

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS- DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA

**NATÁLIA FABIANA CANTUÁRIA DA SILVA**

IMPACTOS DAS EMISSÕES PELAS AERONAVES NO AEROPORTO SANTOS  
DUMONT DURANTE A PANDEMIA POR COVID-19.

Rio de Janeiro  
2022

IMPACTOS DAS EMISSÕES PELAS AERONAVES NO AEROPORTO SANTOS  
DUMONT DURANTE A PANDEMIA POR COVID-19.

Natalia Fabiana Cantuaria da Silva

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Meteorologia do Instituto de Geociências do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PPGM-IGEO-CCMN-UFRJ), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências (área: Meteorologia).

Orientador: *PhD.* Gutemberg Borges França

Co orientador: D.Sc. Luiz Francisco Pires Guimarães Maia

Rio de Janeiro  
Outubro de 2022

IMPACTOS DAS EMISSÕES PELAS AERONAVES NO AEROPORTO SANTOS  
DUMONT DURANTE A PANDEMIA POR COVID-19.

Natalia Fabiana Cantuaria da Silva

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DO CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (PPGM-IGEO-CCMN-UFRJ) COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS (ÁREA METEOROLOGIA).

Orientadores: Prof. Gutemberg Borges França

Prof. Luiz Francisco Pires Guimarães Maia

Examinada por:

---

Prof. Luiz Cláudio Gomes Pimentel (Membro Interno - Titular), D.Sc.

---

Prof. Leonardo de Faria Peres (Membro Interno - Titular), D.Sc.

---

Prof. Manoel Valdonel de Almeida (Membro Externo - Suplente), D.Sc.

---

Prof<sup>a</sup>. Célia Maria Paiva (Membro Interno – Suplente) D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ- BRASIL  
OUTUBRO DE 2022

Ao meu querido filho, **Aian**, que me ensinou a ser paciente, persistente e humana para enfrentar as adversidades da vida.

Ao meu tio, **José Cantuária**, e as minhas primas, **Jade** e **Mariana**, que me fortaleceram diariamente durante essa jornada.

A minha irmã **Marina**, uma das minhas maiores incentivadoras e exemplo de dedicação e comprometimento.

A minha amiga **Eduarda Torga** e a sua família que sempre me acolheram quando estive no Rio de Janeiro. Além de todo o apoio e carinho dedicados a mim e ao meu filho.

Serei eternamente grata por tudo.

## AGRADECIMENTOS

Diversas pessoas colaboraram, direta ou indiretamente, de forma desinteressada, na elaboração deste trabalho. Cumpre-me, portanto, expressar minha imensa gratidão a estes colaboradores abaixo relacionados:

Ao Professor Gutemberg França, meu orientador, pela paciência, sabedoria e dedicação com que me orientou, possibilitando mais uma conquista em minha vida.

Ao Professor Luiz Maia, por estar presente nesta etapa de crescimento pessoal e profissional, também me orientando, auxiliando e contribuindo com a sua preciosa sabedoria. Obrigada professor por ter acreditado no meu potencial e não ter desistido de mim.

Aos amigos adquiridos no PPGM, especialmente, Grisel Arenillas, pela amizade sincera e pelo incentivo e apoio nos momentos difíceis de realização deste trabalho.

Aos amigos adquiridos durante a fase de pesquisa, especialmente, Leonardo Lotsch, que colaborou diretamente na fase de levantamento de dados para esta dissertação.

A Universidade Federal do Rio de Janeiro e à CAPES, nas autoridades que as representam, por tornar possível a realização dessa conquista.

A todos, que não foram citados em nomes, mas estão em meu coração, meus sinceros agradecimentos.

Natália Fabiana Cantuária da Silva

# **IMPACTOS DAS EMISSÕES PELAS AERONAVES NO AEROPORTO SANTOS DUMONT DURANTE A PANDEMIA POR COVID-19.**

Natália Fabiana Cantuária da Silva

Outubro/2022

Orientador: Prof. Gutemberg Borges França, PhD.

Coorientador: Prof. Luiz Francisco Pires Guimarães Maia, Dr.

Programa: Pós-Graduação em Meteorologia (PPGM)

Palavras-chave: Emissões aeroportuárias, Ciclo LTO>, Monóxido de Carbono.

## **RESUMO**

A importância de um estudo de emissões aeroportuárias diz respeito, sobretudo, ao contexto local, pois afeta mais diretamente a qualidade do ar interna e na vizinhança dessa estrutura. A abordagem adotada foi avaliar as emissões de poluentes no Ciclo LTO de Pouso e Decolagem (Landing Take-off), para as aeronaves que operaram no aeroporto Santos Dumont (SDU), na Cidade do Rio de Janeiro, no período 2019-2021, que incluiu o ano crítico de Pandemia COVID-19. Foram levantados e tratados os dados da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) referentes às movimentações de aeronaves no período de interesse. Estes serviram de base às estimativas de emissões, estabelecidas por consulta às bases da Agência Ambiental Europeia (EEA) e da Organização de Aviação Civil Internacional (ICAO). Foram calculados os totais de emissões dos poluentes monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NOx) e material particulado (MP), em cada modo e na totalidade do Ciclo LTO, para cada modelo de equipamento. Os resultados evidenciaram uma significativa redução de movimentos de aeronaves e consequente redução de emissões em 2020, principalmente quando da ocorrência da primeira onda de COVID-19 no Brasil. Mas ficou evidenciado nesse período as elevadas taxas de emissões de CO, no modo de taxiamento e espera das aeronaves, revelando um risco potencial para a saúde dos trabalhadores do próprio aeroporto e instituições militares e civis vizinhas ao mesmo. Com o retorno à normalidade e as evidências reveladas, recomendou-se a implementação de plano de gestão da qualidade do ar aeroportuária.

# **IMPACTS OF AIRCRAFT EMISSIONS AT SANTOS DUMONT AIRPORT DURING THE COVID-19 PANDEMIC.**

Natália Fabiana Cantuária da Silva

October/2022

Advisor: Gutemberg Borges França, PhD

Co-Advisor: Luiz Francisco Pires Guimarães Maia, Dr.

Program: Graduate in Meteorology

Keywords: Airport Emissions, LTO> Cycle, Carbon Monoxide.

## **ABSTRACT**

The importance of a study of airport emissions concerns, above all, the local context, as it more directly affects the air quality inside and in the vicinity of that structure. The approach adopted was to evaluate pollutant emissions in the LTO Landing Take-off Cycle, for aircraft operating at Santos Dumont Airport (SDU), in the City of Rio de Janeiro, in the period 2019-2021, which included the critical year of the COVID-19 Pandemic. Data from the National Civil Aviation Agency (ANAC) referring to aircraft movements in the period of interest were collected and processed. These served as the basis for emission estimates, established by consulting the bases of the European Environmental Agency (EEA) and the International Civil Aviation Organization (ICAO). The total emissions of pollutants carbon monoxide (CO), hydrocarbons (HC), nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) and particulate matter (PM) were calculated in each mode and in the entire LTO Cycle, for each equipment model. The results showed a significant reduction in aircraft movements and consequent reduction in emissions in 2020, especially when the first wave of COVID-19 occurred in Brazil. However, in this period, the high rates of CO emissions were evident in the taxiing and waiting mode of aircraft, revealing a potential risk to the health of workers at the airport itself and neighboring military and civilian institutions. With the return to normality and the evidence revealed, the implementation of an airport air quality management plan was recommended.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Vista aérea do Aeroporto Santos Dumont. ....	13
Figura 2 Carta de Aeródromo do SBRJ.....	13
Figura 3 Bacia Aérea da RMRJ.....	14
Figura 4 1ª predominância dos ventos em SBRJ, no período de 2001-2010. ....	19
Figura 5 2ª predominância dos ventos em SBRJ, no período de 2001-2010. ....	20
Figura 6 Temperatura do ar em SBRJ, no período de 2001-2010.....	21
Figura 7 Pressão atmosférica em SBRJ, no período de 2001-2010.....	22
Figura 8 Precipitação pluviométrica em SBRJ no período de 2001-2010 .....	22
Figura 9 Principais Aeroportos do Rio de Janeiro.....	24
Figura 10 Esquema Longitudinal de uma Turbina a Gás.....	28
Figura 11 Ciclo LTO e seus modos operacionais .....	31
Figura 12 Totais de movimentos anuais, por tipo de aviação em SBRJ, no período 2019-2021.....	39
Figura 13 Movimentos Médios totais, por dia de semana- fim de semana, em SBRJ .....	40
Figura 14 Médias diárias (por dia de semana) de movimentos em SBRJ, no período 2019-2021. ....	40
Figura 15 Movimentos Médios, por hora e dia de semana- fim de semana em SBRJ, em 2019.....	41
Figura 16 Movimentos Médios, por hora e dia de semana- fim de semana em SBRJ, em 2020.....	42
Figura 17 Movimentos Médios, por hora e dia de semana- fim de semana em SBRJ, em 2021.....	42
Figura 18 Movimentações totais (Ciclo LTO) de aeronaves em SBRJ, em 2021.....	43
Figura 19 Movimentações totais (Ciclo LTO) por tipo de equipamento em SBRJ, no período 2019-2021. ....	44
Figura 20 Totais de emissões de CO, HC, NOx e MP, para o equipamento A20N .....	46
Figura 21 Totais de emissões de CO, HC, NOx e MP, para o equipamento A318.....	47
Figura 22 Totais de emissões de CO, HC, NOx e MP, para o equipamento A319. ....	47
Figura 23 Totais de emissões de CO, HC, NOx e MP, para o equipamento A320. ....	48
Figura 24 Totais de emissões de CO, HC, NOx e MP, para o equipamento AT72.....	48
Figura 25 Totais de emissões de CO, HC, NOx e MP, para o equipamento AT76. ....	49
Figura 26 Totais de emissões de CO, HC, NOx e MP, para o equipamento B38M. ....	49
Figura 27 Totais de emissões de CO, HC, NOx e MP, para o equipamento B737.....	50
Figura 28 Totais de emissões de CO, HC, NOx e MP, para o equipamento B738 .....	50
Figura 29 Totais de emissões de CO, HC, NOx e MP, para o equipamento C208.....	51
Figura 30 Totais de emissões de CO, HC, NOx e MP, para o equipamento E190.....	51
Figura 31 Totais de emissões de CO, HC, NOx e MP, para o equipamento E195. ....	52
Figura 32 Totais de emissões de CO, HC, NOx e MP, no Ciclo LTO em SBRJ.....	52
Figura 33 Emissões totais anuais de CO no Ciclo LTO, por equipamento em SBRJ.....	53
Figura 34 Emissões totais anuais de HC no Ciclo LTO, por equipamento em SBRJ.....	54
Figura 35 Emissões totais anuais de NOx no Ciclo LTO, por equipamento em SBRJ.....	54
Figura 36 Emissões totais anuais de MP no Ciclo LTO, por equipamento em SBRJ.....	55

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Tempos básicos nos modos do Ciclo LTO. ....3**Erro! Indicador não definido.**



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACI	Conselho Internacional de Aeroportos ( <i>Airports Council International</i> )
ADAEDAM	Método Avançado para Cálculo de Emissões de Aeronaves ( <i>Advanced Aircraft Emission Calculation Method</i> )
AEF	Federação Ambiental para a Aviação ( <i>Aviation Environment Federation</i> )
AGE	Equipamentos Aeroespaciais em Solo ( <i>Aerospace Ground Equipment</i> )
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
APU	Unidade Auxiliar de Energia ( <i>Auxiliary Power Unit</i> )
ATR	Avião de Transporte Regional ( <i>Avions de Transport Régional</i> )
ATZ	Zona de Tráfego de Aeródromo
BC	Fuligem Preta de Carbono ( <i>Black Carbon</i> )
BCA	Boletim do Comando da Aeronáutica
BOAC	British Overseas Airways Corporation
CCMSA	Centro Cultural do Ministério da Saúde
CGNA	Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea
CLA	Camada Limite Atmosférica
CO	Monóxido de Carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
COMAER	Comando da Aeronáutica
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
EASA	European Union Aviation Safety Agency
EEA	Agência Ambiental Europeia ( <i>European Environment Agency</i> )
EMBRAER	Empresa Brasileira de Aeronáutica
EPA	Agência de Proteção Ambiental ( <i>Environmental Protection Agency</i> )
ESPII	Emergência de Saúde Pública de Importância Internacional
FAA	Administração da Aviação Federal ( <i>Federal Aviation Administration</i> )
FAB	Força Aérea Brasileira
FE	Fatores de Emissão
FEEMA	Fundação Estadual de Engenharia e Meio Ambiente
FOCA	Escritório Federal de Aviação Civil ( <i>Federal Office of Civil Aviation</i> )
GAV	Veículos de Acesso em Solo ( <i>Ground Access Vehicle</i> )
GEE	Gás do Efeito Estufa
GPS	Sistema de Posicionamento Global ( <i>Global Positioning System</i> )
GSE	Equipamentos de Apoio em Solo ( <i>Ground Support Equipment</i> )
HAP	Poluentes Atmosféricos Perigosos ( <i>Hazardous Air Pollutants</i> )
HC	Hidrocarbonetos
hPa	Hectopascal
IATA	Associação do Transporte Aéreo Internacional ( <i>International Air Transport Association</i> )
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICA	Instrução do Comando da Aeronáutica
ICAO	Organização Internacional de Aviação Civil ( <i>International Civil Aviation Organization</i> )

ICEA	Instituto de Controle do Espaço Aéreo
IEA	Agência Energética Internacional ( <i>International Energy Agency</i> )
IFR	Regras de Voo por Instrumento ( <i>Instrumental Flight Rules</i> )
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infraestrutura
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas ( <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> )
ISA	Atmosfera Padrão Internacional ( <i>International Standard Atmosphere</i> )
ITA	Instituto Tecnológico de Aeronáutica
LTO	Pouso e Decolagem ( <i>Landing &amp; Take-Off</i> )
LRTAP	Air Pollutant Emission Data Viewer
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MP	Material Particulado
NOAA	Administração Nacional Oceânica e Atmosférica ( <i>National Oceanic &amp; Atmospheric Administration</i> )
NOx	Óxido de Nitrogênio
OACI	Organização de Aviação Civil Internacional
OAT	Temperatura do Ar Externo ( <i>Outside Air Temperature</i> )
OMM	Organização Meteorológica Mundial
OMS	Organização Mundial da Saúde
ON	Observatório Nacional
PBN	Navegação Baseada em Performance ( <i>Performance – Based Navigation</i> )
PETROBRAS	Petróleo Brasileiro S.A.
PM	Material Particulado ( <i>Particulate Matter</i> )
PMD	Peso Máximo de Decolagem
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PPM	Parte por Milhão
RMRJ	Região Metropolitana do Rio de Janeiro
RPL	Plano de Voo Repetitivo ( <i>Repetitive Flight Plan</i> )
RJ	Rio de Janeiro
SBRJ	Aeroporto do Rio de Janeiro- Santos Dumont
SDU	Aeroporto do Rio de Janeiro- Santos Dumont
SI	Sistema Internacional
SMAC	Secretaria Municipal do Meio Ambiente
SO2	Dióxido de Enxofre
SP	São Paulo
SVOC	Composto Orgânico Semi-Volátil ( <i>Semivolatile Organic Compound</i> )
TIM	Tempo no Modo ( <i>Time-in-Mode</i> )
TGL	Touch-and-Go Landing (Toque e Arremetida)
UFP	Ultra Fine Particles
VRA	Voo Regular Ativo
WHO	Organização Mundial da Saúde ( <i>World Health Organization</i> )

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 A AVIAÇÃO E O MEIO AMBIENTE .....</b>	<b>5</b>
<b>1.2 A PANDEMIA COVID-19 .....</b>	<b>7</b>
<b>1.3 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA .....</b>	<b>9</b>
<b>1.4 OBJETIVOS .....</b>	<b>10</b>
<b>1.4.1 GERAL .....</b>	<b>10</b>
<b>1.4.2 ESPECÍFICO .....</b>	<b>10</b>
<b>1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO .....</b>	<b>10</b>
<b>2. ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1 LOCALIZAÇÃO AEROPORTUÁRIA .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2 CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.1 TIPOS DE AVIAÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.2 MOVIMENTAÇÕES.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.3 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3 QUALIDADE DO AR .....</b>	<b>23</b>
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1 EMISSÕES ATMOSFÉRICAS .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1.1 AEROPÓRTOS .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1.2 AERONÁVES .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1.3 CICLO DE POUSO E DECOLAGEM .....</b>	<b>30</b>
<b>3.2 IMPACTOS AMBIENTAIS.....</b>	<b>33</b>
<b>3.2.3 IMPACTOS LOCAIS .....</b>	<b>33</b>
<b>3.2.4 IMPACTOS GLOBAIS.....</b>	<b>34</b>
<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>35</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>38</b>
<b>5.1 MOVIMENTOS DE AERONAVES .....</b>	<b>38</b>

<b>5.2 EMISSÕES DO CICLO LTO .....</b>	<b>46</b>
<b>6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>55</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>57</b>
<b>Apêndice 1.....</b>	<b>75</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Observando a história, é notório a compreensão de que, praticamente, todos os povos eram intensamente afetados pela alteração do tempo e do clima, como por exemplo, as mudanças de estações, os períodos chuvosos e secos e pelo ciclo lunar, especialmente o início e o fim da lua cheia, segundo (WILLIAMS, 1983).

(BLAYNEY, 2005) avaliou que, no decorrer dos séculos, houve uma mudança significativa dos padrões de aglomerações das populações, onde as maiores cidades do passado se tornaram insignificantes em relação às grandes cidades que surgiram.

