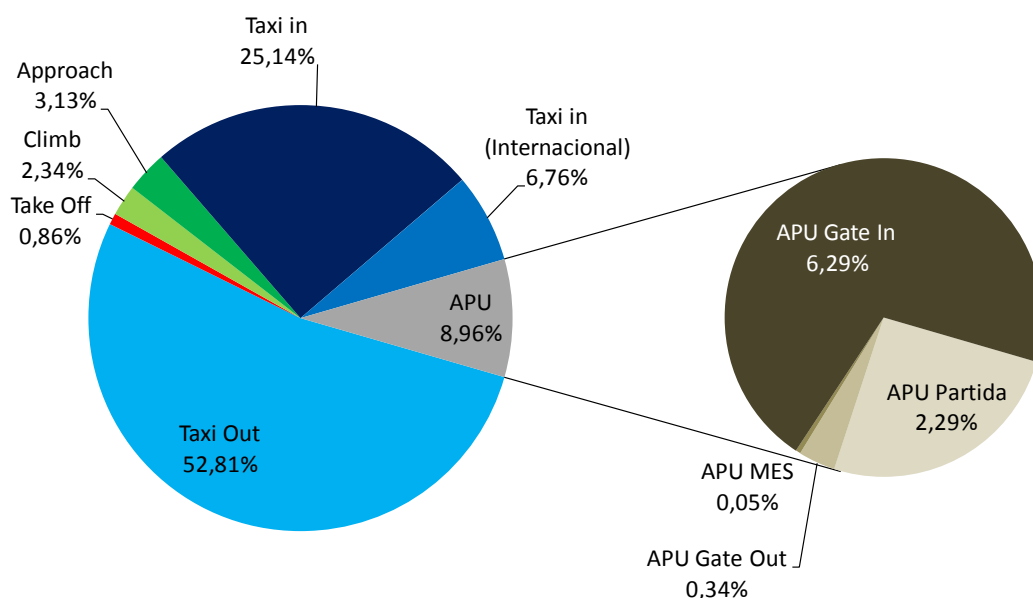


Gráfico 19: Emissões de COV por fase em 2013

As evoluções das emissões dos cinco aeródromos de maiores movimentações no país é mais uma vez influenciada pelos tempos de *taxi*, uma vez que essa é a fase predominante na distribuição das emissões. Devido à elevada movimentação, o Aeroporto Internacional de São Paulo (Guarulhos, SP) é mais uma vez o responsável pela maior parte das emissões, como ilustrado pelo Gráfico 20.

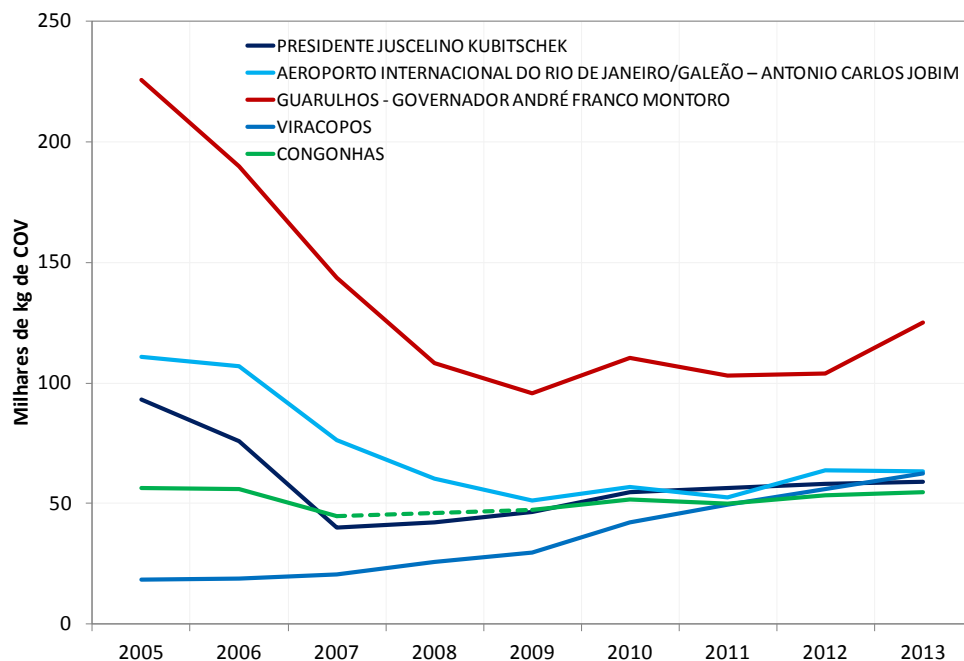


Gráfico 20: Emissões de COV em aeródromos selecionados

5.2.3 Emissões de óxidos de nitrogênio (NO_x)

O perfil das emissões de NO_x apresenta distribuição similar aos gases anteriormente apresentados, apontando que a maior parte das emissões provem de movimentações domésticas (82%) e do ciclo LTO das movimentações (93%). Ao longo do escopo temporal das estimativas deste inventário, a evolução apresentou tendência de crescimento, com exceção no ano de 2008, provavelmente comprometido pelo problema já mencionado com a base de dados. O Gráfico 21 e o Gráfico 22 ilustram essas interpretações.

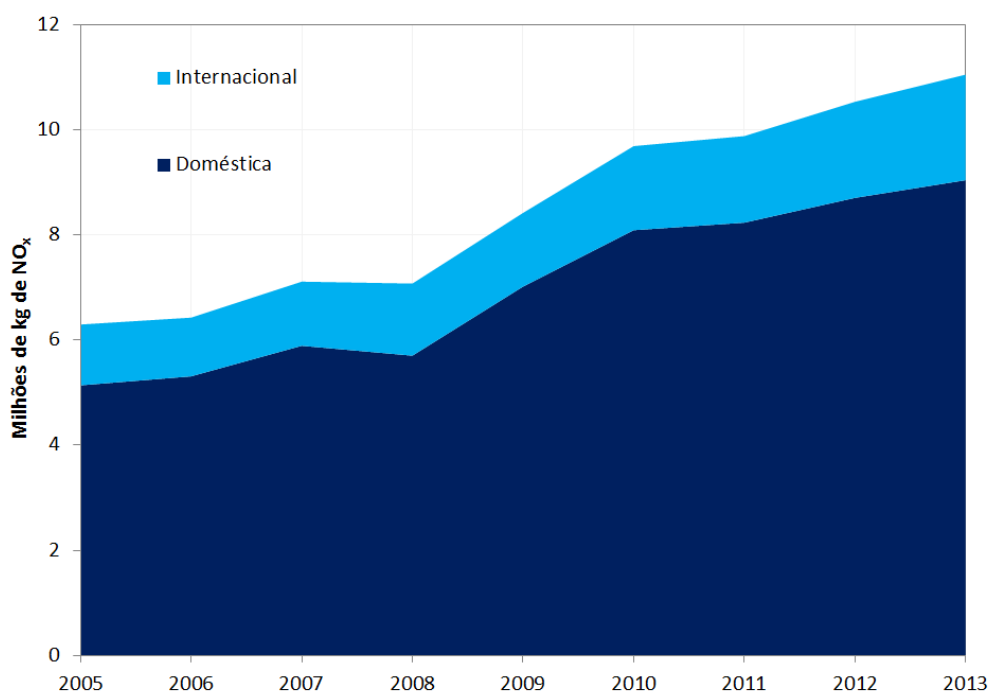


Gráfico 21: Emissões de NO_x por tipo de movimentação

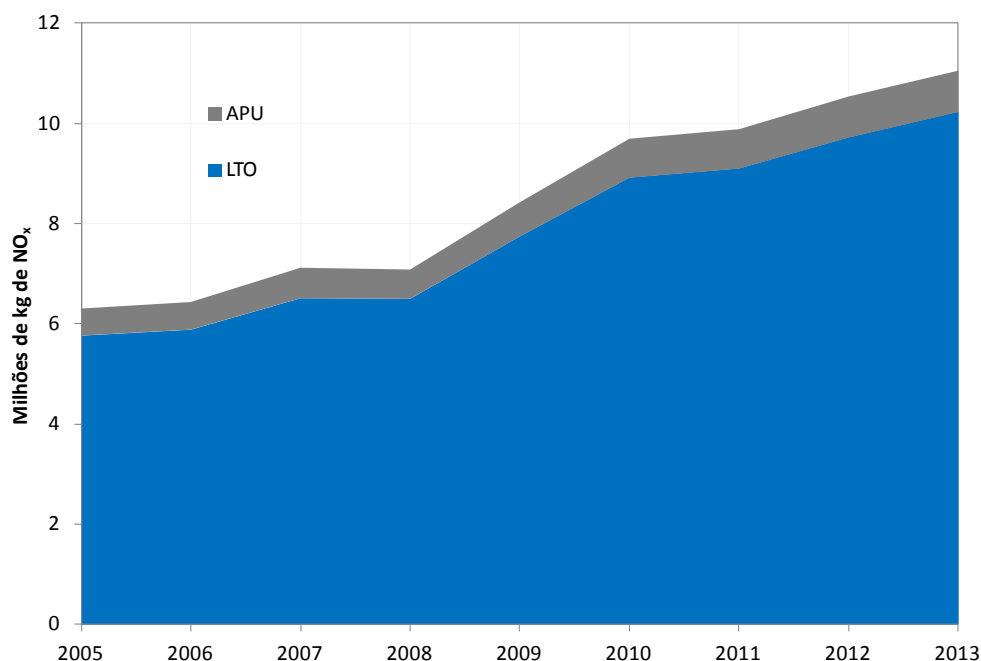


Gráfico 22: Emissões de NO_x por tipo de atividade

As emissões de NO_x e as dos poluentes representados até aqui (CO e COV) diferem em relação às fases das operações responsáveis pela maior parte das emissões: para esse gás, as fases de *climb*, *take off* e *approach* do ciclo LTO são as mais relevantes. Isso ocorre porque a formação desses óxidos é favorecida por condições de temperatura mais elevada, as quais ocorrem durante os regimes de alta potência. Nessas condições, a reação de combustão é mais eficiente, acarretando em um *trade-off* que resulta na diminuição das emissões de gases provenientes da queima incompleta do carbono presente no combustível (CO e COV, por exemplo) e aumenta as emissões dos óxidos de nitrogênio. Durante o *approach*, apesar da potência não ser tão elevada, as emissões desse gás se tornam relevantes em consequência do tempo em que as aeronaves permanecem nesse regime. A distribuição das emissões entre as fases do ciclo LTO e do uso das APUs é apresentada no Gráfico 23.