Em 1750, o mundo tinha por volta de 800 milhões de habitantes, sendo menor que a atual população da China. Daí em diante veio o drástico aumento. Por volta de 1800, a população mundial passou a de 1 bilhão de habitantes, duplicando-se nos 125 anos seguintes. Entre os anos de 1927 e 1974, o aumento populacional foi mais notável, quando dobrou para, aproximadamente, 4 bilhões de pessoas a população mundial. Nos 25 anos seguintes, outros 2 bilhões surgiram. Na década de 1990, a quantidade de pessoas, acrescentadas à população mundial, foi maior do que em toda a história, desde as origens dos humanos ao nascimento da revolução industrial, na Inglaterra (BLAYNEY, 2005).

Esse aumento desenfreado da população planetária desencadeou uma série de transformações na política, na sociedade, na economia e, principalmente, no meio ambiente. Juntamente com o crescimento populacional, a revolução industrial promoveu mudanças no uso dos recursos naturais do mundo. As grandes corporações industriais e comerciais, em busca do lucro cada vez maiores, e a ausência de políticas públicas adequadas, principalmente nos países em desenvolvimento, deterioraram o meio ambiente com os mais variados tipos de poluição. A degradação chegou a tal ponto que o equilíbrio planetário vem sofrendo a várias décadas uma crise ambiental.

Ao pensar sobre essa crise, (LEFF, 2004), afirmou que ela veio para questionar a racionalidade e os paradigmas teóricos que legitimaram e impulsionaram o crescimento econômico, negando a natureza. Essa crise se torna mais evidente a partir da década de 60, com o surgimento da ideia de consciência ambiental presente no livro “A Primavera

Silenciosa”, de Rachel Carson (1962). Em 1972, na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo a consciência era de que se vivia uma crescente crise ambiental.

A partir dos debates teóricos que se seguiram, surgiu o conceito de **eco desenvolvimento**, que se constitui numa abordagem que postula a busca de estratégias para o melhor uso possível dos recursos específicos de cada ecossistema, visando à satisfação, através de uma grande variedade de meios e tecnologias apropriadas, das necessidades das populações interessadas (SACHS, 1982).

Para (LEFF, 2004), as propostas do eco desenvolvimento são apresentadas em um momento em que as teorias da dependência, da desigualdade e da acumulação de capital orientam o planejamento do desenvolvimento econômico mundial. (SACHS, 1982) vai contra esta orientação ao propor uma tomada de consciência ecológica que se traduziria em economia em longo prazo, pois reservar o equilíbrio ecológico seria garantir as condições de desenvolvimento das gerações futuras.

Esse contexto de discussões sobre temas voltados para o meio ambiente resultou, em 1984), na criação da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), que tinha por objetivo avaliar os avanços dos processos de degradação ambiental e a eficácia das políticas ambientais em enfrentá-los. Após três anos de estudo, a Comissão publicou suas conclusões em um documento intitulado “Nosso futuro comum” (CMMAD, 1988), também conhecido como relatório Brundtland. Esse relatório foi apresentado em 1987 e propôs ações humanas baseadas no princípio do desenvolvimento sustentável, que seria “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas necessidades” (CMMAD, 1988). O relatório consolida uma visão crítica do modelo atual de desenvolvimento do planeta, ressaltando a incompatibilidade entre os padrões de produção e consumo e o uso racional dos recursos naturais e a capacidade de suportes dos ecossistemas, ou seja, o documento aponta para a promoção de ações que induzam à sustentabilidade.

Para (RIBEIRO, 2004), a sustentabilidade supõe a habilidade para perdurar no tempo e evitar o colapso de civilizações, sociedades e organizações, tornando-as

capazes de conservar-se. Gradativamente, a noção de sustentabilidade ampliou-se para abranger as dimensões ecológicas, ambiental, demográfica, cultural, social, política e institucional, dentre outras.

Portanto, o discurso da sustentabilidade chegou a afirmar o propósito e a possibilidade de conseguir um crescimento econômico amparado por meio dos mecanismos do mercado, sem justificar sua capacidade de internalizar as condições de sustentabilidade ecológica nem de resolver a tradução dos diversos processos que constituem o ambiente (tempos ecológicos de produtividade e regeneração da natureza, valores culturais e humanos, critérios qualitativos que definem a qualidade de vida) em valores e medições de mercado (LEFF, 2004).

Nesse contexto, o relatório Brutland ofereceu uma perspectiva renovada à temática ambiental com base em seus preceitos convocaram-se os chefes de Estado do planeta para a Conferência das Nações Unidas do Rio de Janeiro (Conferência Rio 92), em junho de 1992. Nesta conferência foi elaborado e aprovado um programa global, conhecido como Agenda 21, que regulamentava o processo de desenvolvimento com base nos princípios da sustentabilidade.

A Agenda 21 é um plano de ação a ser adotado global, nacional e localmente, por organizações do sistema das Nações Unidas, governos e pela sociedade civil, em todas as áreas em que a ação humana impacta o meio ambiente. Constitui-se na mais abrangente tentativa já realizada de orientar o desenvolvimento da humanidade para um novo padrão no século XXI, onde o alicerce é a sinergia da sustentabilidade ambiental, social e econômica, perpassando em todas as suas ações propostas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), dos recursos hídricos e da Amazônia Legal. Com isso, a Agenda 21 resume uma evidente preocupação planetária com o meio ambiente, e mesmo assim, atualmente, as nações enfrentam uma série de problemas ambientais, em escala global, que afetam diretamente o cotidiano de milhares de pessoas.

Neste sentido, a Agenda 21 levanta uma reflexão a respeito da importância do planejamento ambiental. Para (SACHS, 1986), a tarefa do planejamento deve consistir em harmonizar interesses socioeconômicos, ecológicos e culturais, definindo uma estratégia de eco desenvolvimento que consiga um equilíbrio entre dois princípios éticos

complementares e intimamente ligados: a sociedade crônica com todos os homens da nossa geração, em geral e individualmente, e a solidariedade diacrônica com as gerações futuras.

(HAYEK, 1973) mencionou a presente crise como as escolhas feitas pela humanidade nos séculos XIX e XX. Estas escolhas desrespeitaram funções ambientais importantes à homeostase da Terra. Neste sentido, é possível identificar três tipos básicos de comportamento no homem, quando se relaciona com o meio ambiente (FARIA, 2004):

- I. Ele constrói ecossistemas artificiais (agrícolas e florestais, por exemplo);
- II. Ele tende a concentrar-se espacialmente (em ecossistemas que vão do simples assentamento ao centro urbano-industrial), o que o obriga a “retirar” ar puro, água, alimento e matéria-prima do campo à sua volta, devolvendo imissões, dejetos, ruídos, tráfego etc., que ultrapassam os limites do campo e vão atingir ecossistemas muito mais importantes; e
- III. Ele tem preferência pela característica ecossistêmica da diversidade (natural ou artificial), expressa no jardim de sua casa, praças, parque, por exemplo.

Observando o item dois, citado por (FARIA, 2004), nota-se que a concentração humana em centros urbanos impacta de maneira mais incisiva o meio ambiente, ou seja, nas áreas urbano-industriais a crise torna-se mais evidente, pois estas áreas representam a mais profunda modificação humana da superfície da Terra, da atmosfera e do ecossistema terrestre. Ao contrário dos efeitos da atividade agrícola, os efeitos humanos são altamente intensivos e localizados (DREW, 2002).

Nas cidades, os fluxos de energia e de massa estão concentrados, ou seja, as mudanças climáticas são mais evidentes na curta camada de ar que recobre uma cidade, os recursos hídricos mais potencialmente afetados e a poluição sonora intensificada em seus impactos e efeitos.

Todos os aspectos ambientais são modificados pela industrialização e urbanização, nos quais a natureza e a extensa degradação, estão diretamente relacionadas com as características topográficas, da tipologia das fontes de poluentes, da quantidade de

emissão que afeta a região e das condições meteorológicas. Pode-se acrescentar a poluição do ar, que atualmente constitui um problema ambiental em diversos lugares do mundo e a poluição sonora que já é considerado um dos maiores impactantes da vida moderna (DREW, 2002).

## **1.1 A AVIAÇÃO E O MEIO AMBIENTE**

A contaminação atmosférica é um problema geral para todas as nações do mundo. O rápido crescimento urbano e industrial teve como resultado a emissão para a atmosfera de enormes quantidades de produtos residuais potencialmente nocivos.

Um poluente uma vez emitido para a atmosfera, pode sofrer um processo de remoção física ou uma transformação química gerando uma substância inerte ou outro poluente com características físico-químicas bem diferentes do inicial.

O conhecimento da qualidade do ar é fundamentalmente importante no desenvolvimento e operação dos programas de controle de poluição do ar.

Normalmente a própria atmosfera exerce o efeito de dispersão do poluente, misturando-o eficientemente num grande volume de ar, o que contribui para que a poluição do ar tenda a permanecer em níveis aceitáveis. A capacidade de dispersão atmosférica depende, ainda, da topografia e das condições meteorológicas.

Com o crescimento populacional e tecnológico a aviação comercial começou a operar em larga escala e começaram, então, os primeiros problemas ambientais, associados principalmente aos elevados níveis de ruídos seguindo-se das emissões de poluentes pelos motores das aeronaves e seus impactos nas áreas vizinhas aos aeroportos.

Por conta disso, na década de 70 a Organização de Aviação Civil Internacional (OACI) implementou procedimentos de medições e padrões de emissões específicos para os poluentes: hidrocarbonetos (HC), monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (NOx) até 3.000 pés de altura em relação ao aeroporto de destino/partida. Ao mesmo tempo, a indústria aeronáutica começou a trabalhar no sentido de maximizar a eficiência

das aeronaves a partir de melhor tecnologia e implementação de métodos operacionais, resultando em significativa redução das emissões (ICAO, 2004).

A partir da Rio 92, as questões relativas às mudanças climáticas passaram a merecer destaque mundial. A OACI passou a receber a valiosa assistência do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas 21 (conhecido internacionalmente como IPCC, do inglês “Intergovernmental Panel on Climate Change”), criado, em 1988, pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente 22 (PNUMA), com o objetivo de compilar as informações científicas, tecnológicas e socioeconômicas necessárias para o entendimento dos riscos de mudanças climáticas induzidas pelas atividades humanas. O transporte aéreo se tornou um dos setores da economia que mais cresceu nas últimas décadas.

O transporte aéreo mundial tem seguido uma tendência crescente há várias décadas, com condições para triplicar ao longo dos anos (NETO E SOUZA, 2011). A Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA) (REF. IATA, XXX) previu que haverá 7,8 bilhões de passageiros aéreos em 2036, assumindo uma taxa média de crescimento anual de 3,6%.

Em virtude dessa demanda, os aeroportos brasileiros apresentaram uma expansão recorde nas operações, em especial, devido às obras realizadas para a Copa do Mundo de Futebol em 2014 e nos Jogos Olímpicos e Paraolímpicos em 2016 na cidade do Rio de Janeiro. Nos últimos anos, os aeroportos que atendem as capitais brasileiras tornaram-se capazes de acomodar, por ano, mais de 70 milhões de passageiros, o equivalente a seis vezes a população de São Paulo, que representa a maior cidade do país. (SAC, 2014).

Os impactos locais da aviação ocorrem, sobretudo, nas áreas internas e vizinhas aos aeroportos, por conta das emissões das aeronaves, durante as operações de pouso, taxiamento-espera e decolagem, e das operações aeroportuárias, que incluem os veículos especiais de apoio e de serviços, entre outras fontes. Os principais impactos regionais são associados à formação de ozônio (O<sub>3</sub>) e à chuva ácida.

O Brasil, como país signatário da OACI, adota os procedimentos recomendados por esta Instituição para controle dos impactos ambientais globais e locais produzidos pelo transporte aéreo.

Em vários aeroportos do mundo há uma crescente preocupação quanto a proteção da saúde do pessoal que trabalha em seus pátios, onde as aeronaves operam, sobretudo aqueles de grande movimentação de aeronaves, como é o caso do aeroporto Santos Dumont, na cidade do Rio de Janeiro, que em 2021, mesmo em ano de Pandemia e operações na ponte aérea RJ-SP reduzidas, conseguiu fechar o ano com 6,67 milhões de passageiros transportados, sendo o 7º mais movimentado do país e o 5º no ranking nacional de operações naquele ano.

Na gestão da qualidade do ar, são enfocados os poluentes considerados como responsáveis pelos efeitos mais adversos à saúde e ao meio ambiente. Para aferir o grau de exposição do setor humano submetido à poluição do ar, a Resolução CONAMA nº 003, de 28 de junho de 1990, estabeleceu os Padrões de Qualidade do Ar, que são as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, podem afetar a saúde, segurança e bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e a fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Em pesquisas, (LEE *et al.* 2010) mostraram como os efeitos do setor da aviação, através de emissões de poluentes oriundas de aeronaves e complementadas pela infraestrutura aeroportuária, estão impactando a saúde e o bem-estar do homem, além do próprio clima do planeta. (KURNIAWAN e KHARDI, 2011) apresentam algumas razões que mostram o grande interesse de cientistas e governantes em estudos dos efeitos globais da aviação. Dentre eles, foi constatado que o uso do combustível de aviação, e, conseqüentemente as emissões provenientes deste setor, está crescendo mais rápido do que aqueles provenientes de outros setores de geração de energia. Outro motivo é o fato de as emissões do setor aéreo estarem contribuindo na produção de ozônio na parte mais baixa da atmosfera – a troposfera, onde este gás é considerado um potente gás do efeito estufa.

## **1.2 A PANDEMIA COVID-19**

Em 31 de dezembro de 2019 a OMS foi alertada sobre uma nova cepa (tipo) de coronavírus que não havia sido identificada antes em seres humanos. Os coronavírus

estão por toda parte, eles são a segunda principal causa de resfriado comum, e até as últimas décadas, raramente causavam doenças mais graves em humanos do que o resfriado comum (Histórico da Pandemia sobre COVID-19. OMS, 2019).

Em 07 de janeiro de 2020 a OMS declarou que o surto do novo coronavírus constituiu uma Emergência de Saúde Pública de Importância Internacional (ESPII) o mais alto nível de alerta da Organização, conforme previsto no Regulamento Sanitário Internacional.

Em 11 de março de 2020, a covid-19 foi caracterizada pela OMS como uma pandemia. A covid-19 é uma doença infecciosa causada pelo vírus SARS-CoV-2. O esperado para as pessoas que adoecem era que deveriam apresentar sintomas leves a moderados e se recupera sem tratamento especial. Porém, diferentemente das outras cepas, a COVID-19 desenvolveu em uma parte dos pacientes um quadro grave de problemas respiratórios e precisaram de atendimento médico. Atualmente o Brasil ultrapassou 667 mil mortos por Covid-19 desde o início da pandemia (FIOCRUZ, MonitoraCovid-19).

Com isso, houve um bloqueio da circulação humana de forma mundial, os países incluindo o Brasil criaram medidas de restrição de circulação da sua população e de imigração. Os comércios e setores empresariais criaram novas estratégias devido aos bloqueios de circulação para que as atividades empresariais e escolares não parassem.

O sistema aéreo foi um dos setores mais afetados pela pandemia, ocorreram momentos em que todos os voos internacionais com destino ao Brasil foram interrompidos. As situações internas também foi e ainda está seguindo de forma complicada. Muitos voos cancelados onde somente um quinto dos voos domésticos ficaram em funcionamento no ano de 2020 (INFRAERO, 2021).

Diversos estudos foram realizados durante o período de crise de covid-19 com o intuito de analisar os impactos ambientais da aviação e os impactos que os combustíveis fósseis das aeronaves podem ter na emissão de poluentes no ambiente nas vizinhas aeroportuárias, mesmo com as reduções das operações e voos nos aeroportos, as cidades com elevados níveis de poluentes atmosféricos como por exemplo Guarulhos, situada na região metropolitana de São Paulo que comporta o aeroporto com maior

movimento de voos e fluxo de passageiros do país, apresentou a maior letalidade da covid-19, com taxa de 6,10%, sendo mais que o dobro registrado pelos demais municípios paulistas que obtiveram média de 2,9% de letalidade (LEIRIÃO, 2022).

Atualmente em 2022 a pandemia passou a ter maior controle, grande parte da população mundial está sendo vacinada e aos poucos tudo está voltando ao normal (escolas, bares, festas, trabalho de forma presencial etc.). Porém, muitos voos ainda seguem cancelados e o número de voos de forma reduzida.

O aeroporto Santos Dumont teve uma redução de 96% dos voos no período de março a junho de 2020 e ao longo do início da pandemia até o momento, foi um dos aeroportos nacionais mais afetados com o baixíssimo movimento tendo uma redução de 87% dos voos domésticos no decorrer dos meses (IBGE, 2021). A mudança no comportamento dos passageiros após a crise do COVID-19, as restrições de viagem e a subsequente crise econômica levaram a uma redução drástica na demanda por serviços aéreos.

### **1.3 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA**

Os aeroportos sempre se caracterizaram por serem estruturas com alto nível de interferência no meio ambiente.

Com o rápido crescimento da aviação civil, apesar da interrupção em razão da COVID-19, um sentimento de preocupação na sociedade se torna cada dia mais evidente especialmente com a interferência e os danos que podem ser causados ao meio ambiente e que cada dia mais, se torna agravado pelas crises de poluição atmosférica na vizinhança e nas áreas internas de aeroportos, como as pistas e os pátios de estacionamento e manobras de aeronaves.

Com isso, a proposta assumida neste trabalho é analisar as variações dos quantitativos de emissões das aeronaves no aeroporto Santos Dumont, nos anos de 2019, 2020 e 2021, que representam, respectivamente, o ano pré-pandemia, o ano mais crítico da pandemia e o ano seguinte, com tendência de retorno à normalidade da economia e aumento nas movimentações de passageiros e aeronaves em aeroportos.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 GERAL**

Este estudo visa avaliar as variações nos quantitativos de emissões das operações das aeronaves no aeroporto Santos Dumont no período pré-COVID, COVID e pós-COVID, sobretudo em suas movimentações em pista e pátio, e os impactos potenciais em suas áreas interna e vizinha.

### **1.4.2 ESPECÍFICO**

- Estimar as emissões de gases (monóxido de carbono - CO, hidrocarboneto - HC e óxidos de nitrogênio - NOx) e material particulado- MP emitidos pelas aeronaves em movimentações individuais e conjuntas de pouso, taxiamento-espera e decolagem.
- Avaliar, comparativamente, os totais de emissões de gases e partículas emitidos por tipo de equipamento da aviação comercial regular que operou no aeroporto Santos Dumont no período 2019-2021.
- Estimar qualitativamente os riscos de impactos na degradação da qualidade do ar no ambiente local interno, onde estruturas funcionais e de ensino se encontram presentes.
- Recomendar procedimentos de diagnóstico da qualidade do ar que possam subsidiar ações de controle ambiental e minimização de eventuais impactos na qualidade do ar.

## **1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Além deste capítulo de introdução, este trabalho contém mais cinco capítulos. O capítulo 2- O Cenário do Estudo, discorrerá sobre a localização aeroportuária, as características operacionais, tipos de aviação, as movimentações das aeronaves no

empreendimento de estudo, a parte climática onde é dito sobre a qualidade do ar no município do Rio de Janeiro.

No capítulo 3- Fundamentação Teórica, será abordado as emissões atmosféricas provenientes dos aeroportos e também das aeronaves. Além da descrição do que representa um Ciclo LTO e os impactos ambientais provenientes da aviação de uma forma local e globalmente.

O capítulo 4- Metodologia utilizada para a obtenção dos resultados conforme os objetivos propostos.

O capítulo 5- Resultados e discussão tem-se o fluxo das movimentações das aeronaves no SBRJ em forma de gráficos e tabelas e pode-se avaliar os impactos causados pelo período de isolamento e redução drásticas nas operações aeroportuárias em decorrência da pandemia da COVID-19. Neste capítulo também é apresentado as emissões dos poluentes no ciclo LTO.

No capítulo 6, são tecidas as conclusões do trabalho, relacionando os objetivos identificados inicialmente com os resultados alcançados. São ainda propostas recomendações de continuação da pesquisa desenvolvida a partir das experiências adquiridas com a execução do trabalho.

## **2. ÁREA DE ESTUDO**

### **2.1 LOCALIZAÇÃO AEROPORTUÁRIA**

O Aeroporto Santos Dumont (código ICAO: SBRJ; código IATA: SDU) (**Figura 1**) está localizado no município do Rio de Janeiro, na região central, com fácil acesso e localização privilegiada. De acordo com o site Aero magazine, em sua matéria intitulada “*Aeroporto Santos Dumont completou 85 anos*”<sup>1</sup>, publicada em 31/11/2021, sua construção foi iniciada em 1934, em terreno situado na Ponta do Calabouço, Centro da Cidade do Rio de Janeiro, sendo inaugurado em 30 de novembro de 1936, Em 1947, a pista foi ampliada de 700 metros para os atuais 1.322 metros. No início dos anos 2000, um novo terminal de passageiros foi entregue com oito pontes de embarque, em anexo ao edifício histórico. Anos mais tarde, a antiga sede da Varig, anexa ao aeroporto, foi

transformado em um centro comercial e hotel, sendo integrado ao terminal de passageiros.

A localização do aeroporto é privilegiada, entre outros motivos, por dois aspectos básicos: estar inserido na área urbana central da cidade e favorecer à melhoria da qualidade do ar.

Apesar de densamente edificada, a região é caracterizada como zona urbana comercial e não residencial, limitando assim o contato das pessoas a qualquer tipo de incômodo que o aeroporto possa gerar. No entanto, em sua vizinhança encontram-se diversas unidades militares, com um efetivo quantitativo de pessoal que, em dias úteis e em horário comercial, tornam-se potenciais receptores das emissões das aeronaves em suas operações de pouso, taxiamento-espera e decolagem.

Atualmente, o aeroporto Santos Dumont é o segundo aeroporto mais movimentado do estado fluminense. Em 2021, o Santos Dumont foi o 5º aeroporto mais movimentado do Brasil, com 4.957.973,00 passageiros (ANAC, 2021).

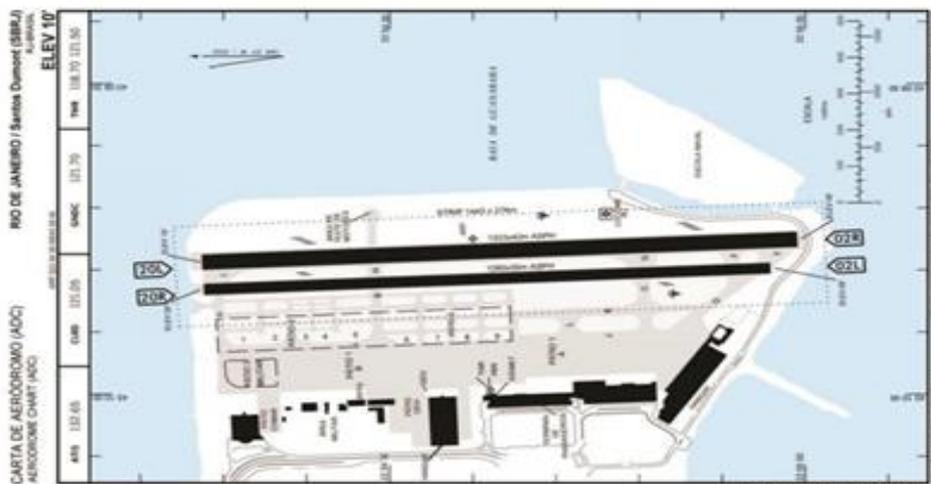
Administrado pela Infraero, o aeroporto Santos Dumont - SBRJ está instalado em uma área de 833 mil metros quadrados; o pátio de aeronaves possui 95.800 metros quadrados de área, contando com duas pistas de pousos e decolagens, sendo a pista principal com a configuração de 1.322 metros de extensão e 42 metros de largura, mais a pista auxiliar, com 1.260 metros de extensão e 30 metros de largura, além da pista para taxiamento. Possui capacidade para 29 operações por hora, e dois terminais de passageiros, sendo um terminal de embarque e outro para desembarque totalizando 19.000 metros<sup>2</sup>. Essa estrutura oferece a capacidade para atendimento de 9,9 milhões de passageiros por ano, segundo a INFRAERO.



**Figura 1** – Vista Aérea do Aeroporto Santos Dumont

Fonte: Google Earth.

Tecnicamente, as duas pistas de SBRJ são: 02 esquerda (L) e 20 direita (R); e a 02 (R) e 20 (L), sendo esta a mais utilizada devido à resitência do pavimento, largura e comprimento. A **Figura 2** apresenta a Carta de Aeródromo do SBRJ, com a disposição da infraestrutura no sítio aeroportuário.

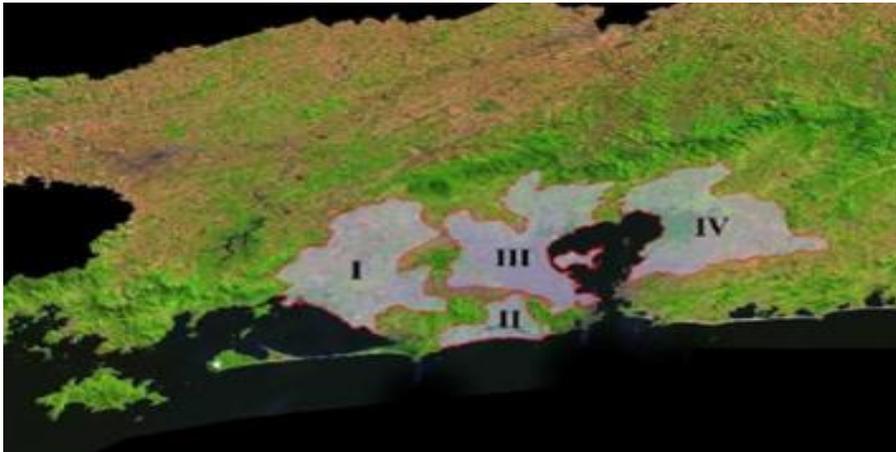


**Figura 2** – Carta de Aeródromo do SBRJ

Fonte: DECEA, 2018.

A Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), composta por 19 municípios, é dividida em quatro Bacias Aéreas, cujas delimitações se baseiam em critérios

topográficos. As Bacias Aéreas (**Figura 3**) foram delimitadas pela antiga Fundação Estadual de Engenharia e Meio Ambiente (FEEMA) para fins de gestão ambiental (CHEN e LIN, 2005; PIRES, 2005).



**Figura 3** – Bacia Aérea da RMRJ

Fonte: Adaptado de PIRES, 2005.

A Bacia Aérea I, localizada na zona oeste da RMRJ, na região da baixada de sepetiba com aproximadamente 730 km<sup>2</sup>. A Bacia I, é a que tem maior percentual de emissão de material particulado, entre as bacias aéreas da RMRJ, devido a grande concentração industrial, seguida pela Bacia Aérea III.

A Bacia Aérea II, está localizada no município do Rio de Janeiro, onde esta área envolve as regiões administrativas de Jacarepaguá e Barra da Tijuca, possui cerca de 140 km<sup>2</sup> de área.

A Bacia Aérea III, com uma área de aproximadamente 700 km<sup>2</sup>, abrange parte dos municípios do Rio de Janeiro, Nilópolis, São João de Meriti, Duque de Caxias, Magé; e as totalidade dos dos municípios de Nova Iguaçu, Mesquita, Queimados, Japeri e Belford Roxo.

PIRES (2005) apresentou um inventário de fontes estacionárias de toda a Bacia Aérea III e suas contribuições emissivas para a qualidade do ar da RMRJ, revelando os efeitos relativos da topografia no bloqueio das plumas de emissão geradas na referida bacia e, principalmente, o maior potencial poluidor desta em relação às demais bacias

aéreas, em função do maior quantitativo de fontes fixas e móveis (não considerados no estudo). É na Bacia Aérea III que o Aeroporto Santos Dumont está localizado, se configurando como uma relevante fonte de emissões de poluentes atmosféricos.

A Bacia Aérea IV, localizada a leste da baía de Guanabara possui área de cerca de 830 km<sup>2</sup>. Essa bacia aérea compreende os municípios de Itaboraí e São Gonçalo.

## **2.2 CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS**

### **2.2.1 TIPOS DE AVIAÇÃO**

Existem três tipos de aviação operando no Aeroporto Santos Dumont (CGNA, 2019, 2020, 2021):

a) *Aviação Comercial*, que é praticada pelas companhias aéreas que comercializam passagens e mantém voos regulares em linhas aéreas partindo do aeroporto.

A aviação comercial é um conjunto que inclui as técnicas e as ciências necessárias para a fabricação, manutenção e operação segura de aeronaves destinadas ao transporte de carga e/ou passageiros.

b) *Aviação Geral*, que compreende os voos da aviação executiva, de pequenos aviões particulares, de helicópteros, voos de treinamento para pilotos iniciantes e outras atividades aéreas que não sejam voos regulares ou aeronaves militares.

Isto é, todas as operações de aviação civil que não configurem transporte aéreo público de passageiros ou carga.

c) *Aviação Militar*, que utiliza aviões para fins exclusivamente militares, incluindo o uso de outras aeronaves como helicópteros.

### **2.2.2 MOVIMENTAÇÕES**

No ranking nacional de aeródromos brasileiros divulgado pelo Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea (CGNA, 2019, 2020 e 2022), o aeroporto Santos Dumont assim se posicionou no período 2019-2021:

- 2019: 5º do ranking, com 114.825 operações (-2,5% em relação a 2018)
- 2020: 6º do ranking, com 65.836 operações (-42,7% em relação a 2019)
- 2021: 5º do ranking, com 88.195 operações (+ 34,0% em relação a 2020)

Em 2019 a aviação comercial registrou sua maior movimentação no aeroporto Santos Dumont, com 8.766 movimentos, enquanto seu menor volume ocorreu em setembro, em razão do fechamento da pista principal para realização de obras de manutenção (CGNA, 2019). Diariamente, mais de 200 voos tiveram que ser transferidos para o Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro – Antônio Carlos Jobim - Galeão.

Em 2019, durante as obras, a pista auxiliar continuou disponível para as operações (Panrotas). A interrupção das operações na pista principal se deu de 24/08/19 a 20/09/19. Neste ano, a aviação comercial teve uma queda na redução dos movimentos de 5,0%, enquanto as aviações Geral e Militar tiveram aumentos de 2,7% e 13,5%, respectivamente (CGNA, 2020).

Em 2020, a indústria do transporte aéreo foi severamente afetada pela pandemia da COVID-19, declarada, a partir de 11 de março, pela Organização Mundial da Saúde. As operações aéreas no aeroporto Santos Dumont foram drasticamente reduzidas. Os picos de movimentos de aeronaves foram registrados em janeiro, fevereiro e dezembro, enquanto os meses com menores movimentos foram abril e maio. A aviação Comercial teve a maior participação dos movimentos, com 70% do total. A aviação Geral ficou com 22% , seguido da aviação Militar, com 8% (CGNA, 2021). De acordo com CGNA (2021), após a declaração da pandemia pela Organização Mundial de Saúde, em 11 de Março de 2020, a demanda de tráfego aéreo no espaço aéreo brasileiro, em comparação a 2019, chegou a 19% em Abril (redução de 81%), fechando a última semana de Dezembro com 72% (redução de 28%) das operações.

Em 2021, o total de operações no aeroporto Santos Dumont teve um aumento de 22.359 movimentos. A aviação Comercial apresentou maior participação dos movimentos, com 68% do total. A aviação Geral ficou com 24% de participação no ano de 2021, seguida da aviação Militar, com 8%. Os picos de movimentos de aeronaves no aeroporto

se deram em janeiro, novembro e dezembro. Os meses com menores movimentos foram abril e maio (CGNA, 2021).

Por fim, os efeitos da pandemia da COVID-19 podem ser observados neste documento pela drástica redução das operações aéreas em todo o país a partir de março de 2020 apresentando uma retomada gradual até o início de 2021 e caindo, novamente, em março e abril de 2021 com a segunda onda da pandemia no Brasil.

### **2.2.3 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS**

O município do Rio de Janeiro, onde está situado o Aeroporto Santos Dumont, é a capital do Estado do Rio de Janeiro na região sudeste do Brasil, compreendendo uma área de 1.255km<sup>2</sup> e divide-se em 159 bairros. A população, de acordo com o Censo de 2021 era composta de 6.775.561 habitantes (IBGE, 2021). Possui três importantes grupos montanhosos: Pico da Pedra Branca, Pico da Tijuca e Pico do Guandu; alguns conjuntos de serras menores: Engenho Novo e Misericórdia; e morros isolados (Pão de Açúcar, Viúva e Inhoaíba) em meio a planícies circundadas por esses maciços principais. A topografia acidentada, a presença do mar e da Baía de Guanabara produz um fluxo de ar complexo e heterogêneo, em relação à dispersão e distribuição dos poluentes. Os maciços da Tijuca e da Pedra Branca, paralelos à orla marítima, atuam como barreira física aos ventos predominantes do mar, não permitindo a ventilação adequada das áreas situadas mais para o interior (OLIVEIRA, 2003 apud FEEMA).

O clima do município do Rio de Janeiro é tropical quente e úmido com variações locais, devido às diferenças de altitude, vegetação e proximidade do oceano. A temperatura média entre os anos entre 2019 e 2021, na área do Aeroporto em estudo, varia em torno de 25°C. A climatologia da chuva é de 1.337mm anual (CLIMATEMPO, 2021). Ressalta-se que, entre o período de maio a setembro, ocorrem situações de estagnação atmosférica e elevados índices de poluição (OLIVEIRA, RIBEIRO, SANTOS, 2003).

As características climáticas da área onde se situa o aeroporto Santos Dumont são apresentadas com base em DECEA (2014), para os parâmetros, do período 2001-2010.

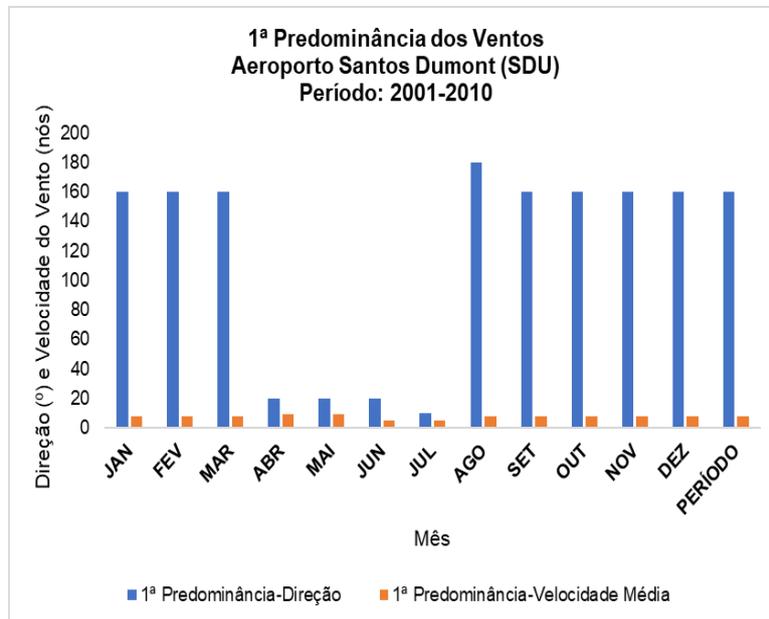
A Tabela Climatológica apresenta as seguintes análises estatísticas:

- a) 1º vento predominante à superfície, com velocidade em nós;
- b) 2º vento predominante à superfície, com velocidade em nós;
- c) temperatura média mensal, em °C, obtida da média aritmética das temperaturas médias diárias;
- d) média mensal das temperaturas máximas diárias, em °C;
- d) média mensal das temperaturas mínimas diárias, em °C;
- e) temperatura máxima para o mês de referência durante todo o período, em °C;
- f) dia, mês e ano em que ocorreu a temperatura máxima anteriormente mencionada;
- g) temperatura mínima para o mês de referência, durante todo o período, em °C;
- h) dia, mês e ano em que ocorreu a temperatura mínima anteriormente mencionada;
- i) umidade relativa média mensal, em %, obtida da média aritmética das umidades médias diárias;
- j) pressão atmosférica ao nível da Estação (QFE) - média mensal, em hPa, obtida da média aritmética das pressões médias diárias;
- k) quantidade mensal de precipitação, em milímetros;
- l) quantidade máxima de precipitação diária, em milímetros, observada durante o mês de referência; e
- m) dia, mês e ano em que ocorreu a quantidade máxima de precipitação.