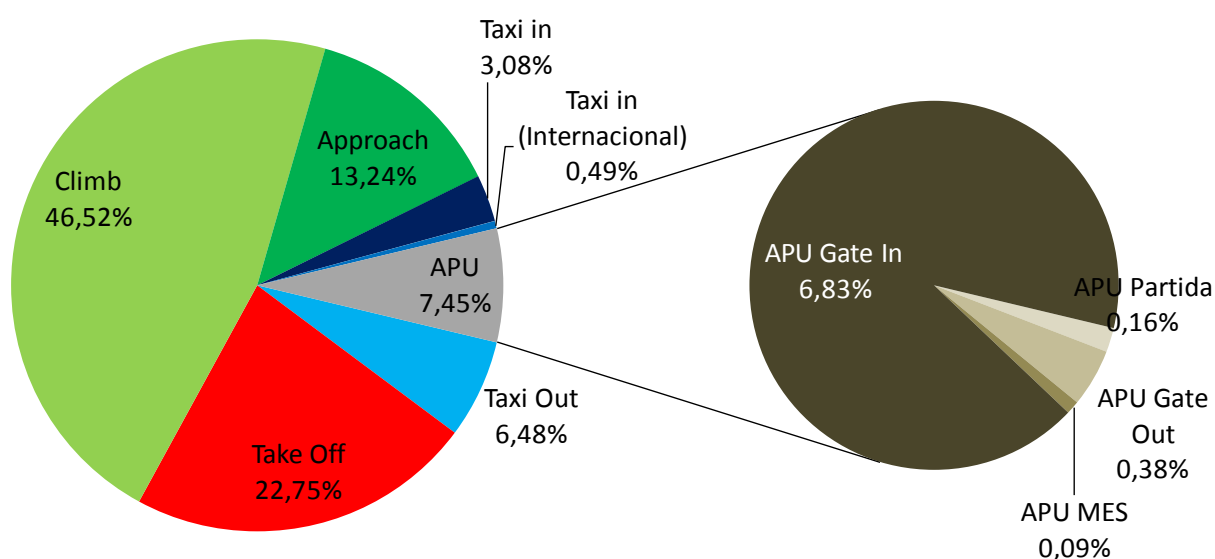


Gráfico 23: Emissões de NOx por fase em 2013

O Gráfico 24 aponta para a tendência de crescimento das emissões de NO_x . Uma vez que os tempos de *taxi* possuem menor influência nas emissões de óxidos de nitrogênio, sendo o número de ciclos LTO a variável predominante, nota-se a maior contribuição dos aeródromos de movimentação mais elevada (Guarulhos – SP, Galeão – RJ e Congonhas – SP).

Além disso, esse crescimento pode também estar relacionado com uma nova tendência na tecnologia de motores, configurados com elevada taxa de compressão. Quanto maior a taxa no combustor, menor o consumo de combustível, porém maior a temperatura da queima, favorecendo a formação de NO_x . A tendência de crescimento dessas emissões nos aeroportos internacionais pode ser acentuada pelo fato de haver nestes aeroportos operação de aeronaves maiores que se utilizam de tais motores.

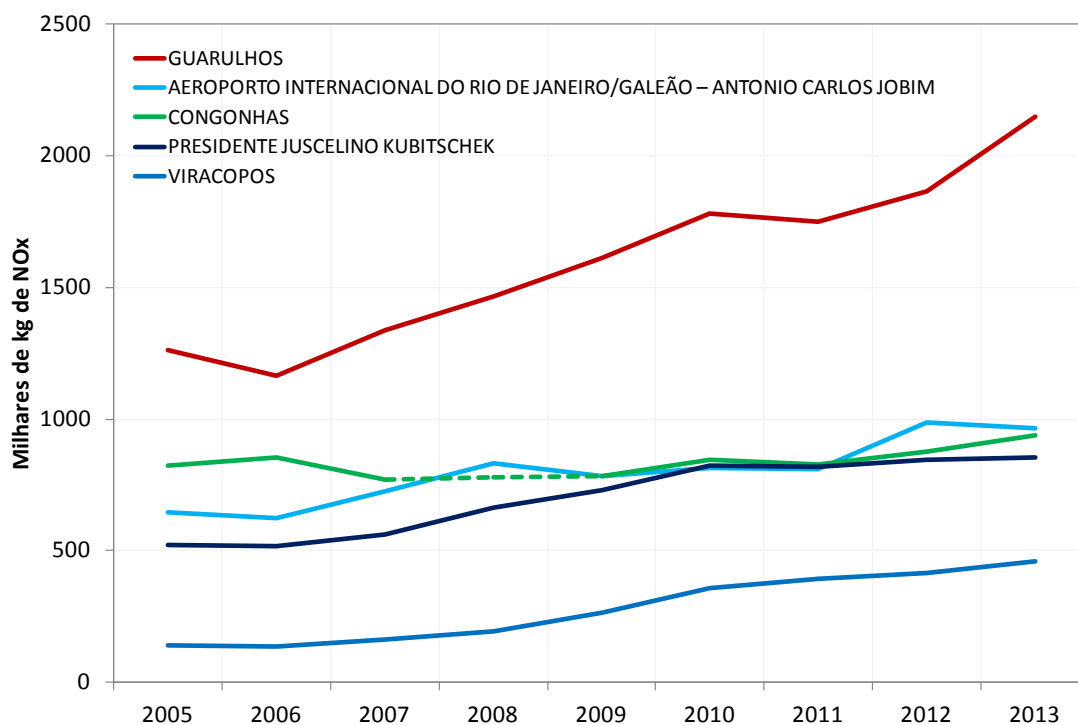


Gráfico 24: Emissões de NO_x em aeródromos selecionados

5.2.4 Emissões de dióxido de enxofre (SO_2)

As emissões de dióxido de enxofre reportadas nesse inventário correspondem exclusivamente às provenientes do ciclo LTO das movimentações. É clara a tendência de crescimento representada no Gráfico 25, cabendo destacar mais uma vez a ressalva feita quanto às estimativas para o ano de 2008. As emissões geradas em movimentações domésticas representam a maior parcela (86%) dos 0,59 milhões de kg emitidos em 2013.

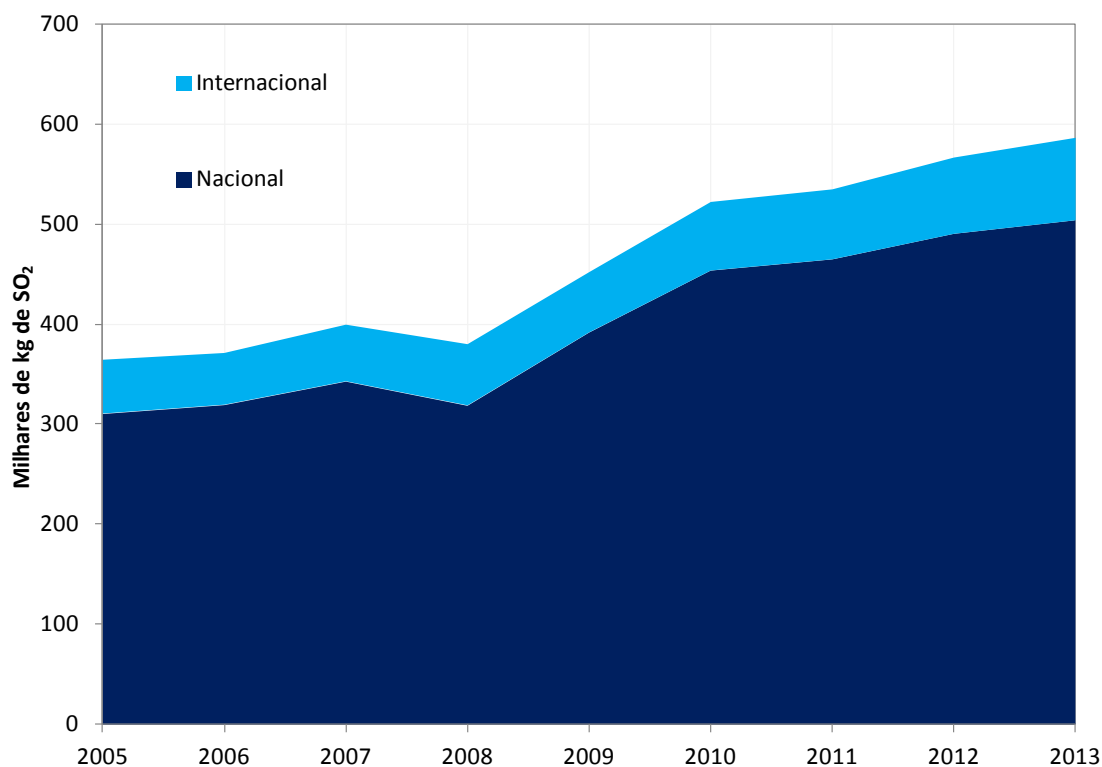


Gráfico 25: Emissões de SO₂ por tipo de movimentação

Como as emissões de dióxido de enxofre geradas pelo uso das APUs não são estimadas, o Gráfico 26 apresenta as emissões em 2013 distribuídas entre as fases de voo do ciclo LTO, apontando para uma predominância em *climb* (32,6%) e nas fases em *idle* (34,2%).

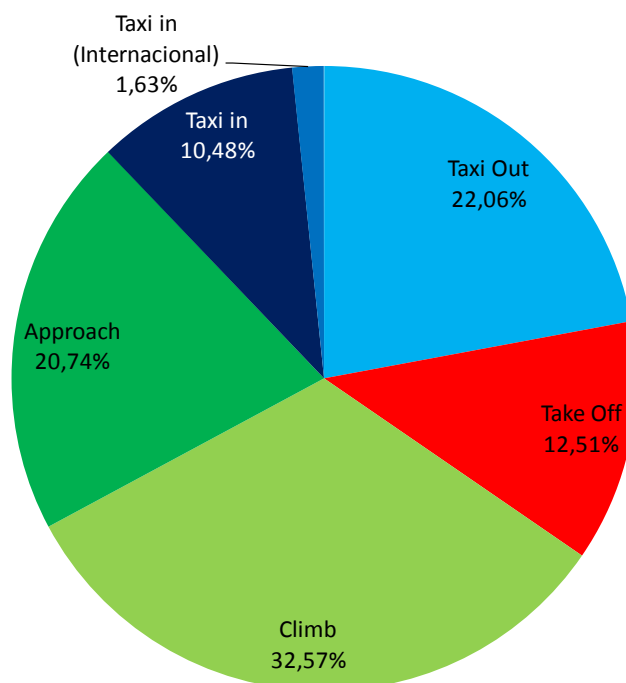


Gráfico 26: Emissões de SO₂ por fase em 2013

No que diz respeito às emissões pelos aeródromos de maior movimentação, o Gráfico 27 apresenta as tendências de crescimento das emissões, em especial para os Aeroportos Internacionais de São Paulo (Guarulhos, SP) e Viracopos (Campinas, SP).