São incluídos nas análises os valores de todo o período decenal para:

- a) valores predominantes no período;
- b) valores médios no período;
- c) valores máximos no período;
- d) valor mínimo no período;
- e) dia, mês e ano em que ocorreram os valores indicados anteriormente e
- f) valor total no período.

A **Figura 4** apresenta o gráfico da 1ª predominância dos ventos.

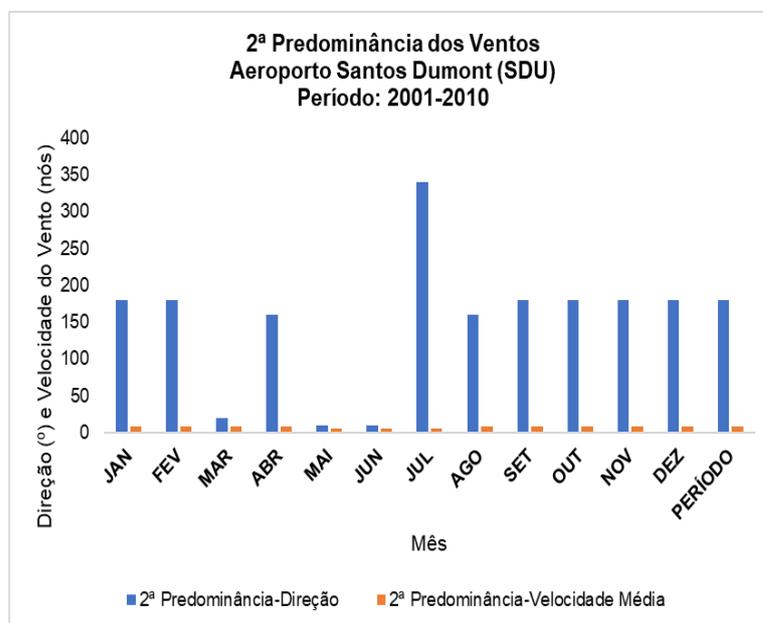


**Figura 4** – 1ª predominância dos ventos em SDU, no período de 2001-2010

Fonte: DECEA, 2014.

Observa-se uma variação da 1ª predominância ao longo dos meses: componente Sul, de janeiro a março (com 8 nós de velocidade) e de agosto a dezembro (com 8 nós de velocidade). Tais componentes dão indicações da marcante ocorrência de brisas marítimas. Para os meses de abril a julho, os ventos predominantes passam a ser de componente Norte (com 7 nós de velocidade), indicando uma inibição das brisas marítimas. Esses resultados vão de encontro ao que constataram OLIVEIRA-JÚNIOR et al. (2017), em suas representações por rosas dos ventos e histogramas usando o software WRPLOT. PIMENTEL et (2014), ao estudarem a caracterização do regime de vento em diversos setores da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), evidenciaram que a estação do aeroporto Santos Dumont, apresentava um padrão norte-sul evidente em sua composição total, com ventos do quadrante sul nos períodos da tarde e da noite contribuem mais efetivamente para os ventos do quadrante sul.

A **Figura 5** apresenta o gráfico da 2ª predominância dos ventos.

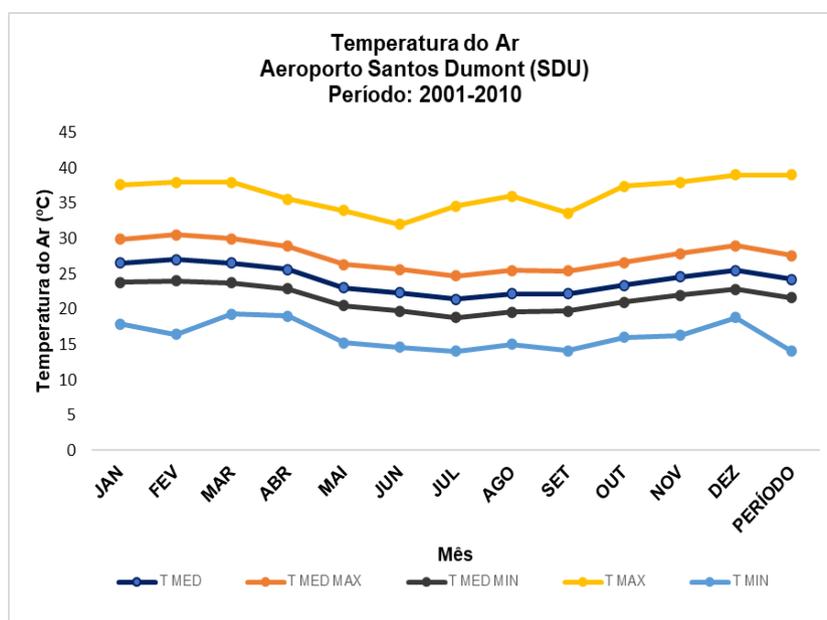


**Figura 5** – 2ª predominância dos ventos em SDU, no período de 2001-2010

Fonte: DECEA, 2014.

Observa-se uma variação da 2ª predominância ao longo dos meses: componente Sul, de janeiro a fevereiro (com 8 nós de velocidade) e de agosto a dezembro (com 8 nós de velocidade). Tais componentes dão indicações da marcante ocorrência de brisas marítimas. Para os meses de março a julho, os ventos predominantes passam a ser de componente Norte (com 8 nós de velocidade), indicando uma inibição das brisas marítimas.

A **Figura 6** apresenta o gráfico da temperatura do ar, incorporando, simultaneamente, os valores médios, os mínimos e máximos absolutos e os mínimos e máximos.



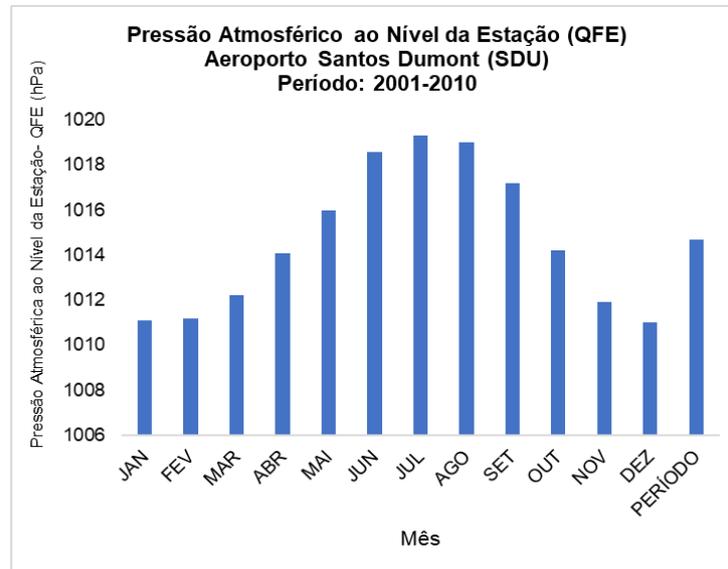
**Figura 6** – Temperatura do ar em SDU, no período de 2001-2010

Fonte: DECEA, 2014.

Constatam-se as seguintes variações para cada parâmetro:

- Temperatura Máxima Absoluta: 39,0°C, registrada em 01/12/2002.
- Temperatura Máxima Média: variando de 24,7°C em julho a 30,5°C em fevereiro.
- Temperatura Média: variando de 21,4°C em julho a 27,0°C em fevereiro.
- Temperatura Mínima Média: variando de 18,8°C em julho a 24,0°C em fevereiro.
- Temperatura mínima absoluta: 14,0°C, registrada em 29/07/2007.

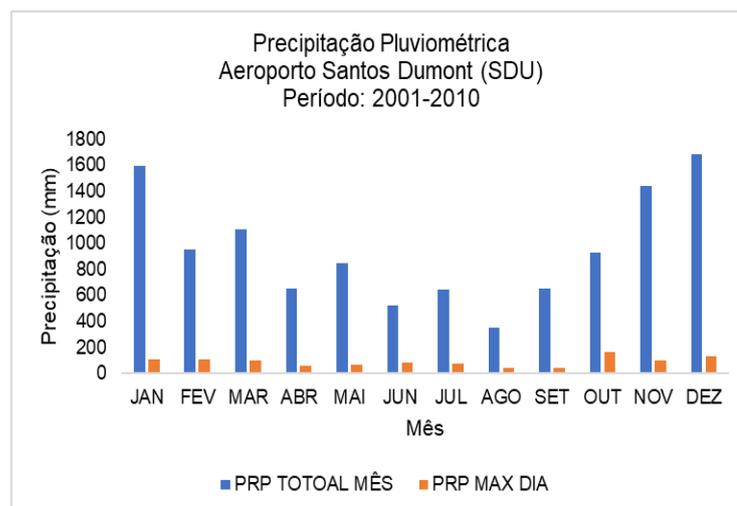
A **Figura 7** apresenta o gráfico da pressão atmosférica ao nível da superfície (QFE). Observa-se uma nítida sazonalidade, com mínimo valor de pressão atmosférica de 1011,0 hPa em dezembro e máxima pressão atmosférica de 1019,3 hPa em julho.



**Figura 7** – Pressão atmosférica em SDU, no período de 2001-2010

Fonte: DECEA, 2014.

A **Figura 8** apresenta o gráfico de precipitação pluviométrica, conjugando os valores totais médios mensais e máximos de 24 horas registrados em cada mês. Observa-se o máximo valor total médio mensal de 1685,8 mm em dezembro, enquanto a máxima precipitação de 24 horas foi de 165,8 mm, em 24/10/2007.



**Figura 8** – Precipitação pluviométrica em SDU, no período de 2001-2010

Fonte: DECEA, 2014.

## 2.3 QUALIDADE DO AR

No município do Rio de Janeiro, o monitoramento da qualidade do ar é realizado pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMAC), da Prefeitura Municipal, e pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA). No entanto, não há nenhuma estação de monitoramento instalada na área onde o aeroporto Santos Dumont se situa. Tampouco houve qualquer monitoramento eventual no passado, a não ser por amostragem passiva para o benzeno, instalado nos fundos do Centro Cultural do Ministério da Saúde (CCMS), próximo à Praça XV, em agosto de 2011, onde os resultados da campanha amostral de um mês evidenciaram concentrações superiores a  $16,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , valor muito superior à referência-limite europeia de  $5,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pelo regime predominante de sul e as posições relativas do CCMS e do aeroporto Santos Dumont, tudo indica a contribuição do segundo para os valores encontrados para o Benzeno (relato pessoal de MAIA, 2022).

Os órgãos internacionais que tratam de problemas de poluição atmosférica, somente consideram válidos estudos sobre qualidade do ar embasados em trabalhos de medição com duração mínima de três anos (SCATOLINI, 2004). Entretanto, é possível verificar que, a elevada temperatura da cidade, aliada à topografia, favorece a dispersão dos poluentes (OLIVEIRA, RIBEIRO, SANTOS, 2003), principalmente na área litorânea do município do Rio de Janeiro, área onde está localizada o aeroporto em estudo.

No Rio de Janeiro os principais aeroportos da cidade (**Figura 9**) estão localizados na Bacia Área III, que ocupa uma área total com cerca de  $700 \text{ km}^2$ . Essa região possui um grande adensamento populacional e é foco intenso de fonte de emissões de poluentes, gerando sérios problemas de poluição do ar (FARIAS, 2013).



**Figura 9** – Principais Aeroportos do Rio de Janeiro.

Fonte: Google Earth.

### **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1 EMISSÕES ATMOSFÉRICAS**

##### **3.1.1 AEROPÓRTOS**

Os aeroportos não são apenas locais de pouso e decolagem de aeronaves, são também empreendimentos que possuem atividades e infraestrutura para dar suporte às operações de aeronaves, passageiros e cargas. Os aeroportos sempre se caracterizaram como sendo estruturas de alto nível de interferência no meio ambiente. Isto tornou-se mais perceptível a partir do final dos anos 60 com o rápido crescimento da aviação civil e o início das operações das aeronaves de grande porte a jato nos Estados Unidos e na Europa. Nesta mesma década começa a proliferar, principalmente nas grandes cidades dos Estados Unidos e na Europa, um sentimento de preocupação com a interferência e os danos causados ao meio ambiente e que se torna agravado pelas crises de poluição atmosférica e de resíduos ocorridas em Nova Iorque e Londres. Inicia-se, a partir de então, nos órgãos de planejamento e gerenciamento aeroportuário, a necessidade de se

observar os impactos que ocorriam no meio ambiente em virtude da implantação de um aeroporto e a busca por alternativas que os minimizassem (INFRAERO, 2006).

Na década de 70, a ICAO (International Civil Aviation Organization) inicia um processo de conscientização de seus países membros da necessidade de buscarem alternativas para reduzir os impactos ambientais ocasionados pela aviação civil e pelos aeroportos e difundir as soluções encontradas para os outros países membros. Também na década de 70 o governo brasileiro cria a SEMA (Secretaria Especial de Meio Ambiente) que posteriormente atua no projeto de implantação dos aeroportos de São Paulo, Confins e Galeão.

Já na década de 80 o DAC (Departamento de Avião Civil) e o IAC (Instituto de Aviação Civil) incorporam procedimentos relativos à proteção ambiental devido à resolução CONAMA nº.1 de 1986 que obrigou projetos de implantação, reforma, ampliação ou adequação de aeroportos a fim de minimizar possíveis impactos ambientais.

No Brasil, a administração dos principais aeroportos está a cargo da INFRAERO (Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária). Atualmente esta empresa gerencia 61 aeroportos (INFRAERO, 2020).

No setor aeroportuário existem diversas fontes emissoras de poluentes como zonas industriais, veículos de apoio, tráfego externo etc. Dentre esses diversos setores as aeronaves são o principal foco de um aeroporto, tendo em vista que os seus funcionamentos são o objetivo principal desse empreendimento.

As emissões provenientes de fontes móveis se originam dos veículos de apoio operacional e das aeronaves em operações de pouso, taxiamento-espera e decolagens. Em muitos estudos, consideram-se ainda as vias que dão acesso ao aeroporto (RIBEIRO et al., 2001).

Além dessas fontes, muitos aeroportos possuem outros equipamentos necessários às suas atividades internas, como: incineradores, caldeiras, geradores de energia.

Os tipos primários de poluentes emitidos pelas aeronaves e outras fontes internas nos aeroportos são os hidrocarbonetos (HC), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx), material particulado (MP), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), substâncias tóxicas tais como o benzeno e formaldeídos, além do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e vapor d'água

(H<sub>2</sub>O), que contribuem para o aquecimento global. Em geral, as emissões de NOX, CO e HC e partículas são relevantes para a qualidade do ar local.

### 3.1.2 AERONÁVES

A aviação comercial começou a operar em larga escala logo após a II Guerra Mundial, a partir da introdução dos motores a jato, usados pela primeira vez, na década de 50, pela BOAC, nas aeronaves comerciais “Comet” e pelas aeronaves a jato “Caravelle”. Os combustíveis “Jets”, tipo-querosene, passaram a ser usados pela aviação a jato, por apresentarem as melhores combinações de propriedades (energia, densidade, pressão de vapor e características de combustão). (CHEVRON, 2000).

Nos anos 60 começaram a operar os jatos “Boeing 720 e 707”, seguidos pelo “Douglas DC-8” e o “Convair 880”. Mais adiante, surgiram as aeronaves turbohélice, mais de maior potência e com maior capacidade de transporte de cargas e passageiros. (PORTALBRASIL, 2004).

Começaram, então, os primeiros problemas ambientais, associados principalmente aos elevados níveis de ruídos, conforme evidência (SIMÕES, 2003), seguindo-se das emissões de poluentes pelos motores das aeronaves e seus impactos nas áreas vizinhas aos aeroportos.

No início dos anos 70 surgiram as aeronaves com capacidade de transporte de até 400 passageiros, como o Boeing 747, o Douglas DC-10, o Lockheed Tristar L-1011.

Em meados dos anos 70, as aeronaves supersônicas comerciais, como o Tupolev 144 e o Concorde, iniciaram suas operações regulares. A poluição sonora dessas aeronaves começou a gerar uma série de problemas ecológicos, o que levou a proibição de suas operações em importantes aeroportos do mundo, como Nova Iorque e Dakar. Um acidente em 6 de março de 1973 afetou o desenvolvimento do aparelho soviético, o que tornaria o Concorde o único avião civil supersônico em atividade comercial regular. No entanto, a crise mundial no setor aéreo, com a conseqüente diminuição do número de passageiros, e o alto custo de manutenção da aeronave, além do acidente ocorrido em

julho de 2000, no aeroporto de Orly – Paris, foram as principais razões alegadas para encerrar os voos do Concorde em 31 de outubro de 2004.

O transporte aéreo se tornou um dos setores da economia que mais cresceu nas últimas décadas.

Os impactos locais da aviação ocorrem, sobretudo, nas áreas vizinhas aos aeroportos, por conta das emissões das aeronaves, durante as operações de pouso e decolagem, e das operações aeroportuárias, que incluem os veículos especiais de apoio e de serviços, entre outras fontes.

Os principais impactos regionais são associados à formação de ozônio ( $O_3$ ) e à chuva ácida.

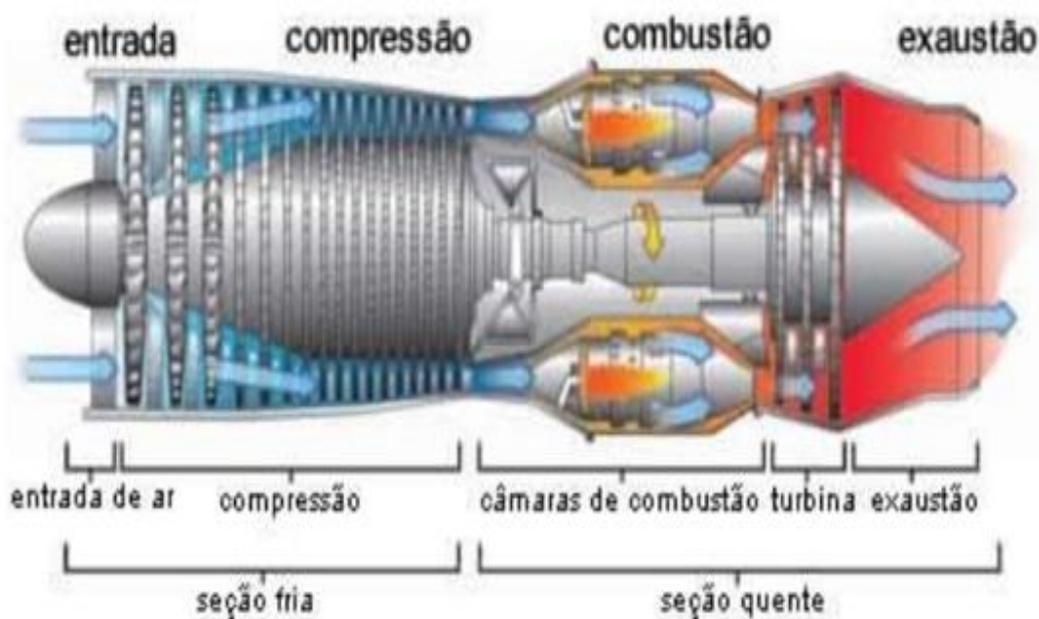
Os impactos globais, por sua vez, dizem respeito às mudanças climáticas, em função das emissões de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) – um gás de efeito estufa do planeta.

O Brasil, como país signatário da OACI, adota os procedimentos recomendados por aquela Instituição para controle dos impactos ambientais produzidos pelo transporte aéreo, aplicando as normatizações específicas nas aeronaves brasileiras.

As aeronaves de grande e médio portes utilizam-se de turbinas a gás para geração de energia e para se moverem. A **Figura 10** mostra o esquema longitudinal de uma turbina, bem como o percurso da entrada do ar atmosférico e a saída dos gases de exaustão.

O termoturbina “a gás” não se dá pelo fato do uso de combustível no estado gasoso, mas sim por usar o produto da combustão interna (mistura de gases) como fonte do trabalho da turbina.

O combustível usado comumente é o querosene de aviação (jetfuel), um hidrocarboneto proveniente do fracionamento do petróleo e que possui elevado poder calorífico e boa característica lubrificante (PETROBRAS,2013).



**Figura 10** – Esquema Longitudinal de uma Turbina a Gás.

Fonte: <https://joseadolfo.com.br/2013/09/30>.

Após a admissão do ar atmosférico, o compressor irá direcionar para a câmara de combustão com uma pressão maior que a de entrada. O ar comprimido irá se juntar ao combustível, e com o calor, gerará a combustão, aumentando consideravelmente a temperatura dos gases. Esses gases superaquecidos e em processo de expansão realizarão o trabalho mecânico de girar a turbina, penúltimo estágio do motor. Todo o processo químico ocorre no interior da câmara de combustão, local destinado à queima do combustível e à liberação de energia sob a forma de calor. A corrente de gases que é produzida se expande, faz girar a turbina e é liberada ao meio externo.

Os principais componentes do combustível de aviação são os hidrocarbonetos (HC). A combustão incompleta dos combustíveis em motores, durante as operações de motor em baixa potência, geram emissões de hidrocarbonetos não-queimados, alguns dos quais são tóxicos (NAER, 2003).

As emissões de HC pelas aeronaves não são consideradas relevantes em altitudes de cruzeiro. Em torno dos aeroportos, os hidrocarbonetos são considerados relevantes por participarem na formação de poluentes oxidantes, como o ozônio, que

geram efeitos danosos à saúde humana e espécies vegetais (EUROPEAN COMMUNITY, 2003).

O monóxido de carbono (CO) é um gás tóxico, incolor, inodoro e relativamente não-reativo, formado a partir da queima incompleta de combustíveis fósseis.

As emissões de monóxido de carbono (CO) de uma aeronave são maiores durante as situações de operação do motor em baixa potência (taxiamento e espera), quando ocorre uma combustão menos eficiente. O CO é um poluente relativamente não-reativo (TARRASÓN et al.,2004).

As emissões de óxidos de nitrogênio (NOx) se originam nos processos de combustão, sob condições de altas temperaturas, embora uma pequena quantidade provenha do conteúdo de nitrogênio do combustível. Nos motores das aeronaves, as elevadas temperaturas e pressão no combustor levam à oxidação do nitrogênio (uma reação entre o nitrogênio e o oxigênio atmosférico), principalmente durante a decolagem e ascensão, quando os motores encontram-se à máxima potência (COTTIS e MORRELL, 2001). O monóxido de nitrogênio (NO) gerado no processo de combustão de combustíveis fósseis representa cerca de 90% do total de óxidos de nitrogênio (NOx) emitidos.

As aeronaves geram um alto grau de massas de partículas muito finas (aerossóis) do que as emitidas e produzidas na superfície da terra ou por fortes erupções vulcânicas. As emissões das aeronaves, injetadas diretamente a 9 –12 km de altitude, são mais importantes do que as emissões similares de superfície, devido aos maiores tempos de residência atmosférica e às menores concentrações de fundo (background) de poluentes na troposfera superior (SCHUMANN, 2002).

As emissões de Partículas Ultrafinas (Ultra Fine Particles, em Inglês – UFP) nas operações de aeronaves podem ser significativas e gerar impactos internos e ao redor dos aeroportos (ACI EUROPE, 2012). As altas temperaturas no escapamento de saída do motor geram essas emissões de partículas ultrafinas, que apresentam diâmetro geométrico médio entre 15 nm a 60 nm. Os limitados estudos relacionados à especificação de poluentes mais específicos e em relação à exposição no local de trabalho estão no domínio da saúde e segurança ocupacional e não do meio ambiente.

### 3.1.3 CICLO DE POUSO E DECOLAGEM

Tradicionalmente, os impactos ambientais provenientes de emissões de aeronaves têm sido separados em dois grupos: emissões de poluentes ocorrentes durante a fase de pouso e decolagem (Ciclo LTO); estas são consideradas emissões locais. E há ainda as emissões em caráter regional e global (KURNIAWAN E KHARDI, 2011).

Uma aeronave quando inicia sua aproximação para o aeroporto de destino deve atender ao sequenciamento promovido pelos órgãos de controle do tráfego aéreo, de forma a manter a segurança da operação, permitindo o adequado fluxo dentro de um espaço aéreo definido. Portanto, quando uma aeronave deixa o seu nível de voo de cruzeiro, em altas altitudes, até o seu pouso, acaba passando por áreas de controle centrais, áreas terminais de confluências de aerovias até a chegada à área de controle do aeroporto (DECEA, 2009).

O Ciclo LTO – *Landing and Take-Off* – é uma padronização adotada para os estudos de movimentos de aeronaves no entorno de aeroportos. Este ciclo compreende um procedimento de pouso, sua espera para desembarque e novo embarque de passageiros, e um procedimento de decolagem. A ICAO (1993) definiu este procedimento em 4 (quatro) etapas ou modos, as quais são: *approach* (aproximação), *taxi/idle* (taxiamento/espera), *take-off* (decolagem) e *climb out* (ascensão). Porém, como há uma descontinuidade nesse processo, onde passageiros entram e saem da aeronave e, portanto, a mesma permanece com motores desligados no pátio de estacionamento ou à frente do terminal de passageiros, estudos como (CARLIER *et al.*, 2004; EEA, 2009; ROCHA, 2012, SONG e SHON, 2012) têm considerado a divisão do *taxi* em duas etapas. Portanto, 5 (cinco) modos de operação são descritos nesse ciclo:

*Modo 1 - Descida para Aproximação Final*, onde a aeronave cruza o topo da camada de mistura (3.000 pés ou 914 metros) e rumo até o solo (*Approach*).

*Modo 2 – Pouso ou Toque no solo*, rolamento no pouso seguindo de frenagem, taxi pelas vias aeroportuárias até o pátio de estacionamento, condição neutra dos motores, até

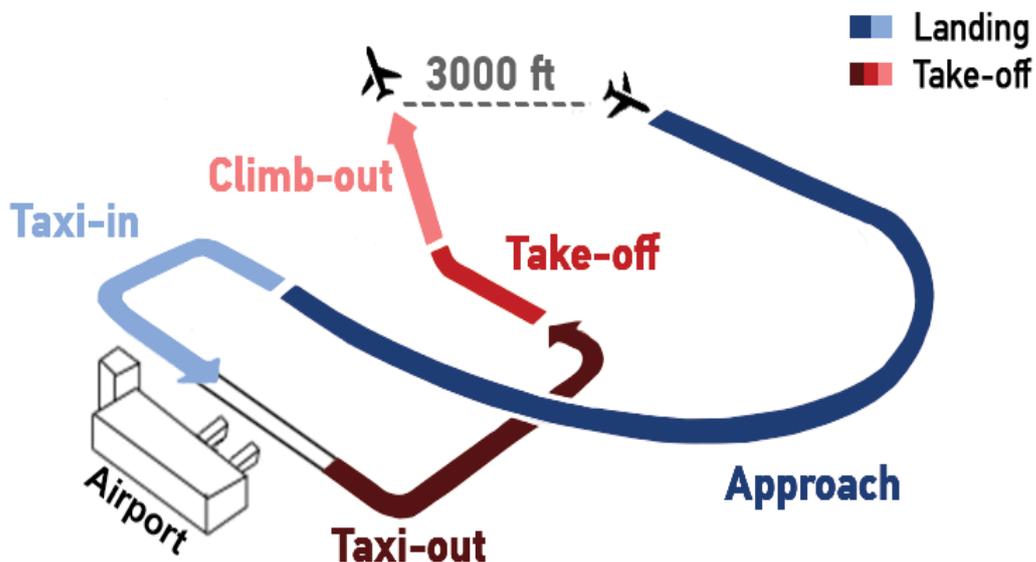
o seu total desligamento (*Taxi-in/Idle*).

*Modo 3 – Partida*, condição neutra, verificação para a saída, e taxi até a cabeceira da pista (*Idle/Taxi-out*);

*Modo 4 - Decolagem (Take-off)*; este é o momento em que a aeronave se desloca por toda a pista, em potência máxima dos motores, e ascende até aproximadamente 1.000 pés (ou 300 metros);

*Modo 5 – Ascensão (Climb Out)*; seguimento de tempo subsequente ao da decolagem, em que a aeronave se desloca até o topo da camada de mistura.

**Figura 11** ilustra o Ciclo LTO com seus vários modos.



**Figura 11** – Ciclo LTO e seus modos operacionais.

Fonte: <http://aes.propulsion.gr/emissions.html>.

O tempo gasto em cada modo do Ciclo LTO é denominado “Tempo no Modo” (“Time in Mode – TIM”). O TIM no modo de decolagem é o tempo percorrido desde o

início do rolamento em solo até a aeronave atingir 1.000 pés acima da superfície. O TIM no modo “taxiamento” (chegada e partida), inclui também o “tempo de espera (idle)”, o tempo de rolamento de pouso e o tempo gasto na fila para decolagem. O TIM no modo de pouso é o tempo decorrido desde a altura de mistura (3.000 pés) até a superfície. O TIM do modo de ascensão é o tempo gasto por uma aeronave desde a altura de 1.000 pés até a altura da camada de mistura (3.000 pés) (MAIA, 2005).

As emissões de uma aeronave dependem de sua operação e do tempo gasto em cada estágio. O TIM real pode variar de aeroporto para aeroporto, dependendo do tráfego, tipos de aeronaves e condições meteorológicas, bem como das condições topográficas locais (MAIA, 2005).

O TIM geralmente utiliza os dados de perfil de voo, que são baseados na fuselagem, motor, peso de decolagem e ângulo de aproximação a ser voado.

A Organização de Aviação Civil Internacional (OACI) e a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) estabeleceram os tempos básicos “TIM” (“default”) para cada modo no Ciclo LTO da aviação comercial, incluindo as percentagens da máxima potência ao nível do mar (**Quadro 1**). Estes tempos são baseados na altura de 3.000 pés e são empregados para propósitos de regulamentação e controle ambiental.

**Quadro 1-** Tempos básicos nos modos do Ciclo LTO.

Fonte: ANAC (2019).

Considerando as informações dos operadores de aviação regular lançadas no

<b>Modo de Operação</b>	<b>Potência de Motor (% da máxima potência ao nível do mar)</b>	<b>TIM (minutos)</b>
Aproximação (Approach)	30%	4,0
Taxiamento de Chegada (Taxi-in)	7%	7,0
Taxiamento de Partida (Taxi-out)	7%	19,0
Decolagem (Take off)	100%	0,7
Ascensão (Climb Out)	85%	2,2

Sistema de Registro de Voo, que registra, entre muitas outras informações, a ANAC revisou os tempos no modo taxi-in/taxi-out/idle nos vinte mais movimentados aeroportos

brasileiros, incluindo o aeroporto Santos Dumont, que passou a adotar, para fins de inventários de emissões, o tempo total de 15,9 minutos para o modo de taxiamento/espera (Taxi-in: 5,2 min; Taxi-out: 10,7 min), ao invés dos 26,0 minutos até então adotados com base nas indicações médias da ICAO (ANAC, 2019).

## **3.2 IMPACTOS AMBIENTAIS**

### **3.2.3 IMPACTOS LOCAIS**

As atividades oriundas dos motores das aeronaves, o uso de equipamento de apoio em solo, os sistemas de armazenamento e abastecimento de combustíveis, os procedimentos de testes e manutenção de motores e o tráfego automotivo interno e externo constituem as principais fontes de emissões de poluentes atmosféricos em um aeroporto. Seus níveis são diretamente proporcionais ao porte do aeroporto, à demanda de passageiros, movimentação de cargas e tecnologias da aviação existentes (GALESKI, 2019).

Os impactos locais resultam em efeitos danosos à saúde humana e ao bem-estar daqueles que trabalham nos aeroportos, sobretudo nos pátios e pistas, ou estão em seu entorno. Segundo a Agência Federal de Aviação dos Estados Unidos (FAA, 2015), os riscos à exposição de tais substâncias liberadas pelos motores aeronáuticos na saúde são:

- Monóxido de Carbono (CO) – Reage com a hemoglobina do sangue e diminui o transporte de oxigênio para os tecidos corporais. Altas concentrações de CO geram efeitos cardiovasculares especialmente nas pessoas com doenças cardíacas, e no sistema nervoso. Lesões teciduais a longo prazo são percebidas.

- Óxidos de Nitrogênio (NOx) – Promove Irritação pulmonar e menor resistência a infecções respiratórias, além de poder produzir bronquite, edema pulmonar e pneumonia em altas concentrações.

- Hidrocarbonetos (HC) – Gera irritação dos olhos e das vias respiratórias, dores de cabeça, tonturas, distúrbios visuais e comprometimento da memória.

- Material Particulado (MP) – Pode ocasionar mortalidade prematura, agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares, alterações nas funções pulmonares e aumento de sintomas respiratórios, alterações nos tecidos e estruturas pulmonares e alteração dos mecanismos de defesa respiratórios.

- Ozônio (O<sub>3</sub>) – Apesar de não ser um poluente primário, as emissões aeroportuárias de NO<sub>x</sub> e HC contribuem para a sua formação na atmosfera urbana. O Ozônio gera comprometimento da função pulmonar nos seres humanos, efeitos sobre o desempenho do exercício, diminuição da capacidade de resposta das vias aéreas, aumento da suscetibilidade à infecção respiratória, aumento das internações hospitalares e visitas à sala de emergência e inflamação pulmonar gerando danos aos pulmões. Sua ação afeta as mucosas respiratórias, que em altas concentrações de exposição podem gerar dor torácica, tosse, chiado no peito, ainda podendo desencadear sintomas de asma, bronquite e enfisema.

Os poluentes do ar oriundos das aeronaves têm causado danos significativos à saúde humana, tais como: decréscimo da função pulmonar, alteração no sistema imunológico de pessoas saudáveis, danos ao trato respiratório, entre outros. A poluição do ar, está diretamente relacionada com vários problemas de saúde, especialmente os respiratórios e cardiovasculares. Os grupos mais afetados são: crianças, idosos (SALDIVA *et al.*, 1994) e pessoas com problemas respiratórios prévios, como asma e bronquite (MARTINS *et al.*, 2002). Embora os poluentes do ar afetem vários órgãos, o pulmão é o primeiro a ser afetado, podendo observar-se alterações, que variam desde uma pequena irritação até a indução de câncer (ROBBINS *et al.*, 1992). Mesmo esta pesquisa ter ocorrido em um período pandêmico proveniente de uma doença respiratória e mesmo com a brusca redução dos números de voos no Santos Dumont, não houve um fechamento total das atividades do referido aeroporto.