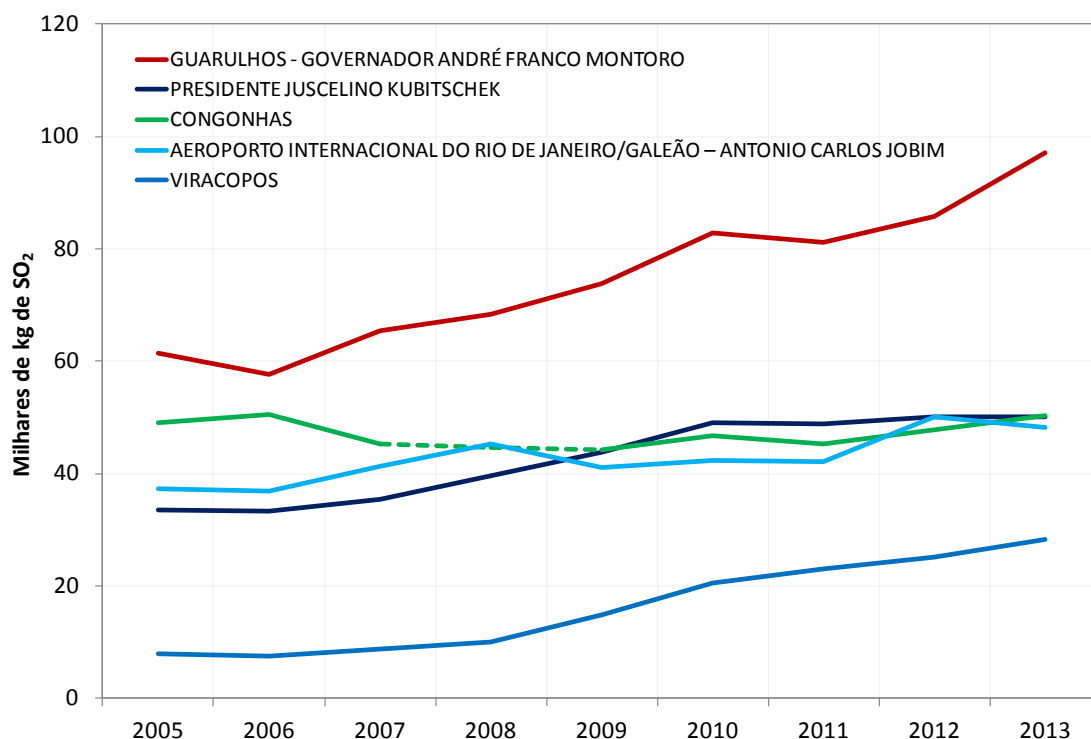


Gráfico 27: Emissões de SO₂ por aeródromo

5.2.5 Emissões de material particulado (MP)

Assim como as estimativas de emissões de SO₂, as emissões reportadas de material particulado são apenas as geradas a partir das fases de voo do ciclo LTO das movimentações. O Gráfico 28 ilustra a tendência de crescimento ao longo do período estimado (excetuando 2008 devido aos problemas já mencionados), tendo as emissões alcançado seu patamar mais elevado em 2013 quando foram emitidos aproximadamente 30 milhares de kg de MP. Destacam-se a participação das emissões provenientes das fases de *taxi* do ciclo LTO (72%), ilustradas no Gráfico 29, e o crescimento das emissões em Viracopos (Campinas, SP) e em Guarulhos (SP), como apresenta o Gráfico 30.

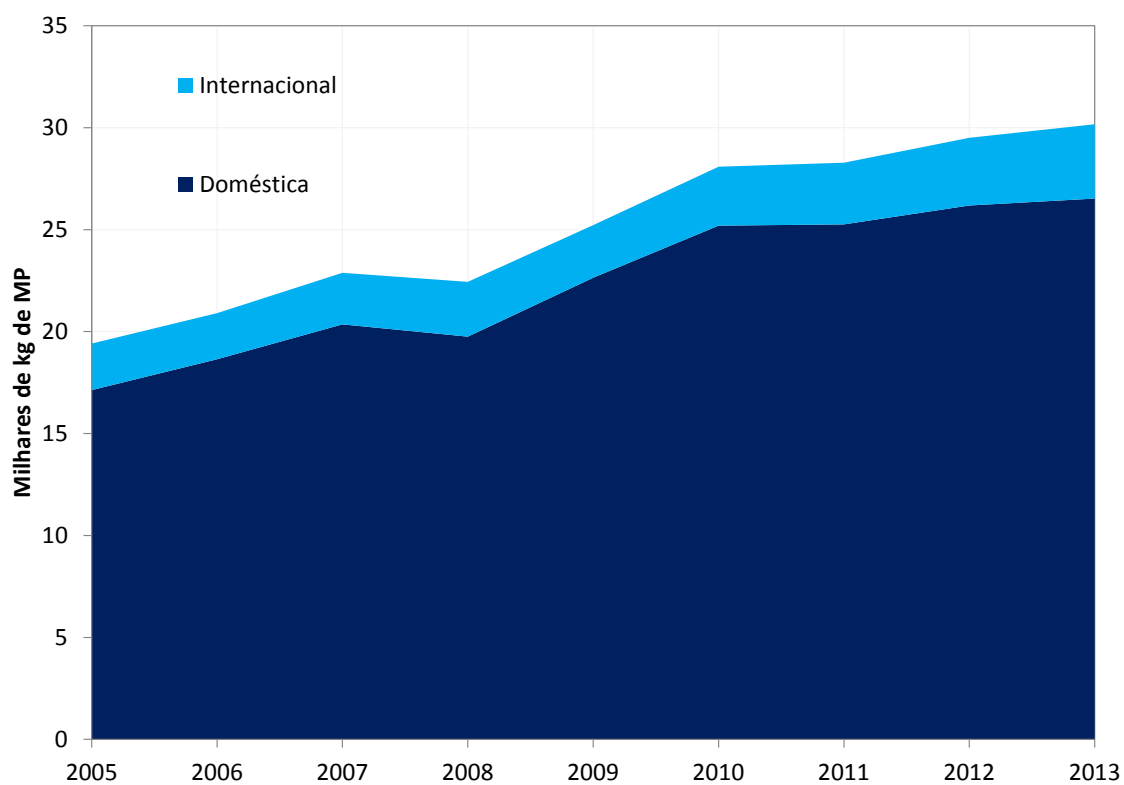


Gráfico 28: Emissões de MP por tipo de movimentação

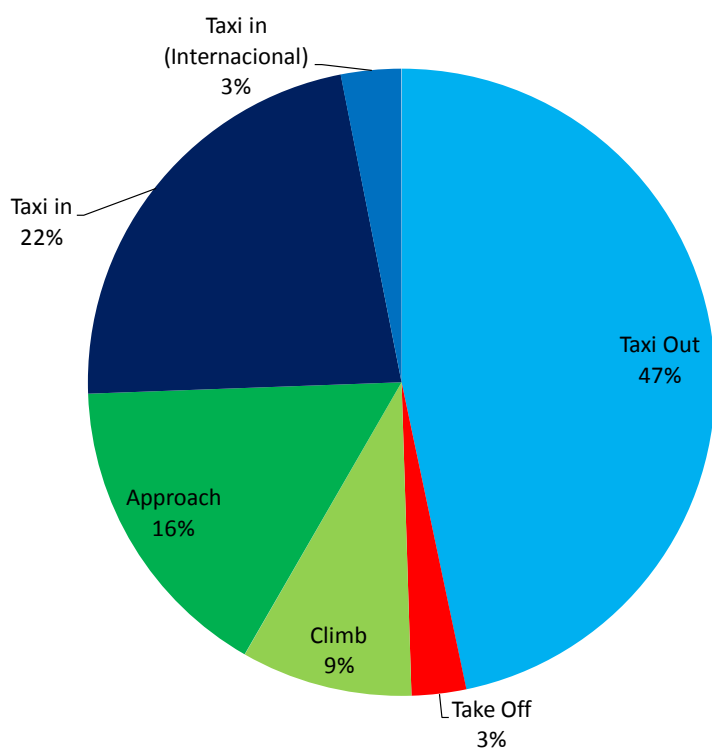


Gráfico 29: Emissões de MP por fase em 2013

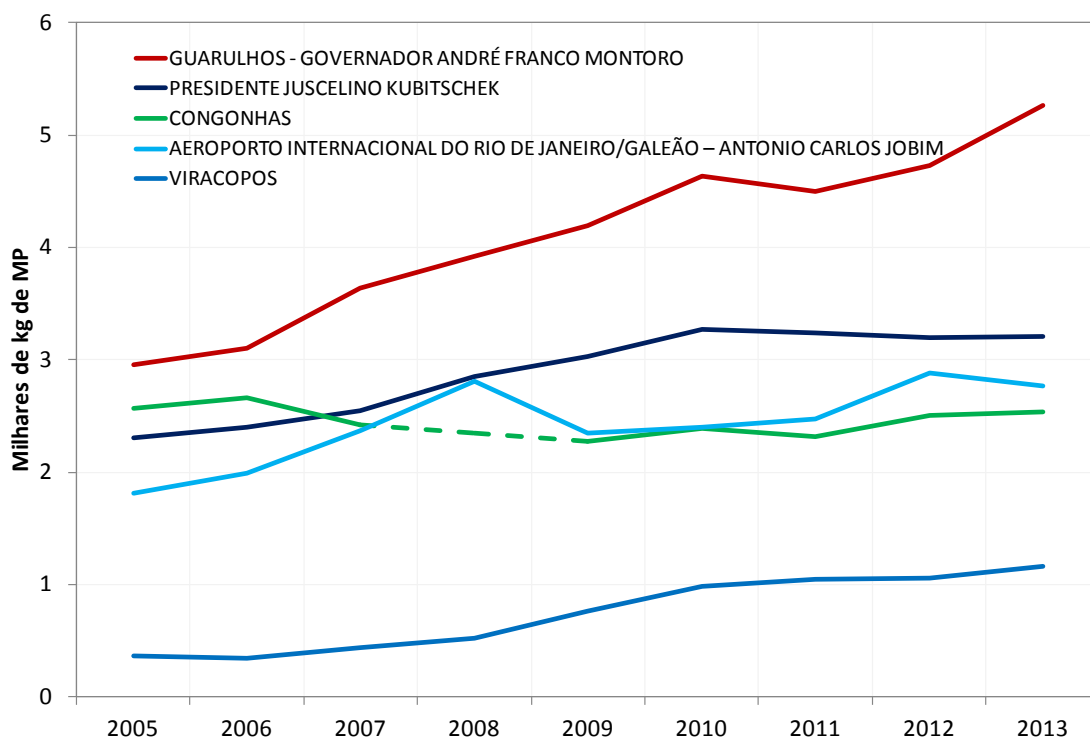


Gráfico 30: Emissões de MP por aeródromo

5.3 Emissões de gases de efeito estufa direto

As estimativas de gases de efeito estufa (GEE) direto feitas através da metodologia *Tier 3A* e reportadas neste inventário incluem, além das emissões provenientes da utilização das unidades auxiliares de potência (APUs), as fases do ciclo LTO e a fase de cruzeiro das movimentações. São contabilizadas, porém, apenas as emissões geradas pela queima de combustível abastecido em território brasileiro, tanto para movimentações domésticas quanto internacionais. Deste modo, no tocante aos voos internacionais, são considerados apenas aqueles com origem no Brasil e destino no exterior.

Este inventário reporta, como já descrito, as emissões de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso. Para associar essas emissões a uma metodologia capaz de contemplar os impactos desses três gases no balanço energético do planeta, optou-se pela métrica GWP-100 para sintetizar as emissões em uma medida denominada CO₂ equivalente (CO₂e).