### **3.2.4 IMPACTOS GLOBAIS**

Além dos impactos locais, a aviação também é responsável por importantes impactos ambientais destacando-se as emissões de poluentes que contribuem para o

aquecimento global (ICAO, 2010a).

A emissão global da aviação contribui com 2% para a emissão global total de gases de efeito estufa (GEE). Em todo o mundo, as aeronaves produziram 859 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> em 2017 contribuindo significativamente para o aquecimento do planeta.

A aviação é o único meio de transporte que emite CO<sub>2</sub> diretamente para os níveis mais elevados da atmosfera.

LEE *et al.* (2010) mostraram como os efeitos do setor da aviação, através de emissões de poluentes oriundas de aeronaves e complementadas pela infraestrutura aeroportuária, estão impactando a saúde e o bem-estar do homem, além do próprio clima do planeta. KURNIAWAN e KHARDI (2011), apresentam algumas razões que mostram o grande interesse de cientistas e governantes em estudos dos efeitos globais da aviação.

Dentre eles, foi constatado que o uso do combustível de aviação, e, conseqüentemente, as emissões provenientes deste setor, está crescendo mais rápido do que aqueles provenientes de outros setores de geração de energia. Outro motivo é o fato de as emissões do setor aéreo estarem contribuindo na produção de ozônio na parte mais baixa da atmosfera.

Ações em sustentabilidade, não somente na fase de construção aeroportuária, mas, principalmente, em sua fase de operação devem continuar sendo pesquisadas, desenvolvidas e aplicadas com o objetivo de mitigar e reduzir os impactos ao meio ambiente, sejam eles resíduos sólidos e efluentes, sejam emissões atmosféricas e ruídos.

A presente pesquisa é de extrema importância, pois, neste estudo, tem-se uma base do funcionamento dos voos regulares no decorrer de 2019 (antes da pandemia) e 2020 (com o lockdown) que foram normalizados ao longo do ano de 2021, após a reabertura e flexibilização da pandemia com o andamento da vacinação.

#### **4. METODOLOGIA**

Para atender aos objetivos propostos, o primeiro passo foi levantar os dados de movimentações de aeronaves em voos regulares no aeroporto Santos Dumont (SBRJ),

nos anos de 2019, 2020 e 2021. A aquisição dessas informações foi feita por acesso ao site da ANAC (Consulta de Voos Passados – VRA), onde os arquivos de tais informações foram baixados, para posterior organização e formatação da base às análises seguintes.

Os arquivos originais da ANAC continham as seguintes informações devidamente tabuladas:

- Código ICAO da Empresa Aérea;
- Nome da Empresa Aérea;
- Número do Voo;
- Código DI;
- Código Tipo Linha;
- Modelo do Equipamento;
- Número de Assentos;
- Sigla ICAO do Aeroporto Origem;
- Descrição do Aeroporto de Origem;
- Partida Prevista;
- Partida Real;
- Sigla ICAO do Aeroporto de Destino;
- Descrição do Aeroporto Destino;
- Chegada Prevista;
- Chegada Real;
- Justificativa;
- Situação do Voo (realizado ou não).
- Em seguida, forma organizadas planilhas mensais contendo, de modo cronológico, os registros dos voos.

Para calcular as emissões nos vários modos do Ciclo LTO, foi realizada a identificação e contabilização de cada modelo de aeronave que operou em cada mês e no período total de estudo. A proposta seria avaliar as emissões por equipamentos e não identificar as emissões de cada companhia aérea.

As estimativas de emissões de cada modelo de aeronave foram feitas, basicamente, por consultas aos seguintes recursos:

a) bases de dados da Agência Ambiental Europeia (EEA), através do site Air pollutant emissions data viewer (LRTAP Convention) (<https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-a-aviation-1-annex5-LTO/view>);

b) ICAO Aircraft Engine Emissions Databank, da European Union Aviation Safety Agency (EASA), através do site: <https://www.easa.europa.eu/en/domains/environment/icao-aircraft-engine-emissions-databank>.

c) pela aplicação do Método Tier 3 da ICAO, para o cálculo de emissões no Ciclo LTO, que leva em consideração os seguintes dados:

- i) Partida: Taxi de partida (Taxi-out); Decolagem (Take-off) e Início da subida para cruzeiro (Climb-out);
- ii) Chegada: Aproximação final (Final approach), Toque e corrida de desaceleração (Landing) e Taxi de chegada (Taxi-in).

As equações usadas pelo Método Tier 3 da ICAO são as seguintes:

$$C_{a,f,p} = nM_{ax}F_{c_{a,f}}Xt_{a,f,p} \quad (1)$$

$$E_{ag,a,f,p} = Fe_{ag,a,f,x}X C_{a,f,p} \quad (2)$$

Em que:

- **C** = Consumo de combustível da aeronave **a**, expresso em kg, para cada fase de voo **f** no aeródromo **p**.
- **nM** = Número de motores da aeronave **a**.
- **F<sub>c</sub>** = Fluxo de combustível, em kg/s, de cada motor da aeronave **a** na fase de voo **f**.
- **t** = Tempo, em segundos, que a aeronave **a** permanece na fase de voo **f** no aeródromo **p**.

- E = Emissão, expressa em kg, do gás **g** pela aeronave **a** na fase de voo **f** no aeródromo **p**, e
- Fe = Fator de emissão, em  $\text{kg}_{\text{gás}}/\text{kg}_{\text{combustível}}$ , da aeronave **a** na fase **f**.

Os fatores de emissão para motores a jato foram obtidos através do banco de dados EEDb da OACI (<https://www.easa.europa.eu/en/domains/environment/icao-aircraft-engine-emissions-databank>) 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 são fruto da medição pelos fabricantes no processo de certificação dos motores, para os poluentes que sofrem restrição de emissões dadas pelo anexo 16 da OACI.

À título de análise introdutória, com base nos Anuários Estatísticos de Tráfego Aéreo (CGNA 2020, CGNA 2021 e CGNA 2022), é feita uma avaliação comparativa dos movimentos anuais pela aviação comercial, aviação geral e aviação militar no aeroporto Santos Dumont, no período 2019-2021. A intenção é destacar que além das emissões levantadas para a aviação comercial regular no presente estudo, existiriam as emissões dos tipos geral e militar, que não constam nas bases de dados públicos da ANAC.

Para a aviação comercial, entretanto, diversas análises puderam ser desenvolvidas, de modo a se ter uma ideia dos movimentos geral e por equipamentos, bem como por tipo de poluente e, temporalmente, ao longo do período considerado, por dias de semana- fim de semana e dias da semana especificamente.

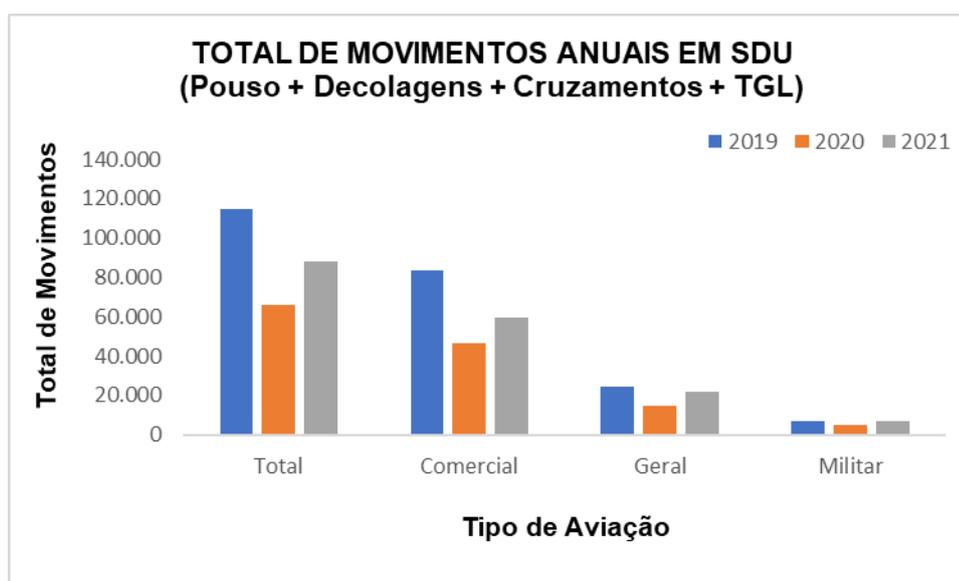
## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 MOVIMENTOS DE AERONAVES**

Inicialmente, apresenta-se a análise comparativa das movimentações de aeronaves, considerando o tipo de aviação que opera no aeroporto Santos Dumont. comercial, geral e militar.

A **Figura 12** apresenta os quantitativos anuais de cada tipo de avaliação, por ano, o que permite trazer duas conclusões imediatas: o predomínio de operações da aviação

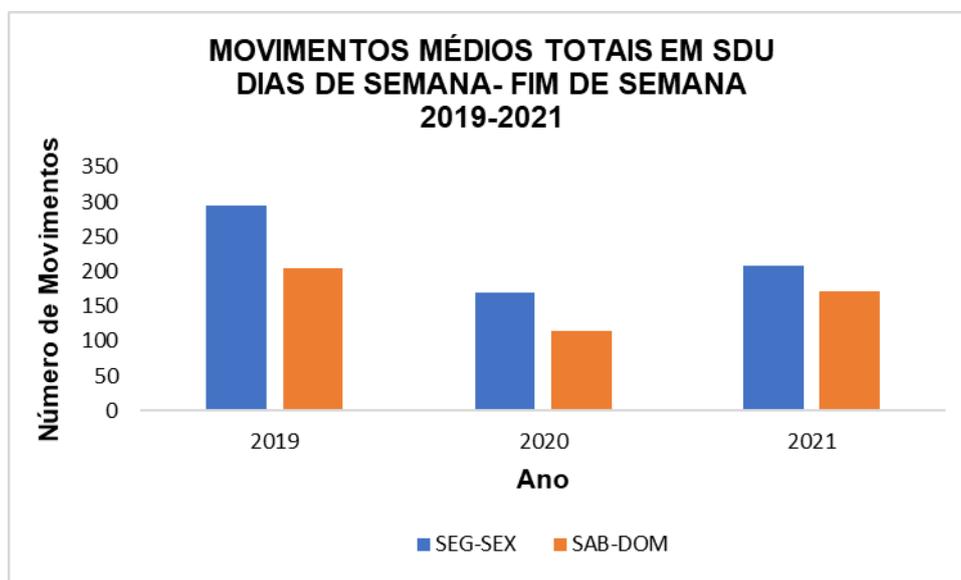
comercial em relação às demais e a redução geral dos movimentos em 2019, por conta do período de pandemia por COVID-19 mais crítico.



**Figura 12** – Totais de movimentos anuais, por tipo de aviação em SDU, no período 2019-2021.

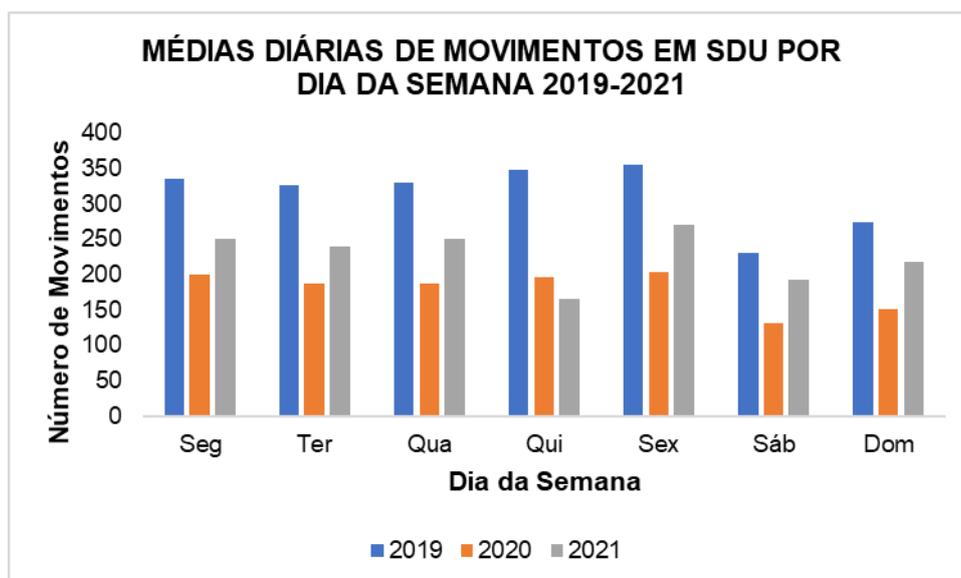
A **Figura 13** mostra os movimentos médios totais dos voos comerciais, no ciclo dias de semana (segunda a sexta-feira) - fim de semana (sábado e domingo), no período 2019-2021. A partir desse ponto, as análises se referem apenas aos movimentos da avaliação comercial.

Do mesmo modo que na análise anterior, percebe-se uma significativa redução das movimentações aéreas no ano crítico da pandemia COVID-19. Em 2021, apesar da retomada, mas em função ainda da crise sanitária, esta não conseguiu atingir os patamares pré-pandemia. Além disso, fica evidente a redução de movimentos entre os dias de semana e os fins de semana.



**Figura 13** – Movimentos Médios totais, por dia de semana- fim de semana, em SDU, no período 2019-2021.

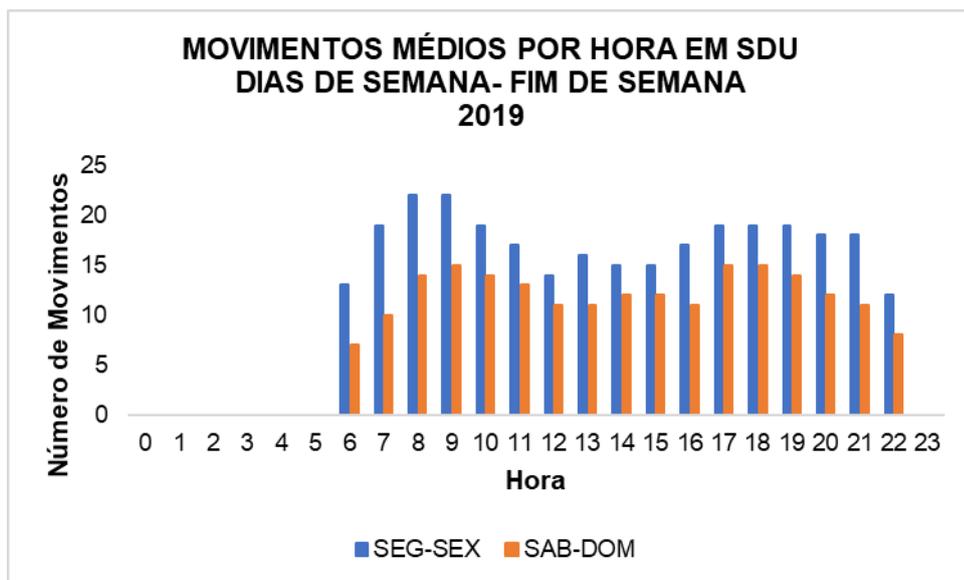
Em termos comparativos, considerando todos os dias de semana, verifica-se, pela **Figura 14**, a redução de movimentos em todos os dias de semana, em 2020, a retomada dos movimentos em 2021 e a marcante diferença no ciclo dias de semana-fim de semana. De modo sutil, mas evidente, constata-se que as quintas e sextas feiras maiores movimentos de aeronaves e, conseqüentemente, de passageiros.



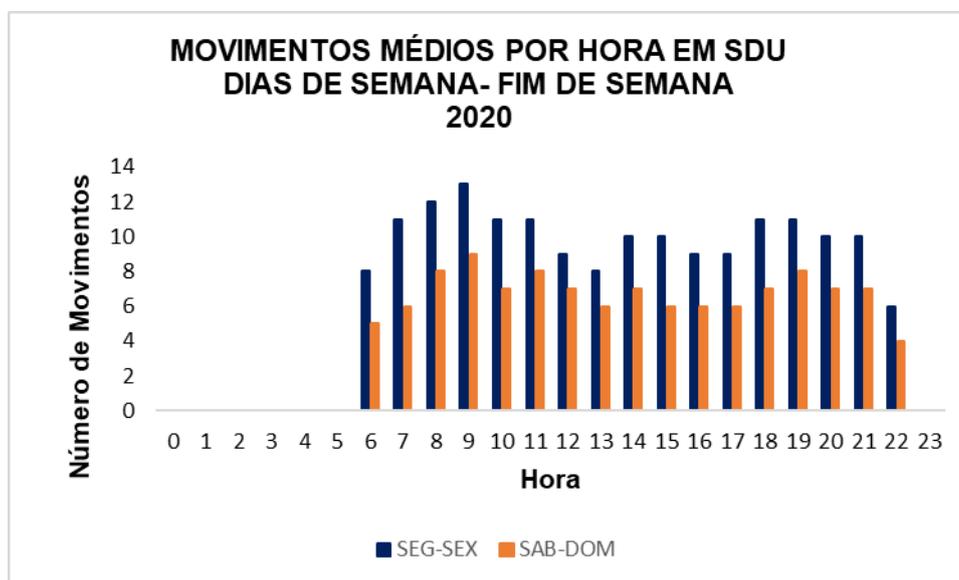
**Figura 14** – Médias diárias (por dia de semana) de movimentos em SDU, no período 2019-2021.

As **Figuras 15, 16 e 17** mostram os perfis de movimentos a cada hora do dia, considerando o ciclo dias de semana-fim de semana, respectivamente para os anos de 2019, 2020 e 2021.

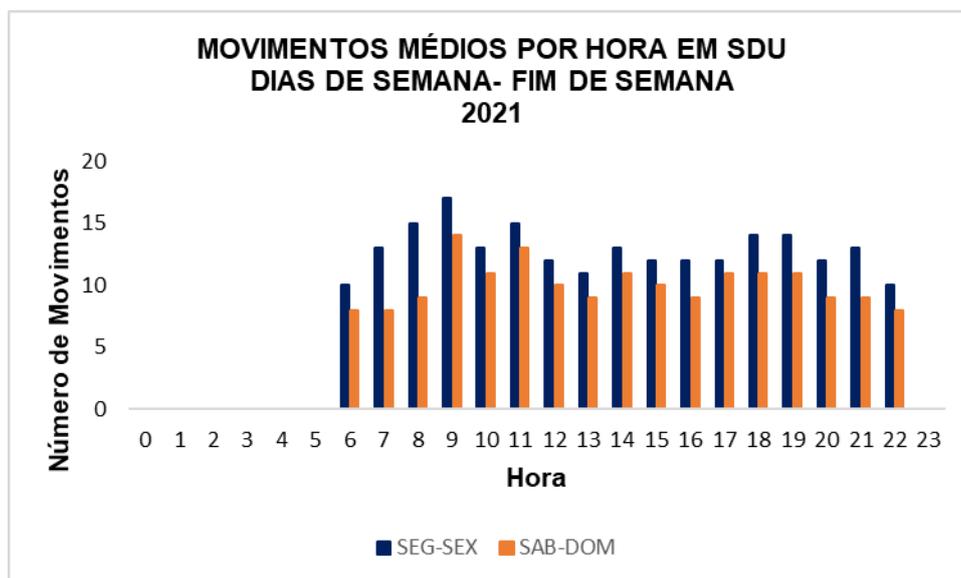
Partindo do princípio de que, por limitações ambientais, o horário permitido para as operações aéreas no aeroporto Santos Dumont é das 6:00 h às 22:00 h, observa-se em todos os anos, independentemente da pandemia COVID-19, um perfil bem característico, com picos de movimentos nos horários da manhã (entre 8:00 h e 9:00 h) e da noite (entre 18:00 h e 19:00 h), ao que tudo indica, em função das operações da Ponte Aérea Rio – São Paulo. Os horários de menores totais de movimentos de aeronaves, além dos extremos de funcionamento do aeroporto, ocorrem na parte da tarde, entre 14:00 h e 15:00 h.



**Figura 15** – Movimentos Médios, por hora e dia de semana- fim de semana em SDU, em 2019.



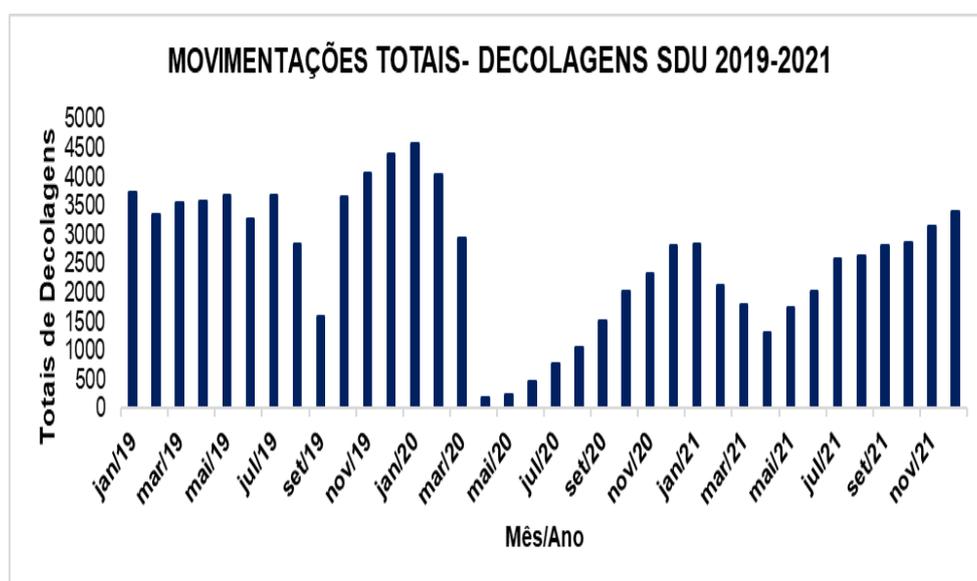
**Figura 16** – Movimentos Médios, por hora e dia de semana- fim de semana em SDU, em 2020.



**Figura 17** – Movimentos Médios, por hora e dia de semana- fim de semana em SDU, em 2021.

A **Figura 18** apresenta o gráfico temporal correspondentes aos movimentos totais mensais de aeronaves que operam no aeroporto Santos Dumont no período de 2019 a 2021. Onde se percebe nitidamente a 1ª onda de pico da COVID-19 em março-abril de 2020, bem como a 2ª onda da pandemia, com recordes de mortes e internações, em

março-abril de 2021. Os reflexos na movimentação de aeronaves foram imediatos, promovendo reduções significativas de operações no aeroporto Santos Dumont.



**Figura 18** – Movimentações totais (Ciclo LTO) de aeronaves em SBRJ, de 2019 a 2021.

Dando início ao agrupamento de voos por tipo de equipamento, para fins de cálculos das emissões no Ciclo LTO, foi levantada a movimentação mensal no período 2019-2021, conforme mostra a **Figura 19**.

Feito isso, observa-se a dinâmica das aeronaves usadas nas operações, algumas delas de modo contínuo, outras eventuais e algumas substituídas em algum momento. Os equipamentos mais frequentes nas operações são: A319 e A320 (da AIRBUS), AT72 (da Avions de Transport Regional), B737 e B738 (da BOEING) e E190 e E195 (da EMBRAER).

A **Figura 19** foi subdividida em 2 partes sequenciais, cada qual com os gráficos de 6 tipos de equipamentos.

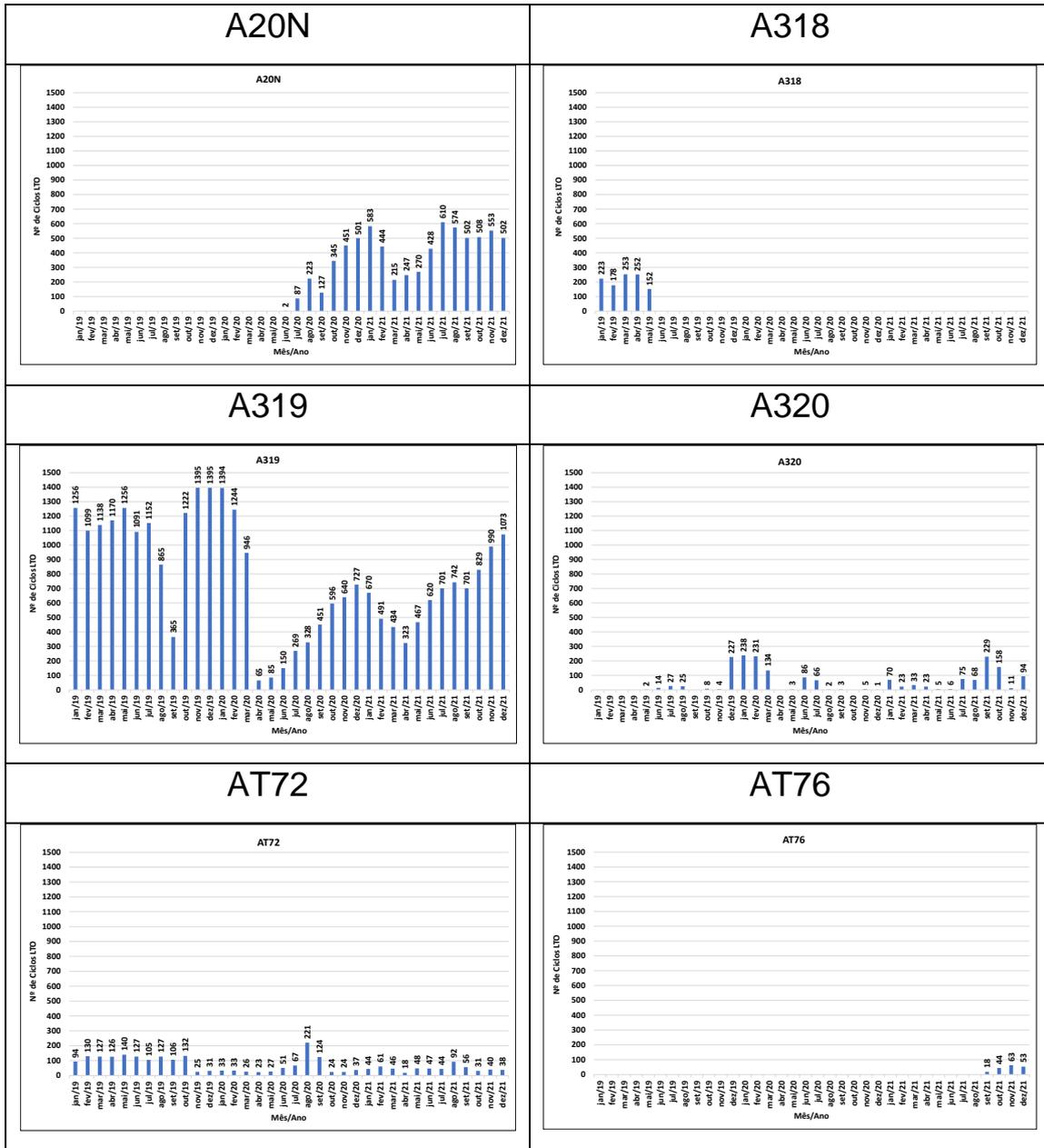


Figura 19 – Movimentações totais (Ciclo LTO) por tipo de equipamento em SDU, no período 2019-2021.

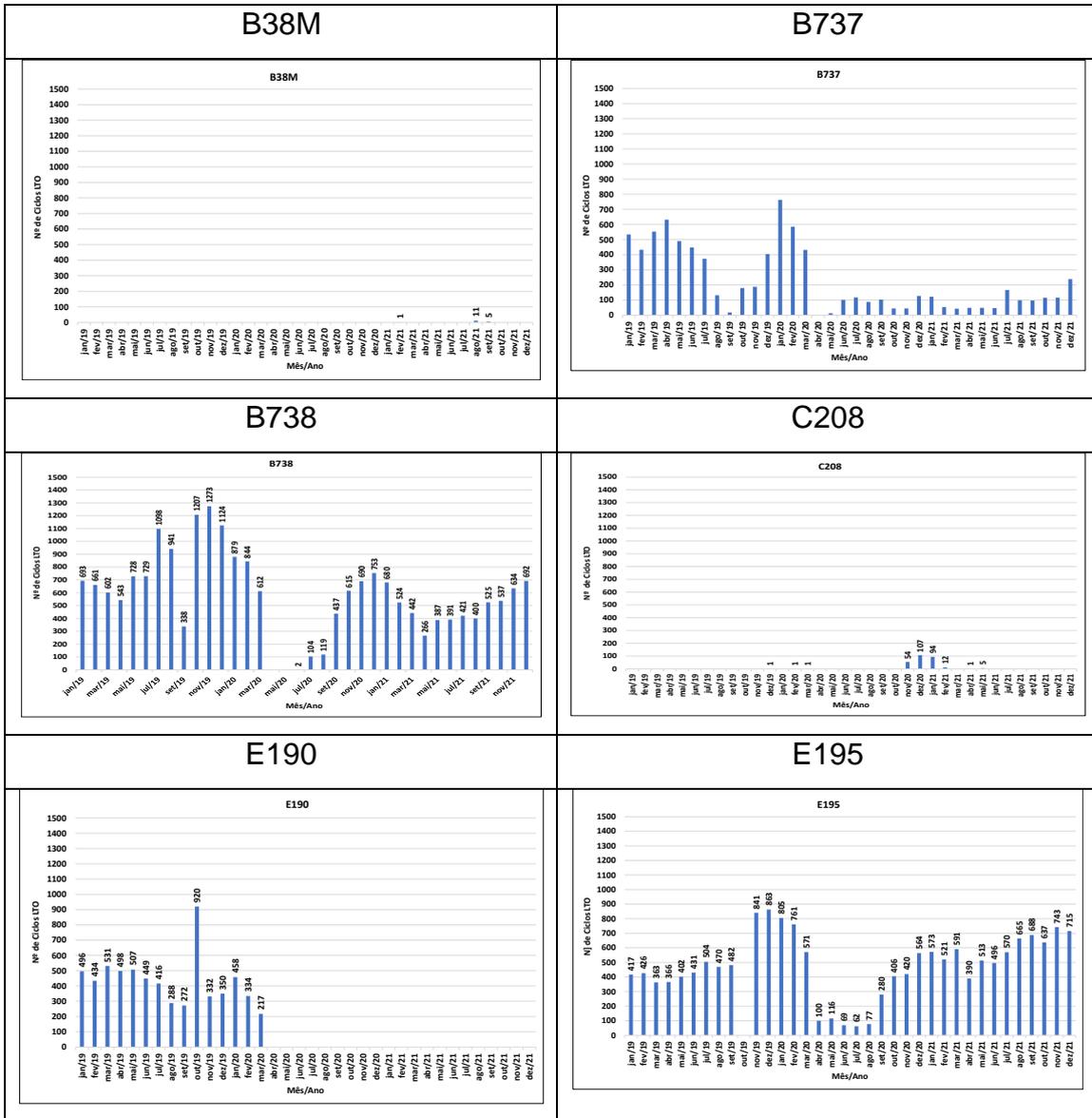


Figura 19 (cont) – Movimentações totais (Ciclo LTO) por tipo de equipamento em SDU, no período 2019-2021.

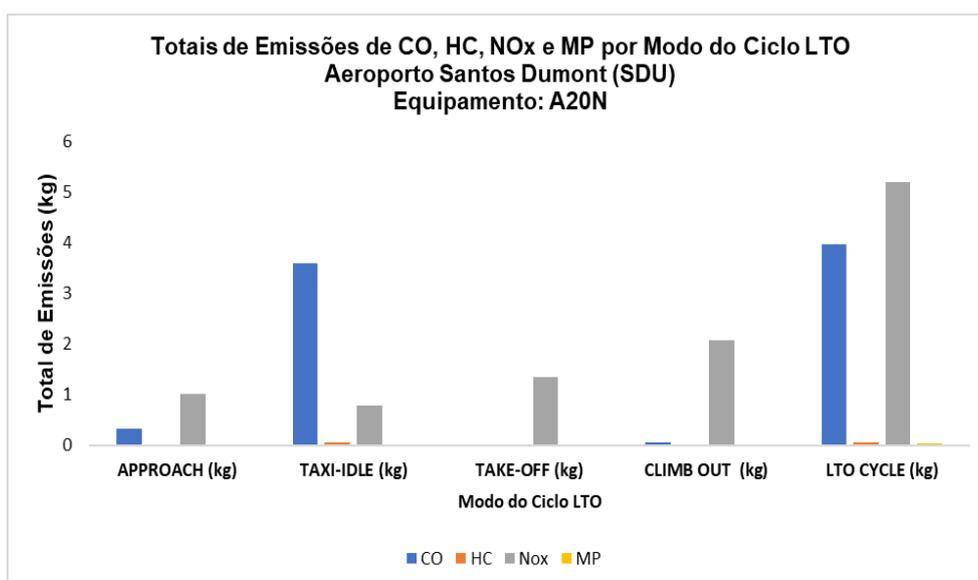
Pode-se observar a maior operacionalidade do equipamento A319 e que em seu gráfico fica bastante nítido os meses de pico de COVID-19, pela redução de movimentos: março-abril de 2020 e março-abril-2021.

## 5.2 EMISSÕES DO CICLO LTO

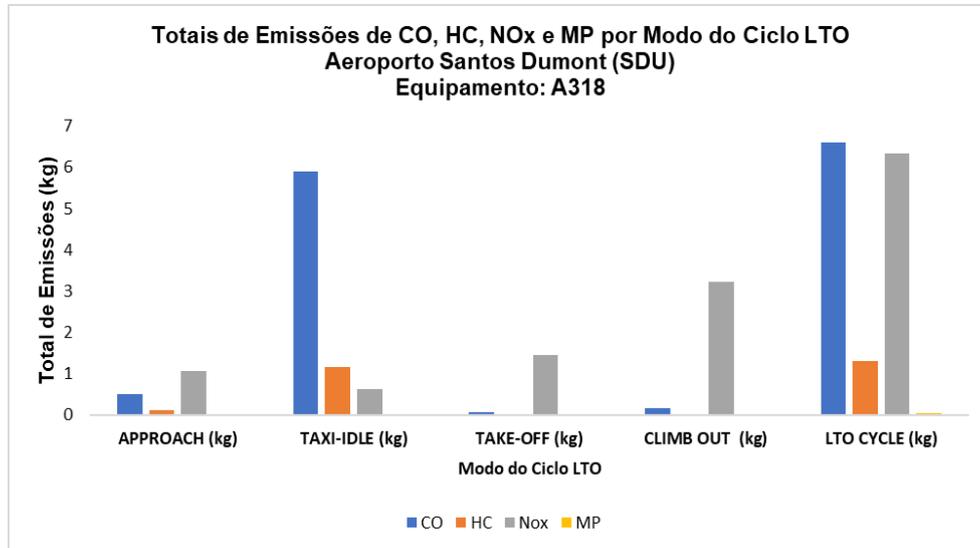
As estimativas de emissões são apresentadas de modo combinado, considerando os tipos de equipamentos, o tipo de poluente (CO, HC, NOx e MP) e o modo/fase do Ciclo LTO. Vale registrar que não foi possível estimar as emissões de MP para os equipamentos AT72 e AT76, uma vez que seus fatores de emissão não estavam disponíveis nas bases consultadas.