A conversão dos GEEs em CO₂e é feita conforme os valores apresentados na Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – CQNUMC. Os fatores **GWP são 1 para o CO₂, 21 para o CH₄ e 310 para o N₂O**. Apesar do uso da métrica aumentar a participação do metano e do óxido nitroso nas emissões, a maior parte das emissões de CO₂e é proveniente do CO₂, como apresentado no Gráfico 31. Este revela também a tendência de crescimento ao longo do escopo temporal e mostra o nível mais elevado das emissões em 2013, ano em que foram emitidas, aproximadamente, 18 Mt de CO₂e.

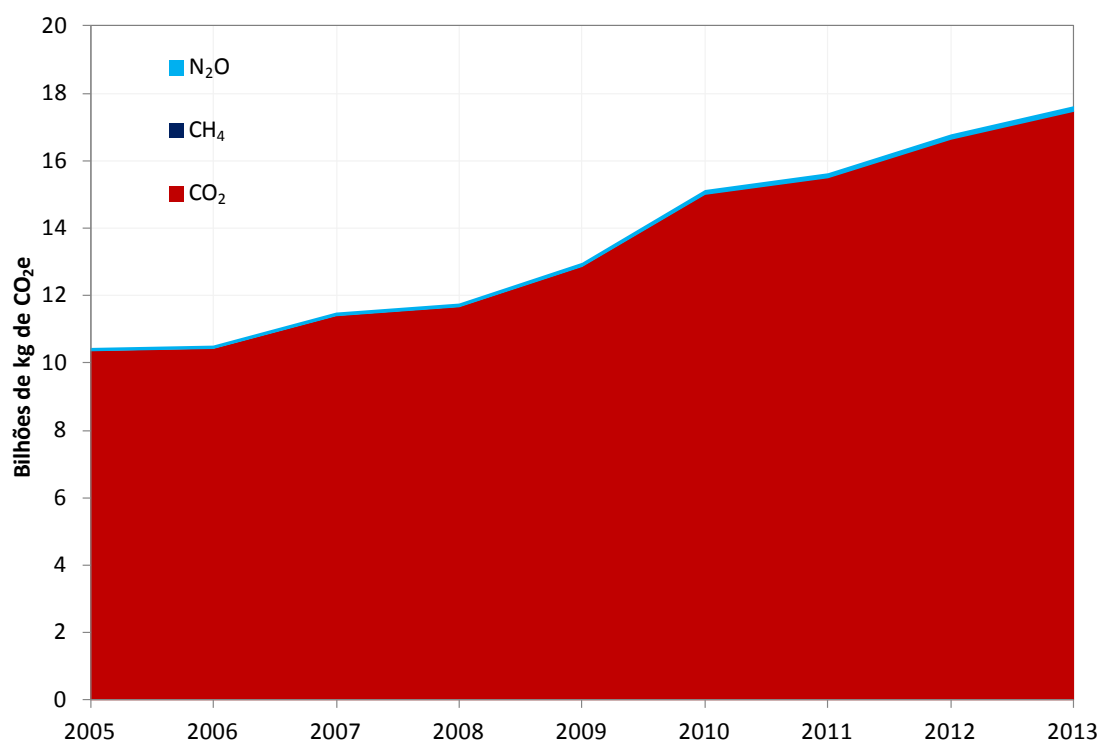


Gráfico 31: Emissões de CO₂e por tipo de gás

Uma vez que as estimativas de emissões de CO₂e levam em conta as emissões provenientes da fase cruzeiro de voo, a participação das movimentações internacionais aumenta de forma expressiva se comparada à sua importância nas emissões dos poluentes locais (emissões que só contabilizam o ciclo LTO e o uso das APU's). Das emissões em 2013, 60% foram geradas em movimentações domésticas, contra 40% de movimentações internacionais. O Gráfico 32 ilustra a evolução das emissões por tipo de movimentação.

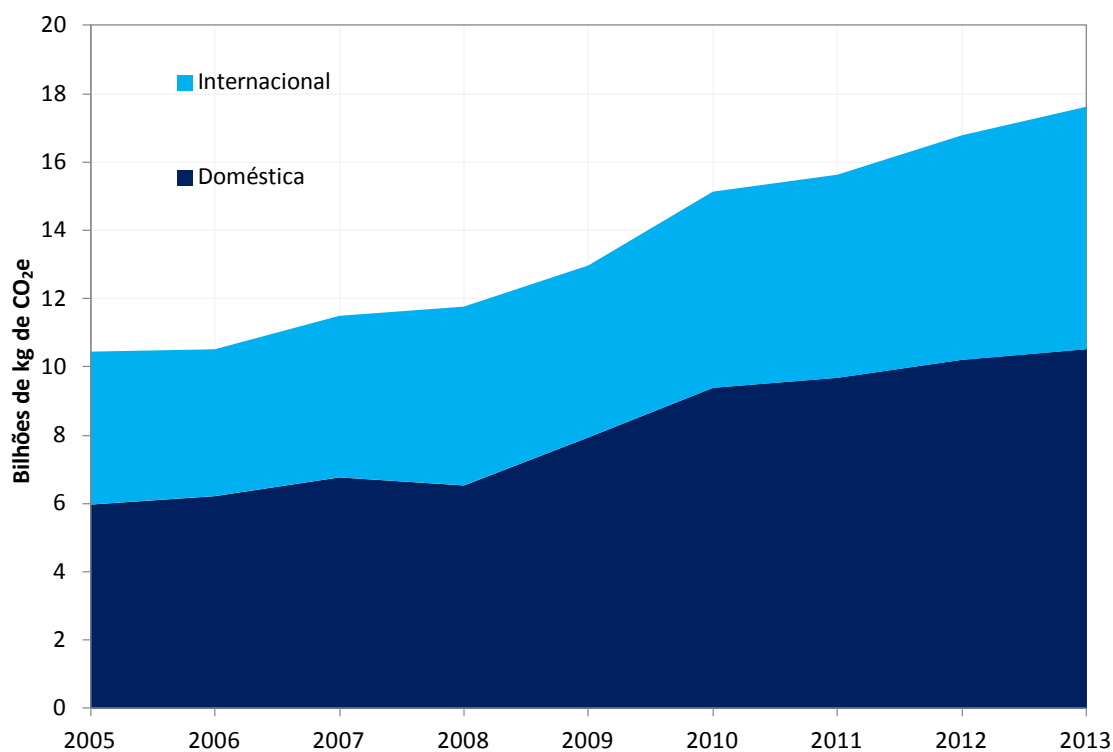


Gráfico 32: Emissões de CO₂e por tipo de movimentação

Conforme discutido na seção 1.2.2 do inventário, foram feitas estimativas das emissões de gases de efeito estufa direto tanto a partir de dados nacionais agregados de consumo (metodologia *top-down*, *Tier 1*), quanto a partir do cálculo das emissões geradas em cada uma das movimentações (metodologia *bottom-up*, *Tier 3A*).

O Gráfico 33 apresenta a evolução dessas emissões, de 2000 até 2012 para o *Tier 1* e entre 2005 e 2013 para o *Tier 3A*. As curvas apresentadas revelam que as emissões a partir da metodologia mais sofisticada possuem tendência similar àquela gerada pelas estimativas mais simples, reforçando a qualidade das estimativas. Diferenças mais significativas podem ser percebidas quanto às emissões distribuídas entre os tipos de movimentação, possível reflexo de critérios distintos para alocar as movimentações e o consumo de combustível entre movimentações domésticas e internacionais.

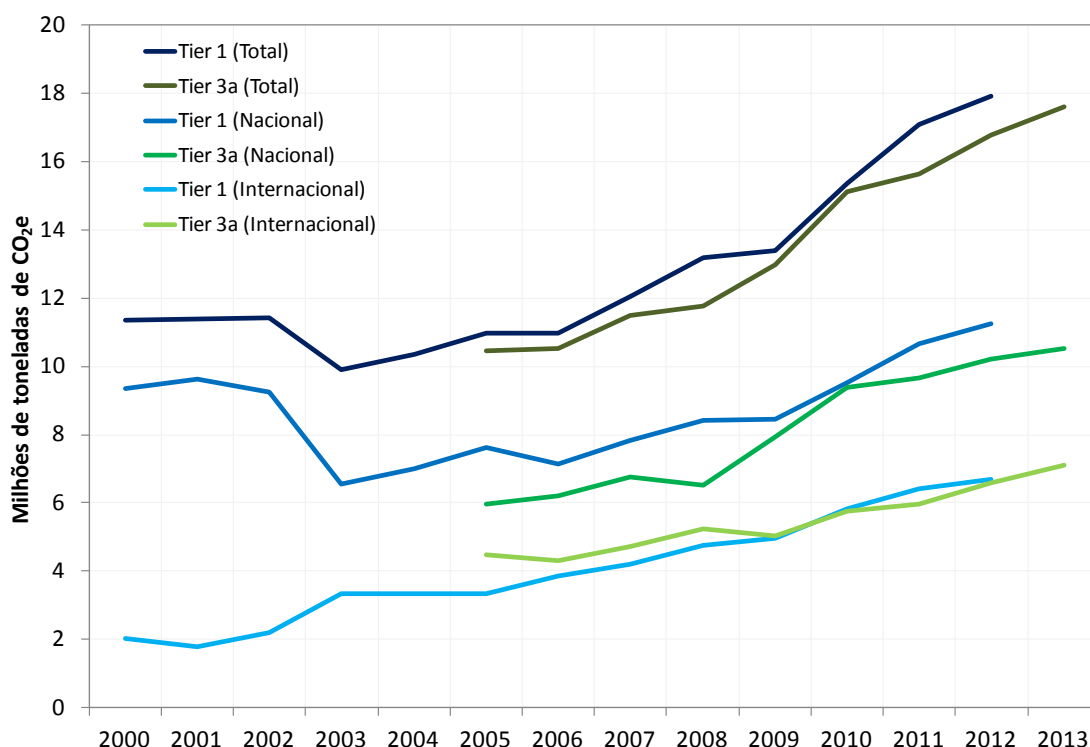


Gráfico 33: Comparação entre as estimativas de emissões de CO₂e pelas metodologias *Tier 1* e *Tier 3A*

A metodologia *Tier 1* é capaz de estimar não só as emissões provenientes na queima da QAv como também da AvGas (gasolina de aviação). A Tabela 13 e a Tabela 14 apresentam as emissões de GEE de forma detalhada de acordo com o tipo de movimentação, com o combustível utilizado, com a metodologia das estimativas e com o gás emitido.

Cabe ressaltar as diferenças significativas entre as emissões de CH₄ estimadas a partir de cada metodologia. Isso decorre da utilização de um fator de emissão que leva em consideração a fração de combustível queimado que efetivamente emite CH₄ no método *Tier 1*. Como descrito na seção 4.1, considera-se que apenas 10% do combustível é consumido em condições nas quais há emissão desse gás, porém, conforme estimado pelo método *Tier 3A*, essa porcentagem é, aproximadamente, 4%. Dessa forma, é possível considerar que as emissões de CH₄ pela metodologia *tier 1* estejam superestimadas. Essa diferença é acentuada nas emissões provenientes de movimentações internacionais, dada que a fase cruzeiro de voo (na qual não há emissão de metano) ganha importância na participação do consumo de combustível, devido as grandes distâncias percorridas.

A Tabela 15 resume as emissões de CO₂e estimadas através dessa metodologia e as compara com as estimadas pela metodologia *Tier 3A*. A partir dos dados apresentados, é nítida a participação majoritária da QAv nas emissões, resultado do baixo consumo de AvGas na aviação civil brasileira.

Tabela 13: Emissões de gases de efeito estufa por movimentações domésticas em kt

Combustível	Querosene de Aviação								Gasolina de Aviação			
Metodologia	Tier 1				Tier 3A				Tier 1			
Ano	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e
2000	9.351	0,065	0,26	9.434	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	170	0,0012	0,0049	172
2001	9.624	0,067	0,27	9.709	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	166	0,0012	0,0047	167
2002	9.255	0,065	0,26	9.337	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	123	0,0009	0,0035	124
2003	6.568	0,046	0,18	6.626	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	139	0,0010	0,0040	140
2004	7.020	0,049	0,20	7.082	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	136	0,0010	0,0039	138
2005	7.644	0,053	0,21	7.711	5.910	0,028	0,16	5.960	124	0,0009	0,0035	125
2006	7.129	0,050	0,20	7.192	6.156	0,029	0,17	6.208	158	0,0011	0,0045	160
2007	7.838	0,055	0,22	7.907	6.699	0,031	0,18	6.756	163	0,0012	0,0046	162
2008	8.415	0,059	0,24	8.489	6.466	0,029	0,17	6.521	136	0,0010	0,0039	138
2009	8.465	0,059	0,24	8.539	7.862	0,035	0,21	7.929	136	0,0010	0,0039	138
2010	9.543	0,067	0,27	9.627	9.299	0,040	0,25	9.378	156	0,0011	0,0044	157
2011	10.684	0,075	0,30	10.778	9.589	0,041	0,26	9.670	157	0,0011	0,0045	159
2012	11.261	0,079	0,31	11.360	10.111	0,043	0,27	10.197	171	0,0012	0,0049	172
2013	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	10.419	0,044	0,28	10.508	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.

n.e.: não estimado

Tabela 14: Emissões de gases de efeito estufa por movimentações internacionais em kt

Combustível	Querosene de Aviação							
Metodologia	Tier 1				Tier 3A			
Ano	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e
2000	2.022	0,014	0,06	2.040	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
2001	1.776	0,012	0,05	1.791	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
2002	2.191	0,015	0,06	2.211	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
2003	3.337	0,023	0,09	3.366	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
2004	3.337	0,023	0,09	3.366	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
2005	3.337	0,023	0,09	3.366	4.440	0,005	0,12	4.479
2006	3.858	0,027	0,11	3.892	4.263	0,004	0,12	4.300
2007	4.199	0,029	0,12	4.236	4.692	0,005	0,13	4.733
2008	4.772	0,033	0,13	4.814	5.192	0,005	0,14	5.237
2009	4.951	0,035	0,14	4.995	4.993	0,005	0,14	5.036
2010	5.836	0,041	0,16	5.888	5.698	0,006	0,16	5.748
2011	6.432	0,045	0,18	6.488	5.901	0,006	0,16	5.953
2012	6.683	0,047	0,19	6.742	6.523	0,007	0,18	6.580
2013	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	7.045	0,007	0,20	7.106

n.e.: não estimado

Tabela 15: Emissões de CO₂ e estimadas pelas metodologias *Tier 1* e *Tier 3A* por combustível

Ano	Querosene de Aviação (<i>Tier 1</i>) kt	Gasolina de Aviação (<i>Tier 1</i>) kt	Total (<i>Tier 1</i>) kt	Total (<i>Tier 3A</i>) kt
2000	11.473	172	11.645	n.e.
2001	11.500	167	11.667	n.e.
2002	11.547	124	11.672	n.e.
2003	9.992	140	10.132	n.e.
2004	10.448	138	10.586	n.e.
2005	11.078	125	11.203	10.439
2006	11.084	160	11.244	10.508
2007	12.143	164	12.307	11.488
2008	13.303	138	13.441	11.757
2009	13.535	138	13.672	12.964
2010	15.515	157	15.672	15.125
2011	17.266	159	17.425	15.622
2012	18.102	172	18.274	16.776
2013	n.e.	n.e.	n.e.	17.613

n.e.: não estimado

6 Considerações finais

Esse inventário apresentou, salvo algumas poucas exceções, resultados consistentes que podem vir a subsidiar ações relacionadas à gestão da qualidade do ar e a mitigação de emissões de gases de efeito estufa, no tocante ao impacto das emissões atmosféricas da aviação civil.

Em se tratando de estudos locais voltados à qualidade do ar, o inventário pode servir como valioso insumo, uma vez que provê uma base de informações contendo as estimativas de emissões por aeródromo, adequando-se às escalas municipal, metropolitana e estadual. Vale notar que as emissões nos aeródromos devem ser tomadas em conjunto com as de outras fontes emissoras no seu entorno, destacando-se principalmente as fontes do transporte rodoviário, mas também as fontes fixas. Além disso, sabe-se que a movimentação das aeronaves e as próprias condições de posição geográfica e construtivas de aeroportos, como uma estrutura espacial relativamente ampla e um entorno imediato geralmente pouco adensado, apresentam efeitos bastante particulares que favorecem a circulação atmosférica e consequentemente a dispersão de poluentes.

Quanto aos temas de energia e clima, este instrumento pode ser de utilidade para o planejamento energético, que tem como marcos principais os Planos Decenais de Energia (PDE) e os planos de longo prazo (Plano Nacional de Energia – PNE); e os compromissos brasileiros na Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, contribuindo, por exemplo, com o Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa.

Esse estudo possibilitou também refletir quanto a futuros trabalhos relacionados às emissões do transporte aéreo:

Um primeiro aspecto corresponderia à associação das informações aqui tratadas com dados de movimentação e capacidade de passageiros. Tais inclusões possibilitariam investigações acerca da intensidade de emissões em função da demanda de passageiros (emissões por RPK) ou da oferta (emissões por ASK) no transporte aéreo. Tais elaborações poderiam contribuir para avaliações de eficiência do setor, bem como para exercícios de comparação com outros modais.

Outro aspecto refere-se à variável de **distância efetiva** percorrida por voo. Aqui, foi estimada a partir do cálculo aproximado da distância direta entre os aeródromos de origem e destino, acrescidos de certa quantidade adicional de distância. Tal formulação impossibilita análises relacionadas à eficiência e à gestão aeroviária ao não considerar os fixos de navegação e as rotas realmente utilizadas no país. Aprimorar tal informação, possivelmente a partir do levantamento das distâncias reais de voo entre os aeródromos, seria interessante para reduzir incertezas nas estimativas de emissões e consumo de combustível, bem como para possibilitar as investigações mais pormenorizadas.

Por último, cabe ressaltar a importância das atualizações de todas as bases de dados utilizadas neste trabalho, como as de emissão por motores, modelos de aeronave, tempos por fase e por aeródromo e modelos de APU.

7 Referências Bibliográficas

- ACRP, 2012. AIRPORT COOPERATIVE RESEARCH PROGRAM (ACRP): Report 64 – Handbook for Evaluating Emissions and Costs of APUs and Alternative Systems, Transportation Research Board, Washington, D.C. 86p.
- ANAC, 2012. AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). Anuário Estatístico do Transporte Aéreo de 2012. 188p.
- ANP, 2013. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Dados Estatísticos Mensais, disponível em <http://www.anp.gov.br/?dw=11031> (Acessado em nov/2013)
- ANTT, 2012. AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas de Transporte Ferroviário de Cargas. 53p.
- DECEA, 2014. DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO. BIMTRA – Banco Informações do Movimento de Tráfego Aéreo, 2005 – 2013, acessível à ANAC através do Termo de Cooperação Específico Nº002/DECEA-ANAC/2008.
- EASA, 2013. EUROPEAN AVIATION SAFETY AGENCY - ICAO Emissions Databank updated april/2013, disponível em <http://easa.europa.eu/environment/edb/aircraft-engine-emissions.php>
- EMEP/CORINAIR 2013. EUROPEAN MONITORING AND EVALUATION PROGRAMME. Emission Inventory Guidebook 2013, disponível em <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>
- EUROCONTROL, 2003. ATM Flight Efficiency and its Impact on the environment - 2002 Study, July 2003. 71p.
- FAA & EPA, 2009. FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION & US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Recommended Best Practice for Quantifying Speciated Organic Gas Emissions From Aircraft Equipped With Turbofan, Turbojet and Turboprop Engines (2009), 19p.
- FOI, 2013. SWEDISH DEFENSE RESEARCH AGENCY. Base de dados de emissões de motores Turbo-hélice. Comunicação pessoal.
- IPCC, 1996. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Revised 1996 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, UK Meteorological Office, Bracknell
- IPCC, 1999. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Aviation and the global Atmosphere. 373p.
- IPCC, 2000. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2000 Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 2 – ENERGY. 95p.
- IPCC, 2006. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2 Energy, Chapter 3 Mobile Combustion. 78p.
- MCT, 2004. MINISTÉRIO DA CIENCIA E TECNOLOGIA. 1ª Comunicação Nacional à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.
- MCT, 2010. MINISTÉRIO DA CIENCIA E TECNOLOGIA. 2ª Comunicação Nacional à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. 2V.
- MMA, 2011. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários. 111p.
- MMA, 2014. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013 ano base 2012. 114p.
- MME, 2013. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Balanço Energético Nacional 2013, Ano Base 2012.
- OACI, 2010. ORGANIZAÇÃO DA AVIAÇÃO CIVIL INTERNACIONAL. ICAO Annex 16 “International standards and

recommended practices, Environmental protection”, Volume II “Aircraft engine emissions”. Disponível em http://www.caa.govt.nz/ICAO/ICAO_Compliance.htm

OACI, 2011. ORGANIZAÇÃO DA AVIAÇÃO CIVIL INTERNACIONAL. Doc 9889 Airport Air Quality Manual – First Edition – 2011. 200p.

Anexo 1 – Análise de Incertezas

A completude da estimativa de emissões na metodologia *Tier 3A* depende, em primeiro lugar, da representatividade da base de dados de movimentações utilizada e, em segundo lugar, da disponibilidade de fatores de emissão para todas as fases de voo consideradas na metodologia.

Quanto às movimentações, foi identificada uma lacuna de informação na base de dados disponível, extraída a partir do BIMTRA: as movimentações em 2008 apresentaram-se significativamente sub-representadas. O Gráfico 34 apresenta a evolução histórica do número de decolagens, no qual se pode observar o comportamento anômalo nesse ano, principalmente para o Aeroporto de Congonhas (São Paulo, SP).

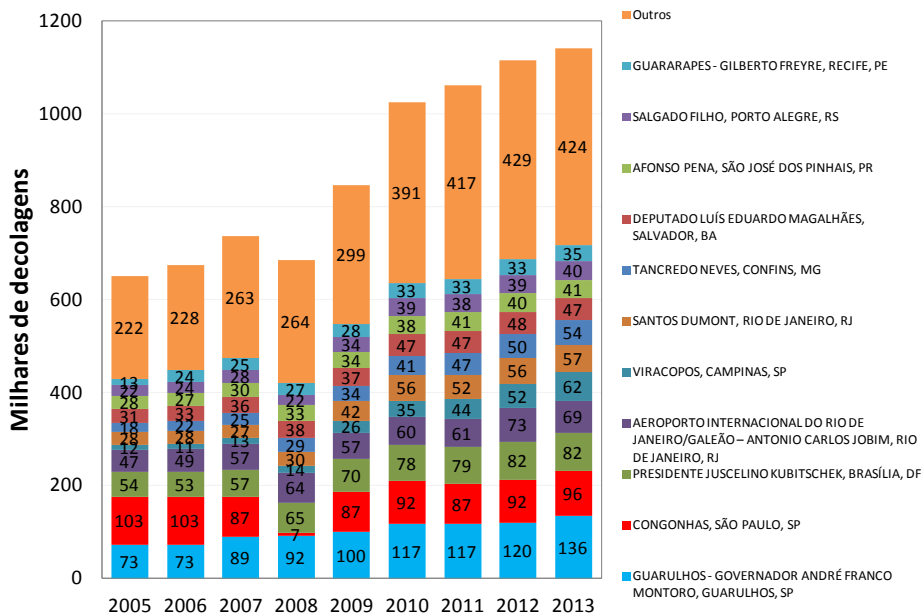


Gráfico 34: Evolução do número de decolagens por aeródromo

Tabela 16: Percentual de voos da base de movimentações contabilizados nos cálculos de emissões

Ano	Percentual das movimentações com emissões calculadas	
	Cruzeiro	LTO
2005	98,6%	100,0%
2006	98,7%	100,0%
2007	98,7%	100,0%
2008	98,7%	100,0%
2009	98,8%	100,0%
2010	98,8%	100,0%
2011	99,0%	100,0%
2012	99,1%	100,0%
2013	99,1%	100,0%

Quanto aos fatores de emissão, a Tabela 16 acima mostra que a totalidade das emissões na fase LTO, dos voos que constam na base de movimentações extraídas do BIMTRA, pôde ser estimada. Isto demonstra que todas as aeronaves obtiveram sucesso no procedimento de cruzamento dos códigos OACI com os códigos de motores que, por sua vez, permitiram o cruzamento dos fatores de emissão na *Emissions Databank*.

O mesmo sucesso foi obtido no cruzamento dos códigos OACI de aeronaves com as famílias de aeronaves CORINAIR para cálculo de emissões em cruzeiro. No entanto, para essa fase, nem todos os voos tiveram suas emissões estimadas, o que se dá exclusivamente em decorrência dos movimentos com origem e destino no mesmo aeródromo. Nesses casos o algoritmo calcula a distância voada como nula, zerando consequentemente o consumo e as emissões em fase de cruzeiro. Isto, entretanto, poderia ser considerado desprezível em termos de emissões na fase cruzeiro, uma vez que as emissões nesta fase são determinadas primordialmente pela distância voada e considerando-se que voos com origem e destino no mesmo aeródromo são relativamente bastante curtos em comparação com voos convencionais.

Alguns modelos de aeronave têm o APU como dispositivo opcional, assim como alguns aeroportos disponibilizam unidades de potência de solo, os GPUs (*Ground Power Unit*). A proporção em que tais aeronaves dispõem do dispositivo, assim como a utilização de GPUs nos aeroportos, não foram levadas em consideração, de modo que foram desconsideradas tanto as emissões das APUs opcionais quanto a redução de potência nos regimes das aeronaves quando conectadas a GPUs.

Por fim, alguns outros pontos menores relacionados à incerteza na estimativa de emissões merecem ser destacados:

- A inexistência de um modelo globalmente aceito para estimar as emissões de helicópteros automaticamente exclui a possibilidade de se calcular o consumo de combustível e das emissões deste tipo de aeronave. Apesar de os motores que impulsionam os helicópteros terem uma tração nominal não muito elevada e, por conseguinte, não se esperar que os fatores de emissão sejam tão elevados, a grande quantidade destes equipamentos na frota brasileira deve levar a uma participação não desprezível no total das emissões e consumo de QAv.
- No momento, por falta de informação, ainda não é possível considerar variações nos regimes de operação dos motores por aeroporto que porventura estejam sendo aplicadas pelas companhias aéreas, como *de-rating* dos motores ou taxi com um motor só. Tais variações podem ter impacto significativo nas emissões em ciclo LTO, diminuindo o total de emissões abaixo de 3000 pés.
- Alguns dados de tempo de taxi médio em aeroportos nacionais sem operação comercial são estimados. Um melhor conhecimento destes tempos pode ser fator importante na melhoria da precisão dos cálculos de emissões locais. Em particular, também por falta de informação disponível, não foram consideradas as emissões durante a corrida de desaceleração no pouso, quando o acionamento do reverso pode elevar o regime do motor a até 30%. Toda essa etapa foi considerada como pouso sem reverso e o regime do motor estando o tempo todo em 7%.
- Os tempos médios de parada das aeronaves nos aeroportos são estimados em 75 minutos, baseados na experiência média do setor. Esse tempo é aplicado a todas as aeronaves, ou seja, aviação regular, geral e cargueiros. Na medida em que tempos reais por aeroportos puderem ser implementados no sistema, este cálculo tende a refletir melhor a realidade da operação. A adoção por alguns aeroportos de equipamentos de alimentação elétrica e condicionamento de ar de solo deverá permitir ainda futuras reduções nos tempos de utilização das APUs o que possivelmente impactará positivamente as emissões desse tipo de motor e o total de emissões em ciclo LTO.

Anexo 2 – Emissões nos aeródromos de maior movimentação em 2013

Tabela 17: Emissões dos aeródromos de maior movimentação em 2013

Cód. OACI	Aeroporto	Movi- mentos	CO (ton)		NO _x (ton)		COV (ton)		SO ₂ (ton)	
			LTO	APU	LTO	APU	LTO	APU	LTO	APU
SBGR	GUARULHOS - GOVERNADOR ANDRÉ FRANCO MONTORO, GUARULHOS, SP	135.511	1.000	81	2.055	94	114	9	97	-
SBSP	CONGONHAS, SÃO PAULO, SP	95.565	405	74	859	79	46	8	50	-
SBBR	PRESIDENTE JUSCELINO KUBITSCHEK, BRASÍLIA, DF	82.339	508	62	787	66	51	6	50	-
SBGL	AEROPORTO INTERNACIONAL DO RIO DE JANEIRO/ GALEÃO – ANTONIO CARLOS JOBIM, RIO DE JANEIRO, RJ	69.475	504	47	912	53	57	5	48	-
SBKP	VIRACOPOS, CAMPINAS, SP	62.032	461	24	436	22	59	2	28	-
SBRJ	SANTOS DUMONT, RIO DE JANEIRO, RJ	57.197	260	42	493	43	30	4	29	-
SBCF	TANCREDO NEVES, CONFINS, MG	54.127	311	38	477	37	34	4	29	-
SBSV	DEPUTADO LUÍS EDUARDO MAGALHÃES, SALVADOR, BA	46.682	205	31	425	34	22	3	24	-
SBCT	AFONSO PENA, SÃO JOSÉ DOS PINHAIS, PR	40.555	188	28	351	29	21	3	20	-
SBPA	SALGADO FILHO, PORTO ALEGRE, RS	39.674	180	26	331	26	20	3	19	-
SBRF	GUARARAPES - GILBERTO FREYRE, RECIFE, PE	34.823	156	24	321	26	17	2	18	-
SBFZ	PINTO MARTINS, FORTALEZA, CE	28.442	123	22	283	23	11	2	16	-
SBBE	INTERNACIONAL DE BELÉM/VAL DE CANS/JÚLIO CEZAR RIBEIRO, BELÉM, PA	24.427	78	14	169	15	8	2	10	-
SBEG	EDUARDO GOMES, MANAUS, AM	24.332	95	10	182	13	14	1	10	-
SBGO	SANTA GENOVEVA/ GOIÂNIA, GOIÂNIA, GO	21.607	74	11	122	11	11	1	8	-
SBFL	HERCÍLIO LUZ, FLORIANÓPOLIS, SC	20.882	90	15	175	16	9	2	11	-

SBCY	MARECHAL RONDON, VÁRZEA GRANDE, MT	20.822	72	10	119	9	8	1	7	-
SBVT	EURICO DE AGUIAR SALLES, VITÓRIA, ES	17.898	77	13	145	13	8	1	8	-
SBBH	PAMPULHA - CARLOS DRUMMOND DE ANDRADE, BELO HORIZONTE, MG	11.954	21	0	17	0	4	0	1	-
SBSL	MARECHAL CUNHA MACHADO, SÃO LUÍS, MA	10.409	38	8	90	8	4	1	5	-
SBNT	AUGUSTO SEVERO, PARNAMIRIM, RN	10.091	37	8	93	8	3	1	5	-
SBCG	CAMPO GRANDE, CAMPO GRANDE, MS	10.085	44	6	71	6	6	1	4	-
SBMO	ZUMBI DOS PALMARES, RIO LARGO, AL	9.664	32	7	82	7	3	1	4	-
SBRP	LEITE LOPES, RIBEIRÃO PRETO, SP	8.962	14	2	29	2	2	0	2	-
SBFI	CATARATAS, FOZ DO IGUAÇU, PR	8.189	27	6	65	6	3	1	4	-
SBUL	TENENTE-CORONEL AVIADOR CÉSAR BOMBONATO, UBERLÂNDIA, MG	8.141	21	4	42	4	3	0	3	-
SBAR	SANTA MARIA, ARACAJU, SE	7.836	25	5	56	5	2	0	3	-
SBLO	GOVERNADOR JOSÉ RICHIA, LONDRINA, PR	7.515	19	4	45	4	2	0	3	-
SBPV	GOVERNADOR JORGE TEIXEIRA DE OLIVEIRA, PORTO VELHO, RO	6.791	24	4	41	4	3	0	3	-
SBNF	MINISTRO VICTOR KONDER, NAVEGANTES, SC	6.785	29	5	47	5	4	1	3	-

Anexo 3 - Emissões em aeroportos selecionados

Tabela 18: Evolução das emissões nos aeroportos de Congonhas e Guarulhos

Aeroporto	Código OACI	SBSP				SBGR			
	Nome	CONGONHAS				GUARULHOS - GOVERNADOR ANDRÉ FRANCO MONTORO			
	Cidade	SÃO PAULO				GUARULHOS			
	Estado	SP				SP			
Poluente		CO	COV	NO _x	SO ₂	CO	COV	NO _x	SO ₂
2005	LTO (kg)	503.945	48.190	747.915	49.086	845.355	220.269	1.212.928	61.491
	APU (kg)	69.946	7.343	73.942	Não calculado	31.476	3.431	50.000	Não calculado
2006	LTO (kg)	502.808	47.543	778.095	50.518	758.349	184.556	1.116.144	57.563
	APU (kg)	70.934	7.444	74.895	Não calculado	34.971	3.764	49.851	Não calculado
2007	LTO (kg)	429.276	36.481	697.897	45.290	760.223	137.244	1.277.120	65.345
	APU (kg)	69.377	7.305	73.557	Não calculado	45.668	4.879	60.029	Não calculado
2008	LTO (kg)	129.734	10.628	165.632	14.971	714.786	101.477	1.402.892	68.384
	APU (kg)	62.052	6.599	65.383	Não calculado	49.247	5.265	63.461	Não calculado
2009	LTO (kg)	387.207	39.496	714.084	44.165	741.967	87.871	1.543.706	73.860
	APU (kg)	64.900	6.824	68.799	Não calculado	57.120	6.053	69.398	Não calculado
2010	LTO (kg)	402.630	43.513	770.243	46.805	856.370	101.301	1.697.934	82.944
	APU (kg)	69.149	7.277	73.379	Não calculado	67.032	7.087	80.092	Não calculado
2011	LTO (kg)	379.495	42.032	754.659	45.179	833.897	94.135	1.672.147	81.227
	APU (kg)	66.722	7.030	70.978	Não calculado	67.152	7.088	78.179	Não calculado
2012	LTO (kg)	398.273	44.754	801.513	47.850	853.904	94.020	1.775.968	85.724
	APU (kg)	71.250	7.516	75.991	Não calculado	74.530	7.900	87.436	Não calculado
2013	LTO (kg)	405.496	45.932	859.134	50.236	1.000.338	114.456	2.055.400	97.138
	APU (kg)	73.652	7.770	78.580	Não calculado	81.289	8.576	94.422	Não calculado

Tabela 19: Evolução das emissões nos aeroportos do Rio de Janeiro

Aeroporto	Código OACI	SBRJ				SBGL			
	Nome	SANTOS DUMONT				AEROPORTO INTERNACIONAL DO RIO DE JANEIRO/GALEÃO – ANTONIO CARLOS JOBIM			
	Cidade	RIO DE JANEIRO				RIO DE JANEIRO			
	Estado	RJ				RJ			
Poluente		CO	COV	NO _x	SO ₂	CO	COV	NO _x	SO ₂
2005	LTO (kg)	117.305	13.780	196.634	12.524	526.568	106.294	601.107	37.347
	APU (kg)	20.301	2.136	21.523	Não calculado	33.577	3.610	45.637	Não calculado
2006	LTO (kg)	114.834	12.087	191.441	12.270	503.479	102.167	578.591	36.812
	APU (kg)	19.586	2.057	20.697	Não calculado	36.056	3.825	44.429	Não calculado
2007	LTO (kg)	107.025	12.269	170.377	10.945	487.649	70.503	675.301	41.263
	APU (kg)	16.673	1.749	17.578	Não calculado	43.402	4.604	51.767	Não calculado
2008	LTO (kg)	89.267	11.314	161.171	9.124	474.682	54.247	778.146	45.348
	APU (kg)	3.170	303	3.251	Não calculado	46.082	4.903	54.977	Não calculado
2009	LTO (kg)	184.991	19.871	289.526	18.761	412.701	45.729	730.301	41.027
	APU (kg)	29.168	3.018	29.756	Não calculado	43.646	4.642	50.961	Não calculado
2010	LTO (kg)	246.541	25.261	417.055	26.021	431.001	51.096	762.605	42.353
	APU (kg)	39.685	4.107	40.496	Não calculado	43.601	4.637	50.941	Não calculado
2011	LTO (kg)	228.357	24.111	404.257	24.586	423.897	46.993	761.231	42.188
	APU (kg)	36.985	3.833	37.846	Não calculado	43.996	4.654	49.949	Não calculado
2012	LTO (kg)	250.290	27.711	460.941	27.413	527.757	57.675	930.575	50.131
	APU (kg)	40.482	4.197	41.489	Não calculado	48.815	5.137	54.653	Não calculado
2013	LTO (kg)	259.855	29.594	492.739	28.638	503.562	57.334	911.504	48.300
	APU (kg)	41.799	4.321	42.532	Não calculado	46.675	4.922	52.588	Não calculado

Anexo 4 - Grupos de compostos orgânicos

A elaboração das estimativas de emissões de compostos orgânicos neste inventário teve por base o **Recommended Best Practice for Quantifying Speciated Organic Gas Emissions From Aircraft Equipped With Turbofan, Turbojet and Turboprop Engines (EPA, 2009)**, documento produzido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. Nele, são apresentados os diagramas da Figura 4 que indicam as substâncias presentes em cada grupo de compostos orgânicos.

Esse documento traz também os fatores de conversão entre cada um desses grupos de compostos orgânicos, explicitados na Tabela 20.

Figura 4: Grupos de compostos orgânicos

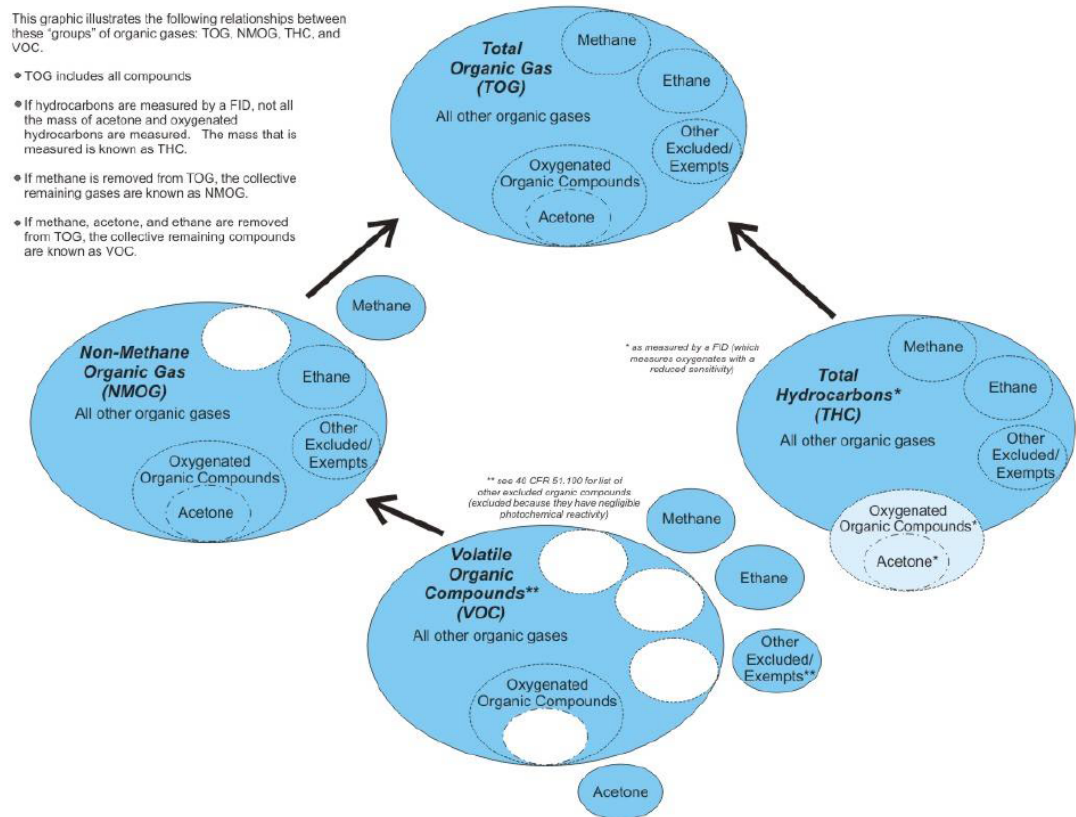


Tabela 20: Fatores de conversão entre os grupos de compostos orgânicos

Grupos	THC para TOG	COV para TOG	THC para NMOG	THC para VOC	NMOG para TOG	TOG para VOC	TOG para NMOG
Fator de conversão	1,16	1,01	1,16	1,15	1,00	0,99	1,00

Anexo 5 – Comparação entre critérios de classificação de voos: IPCC 2006 e IPCC 2000

De acordo com o 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, a classificação de movimentações, em voos domésticos e internacionais, apenas leva em consideração as localizações dos aeródromos de origem e destino, como é apresentado na Tabela 21 abaixo:

Tabela 21: Classificação de etapas de voos, adaptada de IPCC, 2006

Critérios para definição de aviação doméstica ou internacional (aplicados a cada etapa de voo com mais de um LTO) - IPCC 2006		
Jornada entre dois aeródromos	Doméstico	Internacional
Decola e pouso no mesmo país	Sim	Não
Decola em um país e pouso em outro	Não	Sim

Por sua vez, o guia publicado pelo IPCC em 2000, *IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories* sugere uma classificação que leva em consideração também os embarques e desembarques de passageiros ou carga. A tabela de critérios apresentada no documento é reproduzida na Tabela 22 a seguir:

Tabela 22: Classificação de etapas de voos, adaptada de IPCC, 2000

Critérios para definição de aviação doméstica ou internacional - IPCC 2000			
Jornada entre dois aeródromos		Doméstico	Internacional
a	Decola e pouso no mesmo país	Sim	Não
b	Decola em um país e pouso em outro	Não	Sim
c	Decola de um país, pouso no mesmo país sem embarcar ou desembarcar passageiros ou carga, e parte novamente para outro país	Não	Sim
d	Decola de um país, pouso no mesmo país, embarca e desembarca passageiros ou carga, e parte novamente para outro país	Etapas doméstica	Etapas internacionais
e	Decola de um país, pouso no mesmo país, apenas embarca mais passageiros ou carga, e parte novamente para outro país	Não	Sim
f	Decola de um país com destino a outro, faz um pouso intermediário no país de destino onde não embarca passageiros ou carga	Não	Ambas as etapas internacionais

Vale lembrar que as companhias aéreas estrangeiras operando voos de ou para o Brasil não podem, por força dos acordos em vigor, executar operações que caracterizem etapas domésticas, no sentido de que

não haja embarques ou desembarques não-internacionais. Deste modo, o voo do tipo (d) apresentado na Tabela 22 não é aplicável no nosso caso.

A Tabela 23 a seguir compara os números de movimentações anuais resultantes da aplicação dos dois conjuntos de critérios:

Critérios IPCC 2000				Critérios IPCC 2006			
Ano	Voos domésticos	Voos internacionais	Total	Ano	Voos Domésticos	Voos Internacionais	Total
2005	601.112	50.196	651.308	2005	608.913	42.395	651.308
2006	625.070	50.809	675.879	2006	632.152	43.727	675.879
2007	680.171	57.368	737.539	2007	687.294	50.245	737.539
2008	627.886	57.955	685.841	2008	633.951	51.890	685.841
2009	790.275	57.175	847.450	2009	796.971	50.479	847.450
2010	961.987	64.392	1.026.379	2010	968.810	57.569	1.026.379
2011	996.165	66.358	1.062.523	2011	1.002.322	60.201	1.062.523
2012	1.046.603	69.645	1.116.248	2012	1.051.666	64.582	1.116.248
2013	1.069.270	72.620	1.141.890	2013	1.074.595	67.295	1.141.890

Tabela 23: Número de movimentações anuais conforme critérios IPCC 2000 e IPCC 2006

Nos gráficos 35 e 36 a seguir é possível avaliar a diferença percentual entre os a aplicação dos dois conjuntos de critérios nas movimentações domésticas e internacionais.

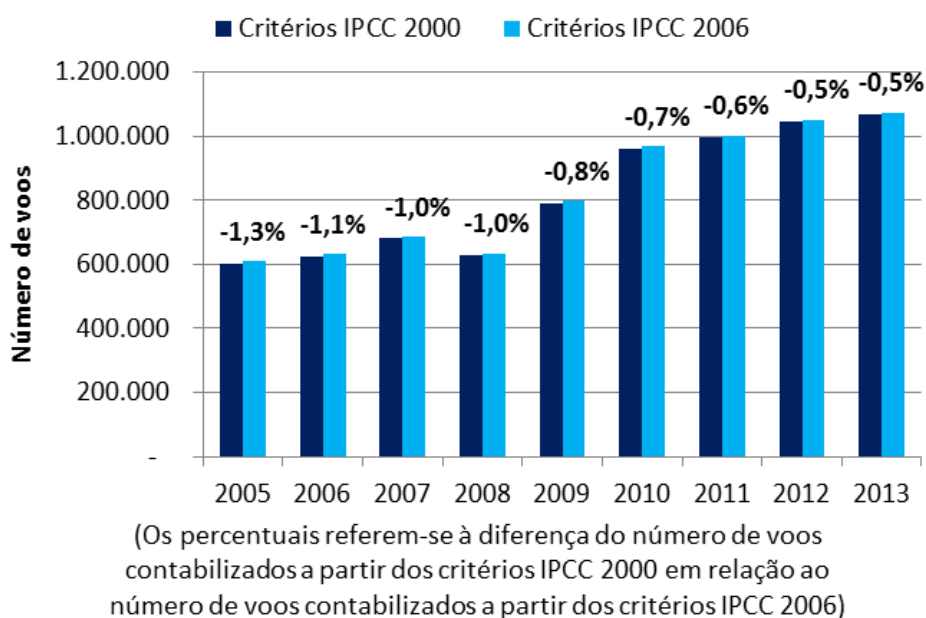


Gráfico 35: Variação no número de voos domésticos na alteração de critérios de classificação

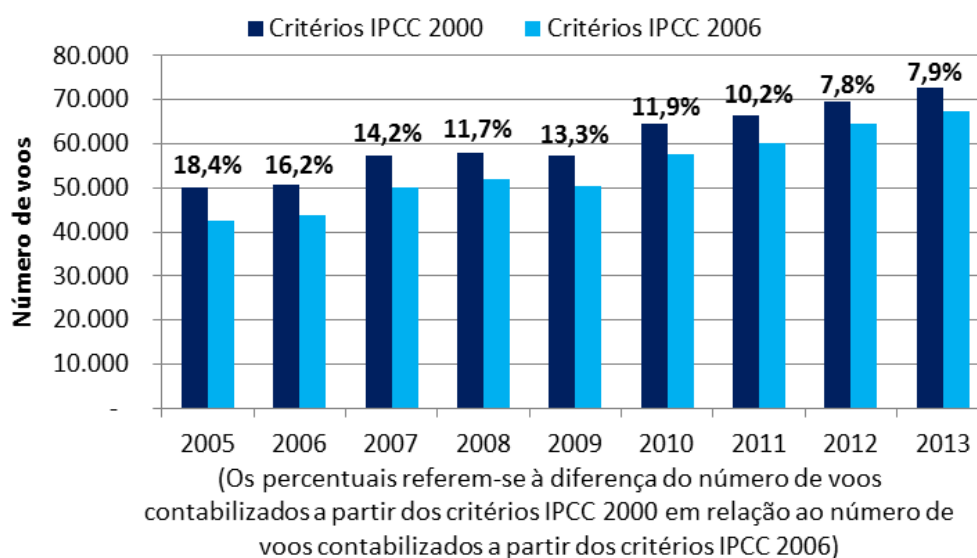


Gráfico 36: Variação nos voos internacionais na alteração de critérios de classificação

O reflexo dessas variações, em termos de consumo de QAv, são apresentados na Tabela 24 e nos gráficos 37 e 38 a seguir:

Tabela 24: Consumo de QAv, em kg, de acordo com os critérios IPCC 2000 e IPCC 2006

Critérios IPCC 2000			Critérios IPCC 2006		
Ano	Voos Domésticos	Voos Internacionais	Ano	Voos Domésticos	Voos Internacionais
2005	1.838.256.523	1.447.594.864	2005	1.876.187.451	1.409.663.936
2006	1.921.367.824	1.386.283.499	2006	1.954.185.669	1.353.465.653
2007	2.094.693.101	1.521.465.723	2007	2.126.655.269	1.489.503.554
2008	2.024.694.018	1.676.066.496	2008	2.052.510.416	1.648.250.098
2009	2.469.909.162	1.610.926.104	2009	2.495.750.235	1.585.085.030
2010	2.926.674.087	1.834.235.907	2010	2.951.952.052	1.808.957.942
2011	3.022.148.781	1.895.327.104	2011	3.044.008.522	1.873.467.363
2012	3.187.813.313	2.092.787.440	2012	3.209.764.126	2.070.836.627
2013	3.287.512.268	2.256.680.581	2013	3.307.599.821	2.236.593.028

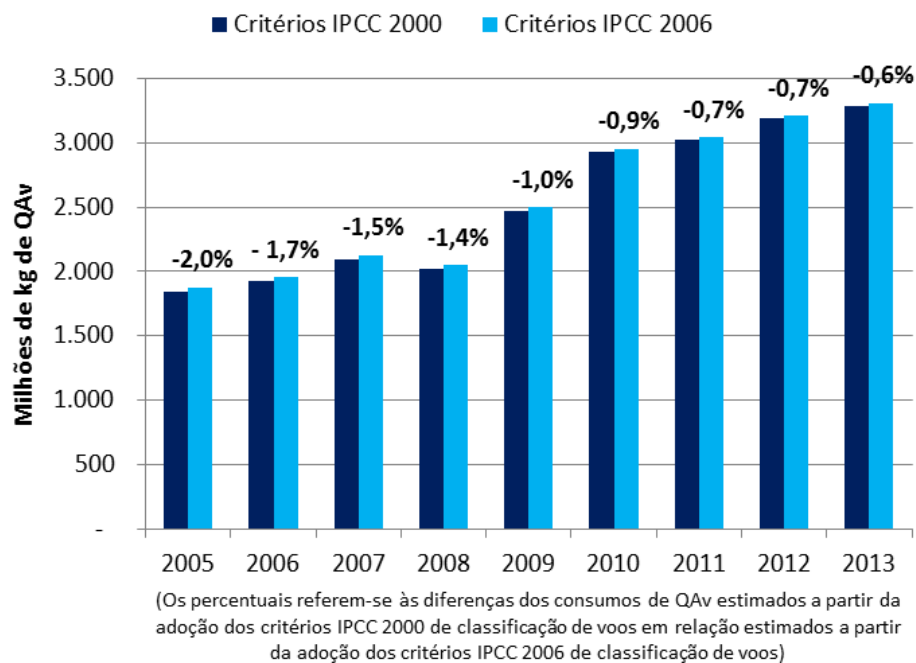


Gráfico 37: Comparação do consumo de QAv em voos domésticos sob a aplicação de diferentes critérios de classificação de voos

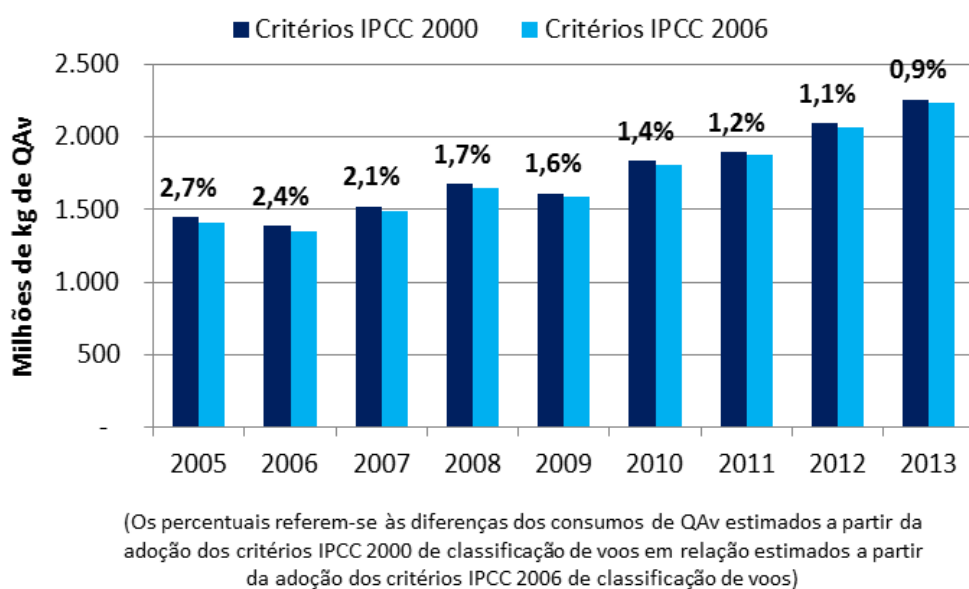


Gráfico 38: Comparação do consumo de QAv em voos internacionais sob a aplicação de diferentes critérios de classificação de voos

Apesar do número de movimentos internacionais aumentar consideravelmente ao se aplicar os critérios do IPCC 2000, em comparação com os critérios IPCC 2006, conclui-se que a mudança de critérios pouco interfere na contabilização do QAv consumido. Isso ocorre pois as etapas de voos adicionais contabilizadas como internacionais na aplicação dos critérios do IPCC 2000 são relativamente mais curtas em relação às etapas que envolvem aeródromos fora do país.

Além do mais, como o número de movimentos domésticos é aproximadamente 15 vezes superior aos internacionais, sob a aplicação de qualquer um dos dois conjuntos de critérios, o impacto causado pela alteração de critérios, tanto no número de movimentos quanto no consumo de combustível, se mostra pouco significativo. A tendência histórica de aumento mais veloz no número de movimentações domésticas em relação a internacionais reforça a redução das diferenças de resultados, ano a ano. Vide o caso do consumo de combustível em voos internacionais, que partiu de uma diferença relativa de 2,7% em 2005 para 0,9% em 2013.



**instituto de energia
e meio ambiente™**



ANAC

AGÊNCIA NACIONAL
DE AVIAÇÃO CIVIL