As **Figuras 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 e 31** apresentam, respectivamente, os totais de emissões de CO, HC, NOx e MP, para os equipamentos: A20N, A318, A319, A320, AT72, AT76, B38M, B737, B738, C208, E190 e E195, por modo do Ciclo LTO e total no Ciclo LTO, das aeronaves que operaram em SBRJ no período 2019-2021.

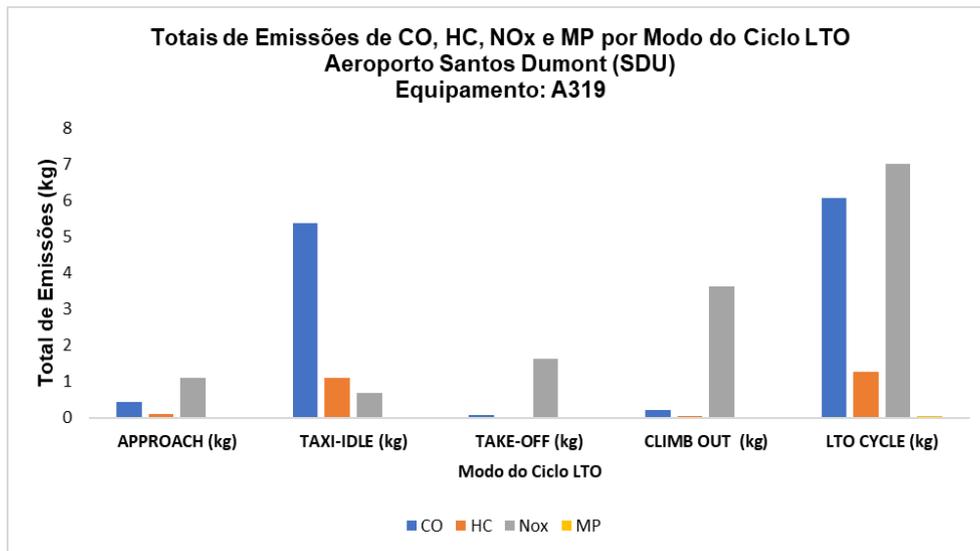
Uma análise das **Figuras** leva a uma primeira e importante observação, quanto às mais elevadas emissões no modo taxiamento/espera, para todo os equipamentos. De fato, em menores potências, os motores das aeronaves são menos eficientes na combustão, gerando maior quantitativo de emissões de monóxido de carbono. Os impactos potenciais dessas emissões se dão, principalmente, no pátio e imediações.



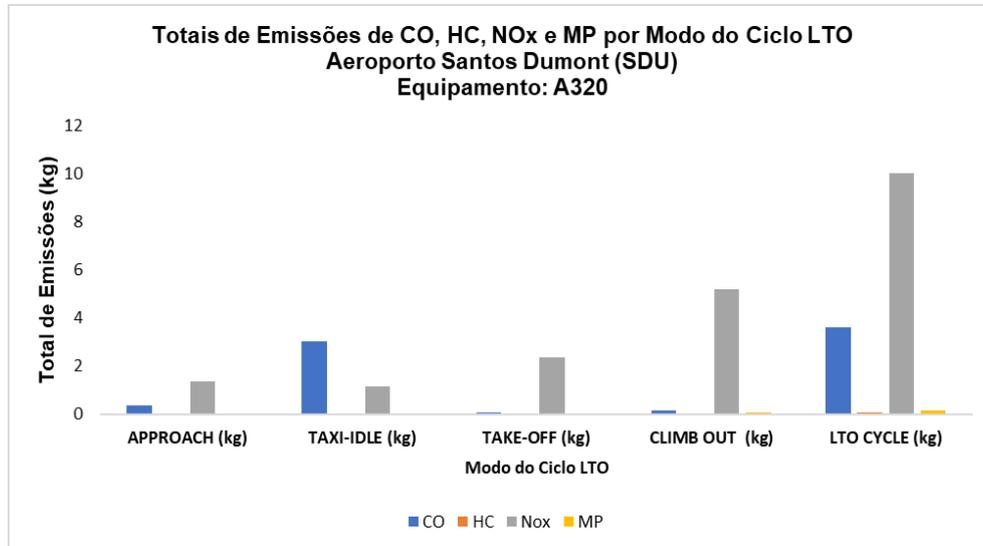
**Figura 20**– Totais de emissões de CO, HC, NOx e MP, para o equipamento A20N, por modo do Ciclo LTO, em SDU, no período 2019-2021.



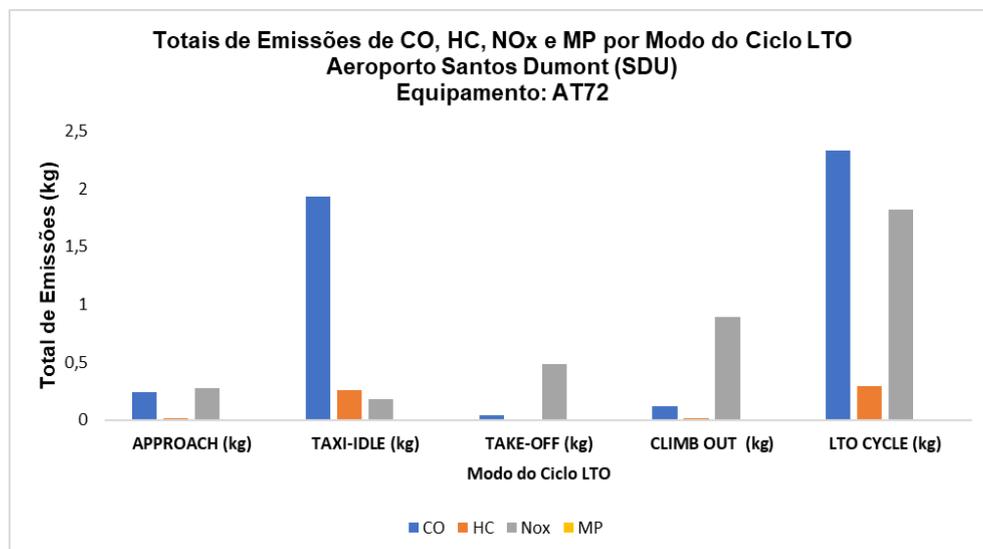
**Figura 21** – Totais de emissões de CO, HC, NOx e MP, para o equipamento A318, por modo do Ciclo LTO, em SDU, no período 2019-2021.



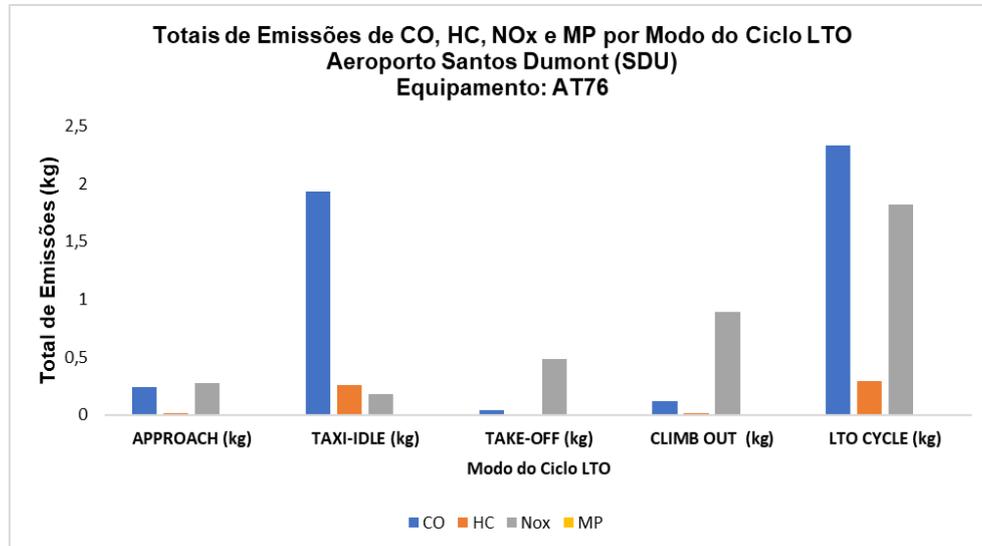
**Figura 22**– Totais de emissões de CO, HC, NOx e MP, para o equipamento A319, por modo do Ciclo LTO, em SDU, no período 2019-2021.



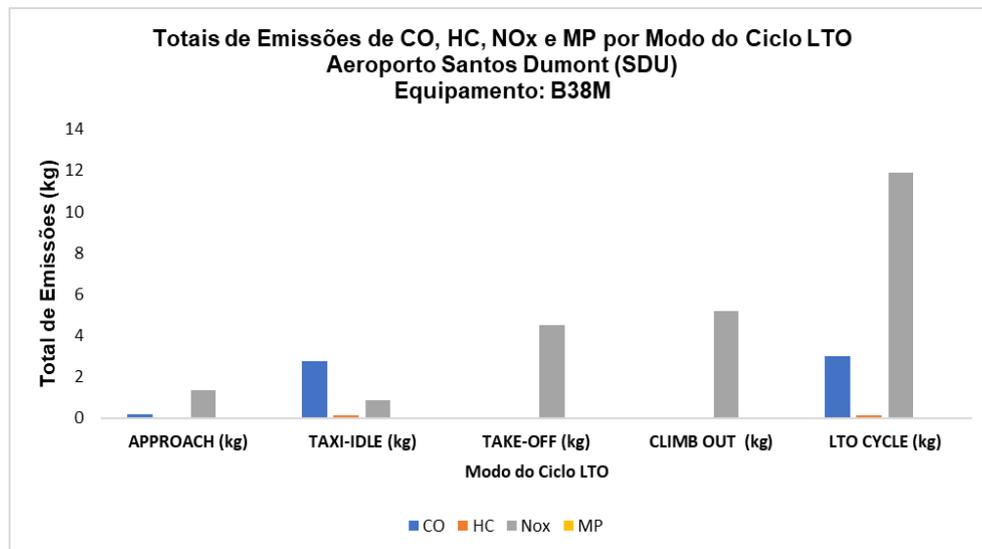
**Figura 23**– Totais de emissões de CO, HC, NOx e MP, para o equipamento A320, por modo do Ciclo LTO, em SDU, no período 2019-2021.



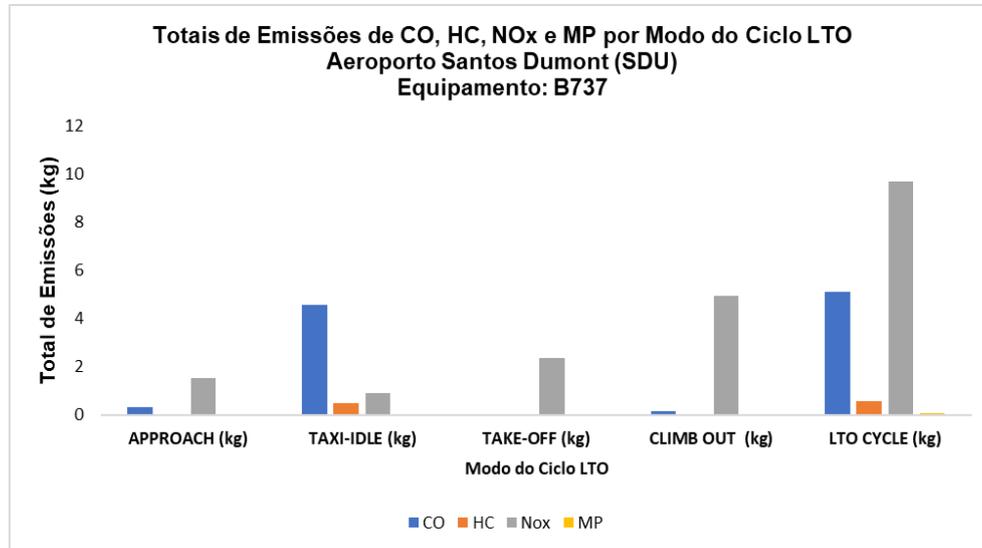
**Figura 24**– Totais de emissões de CO, HC, NOx e MP, para o equipamento AT72, por modo do Ciclo LTO, em SDU, no período 2019-2021.



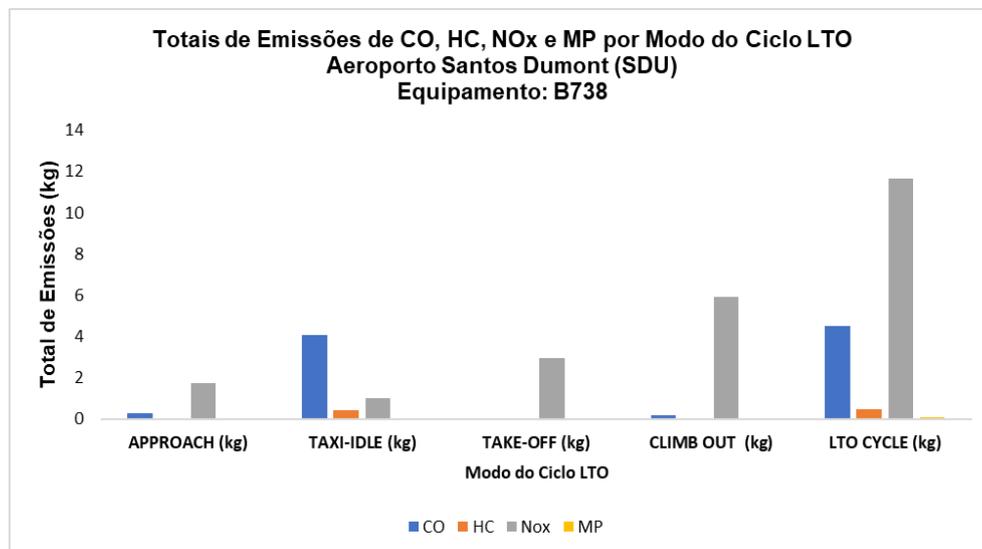
**Figura 25**– Totais de emissões de CO, HC, NOx e MP, para o equipamento AT76, por modo do Ciclo LTO, em SDU, no período 2019-2021.



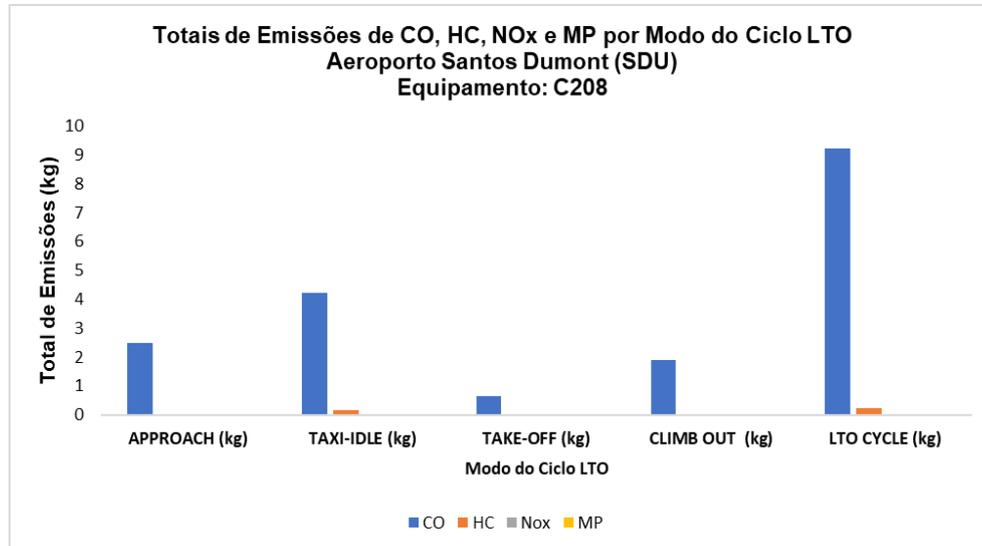
**Figura 26**– Totais de emissões de CO, HC, NOx e MP, para o equipamento B38M, por modo do Ciclo LTO, em SDU, no período 2019-2021.



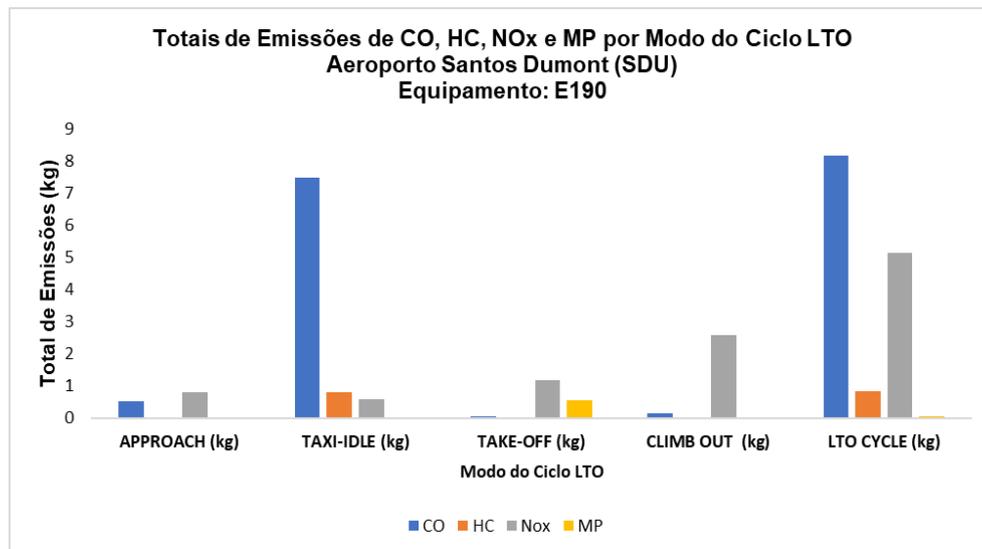
**Figura 27**– Totais de emissões de CO, HC, NOx e MP, para o equipamento B737, por modo do Ciclo LTO, em SDU, no período 2019-2021.



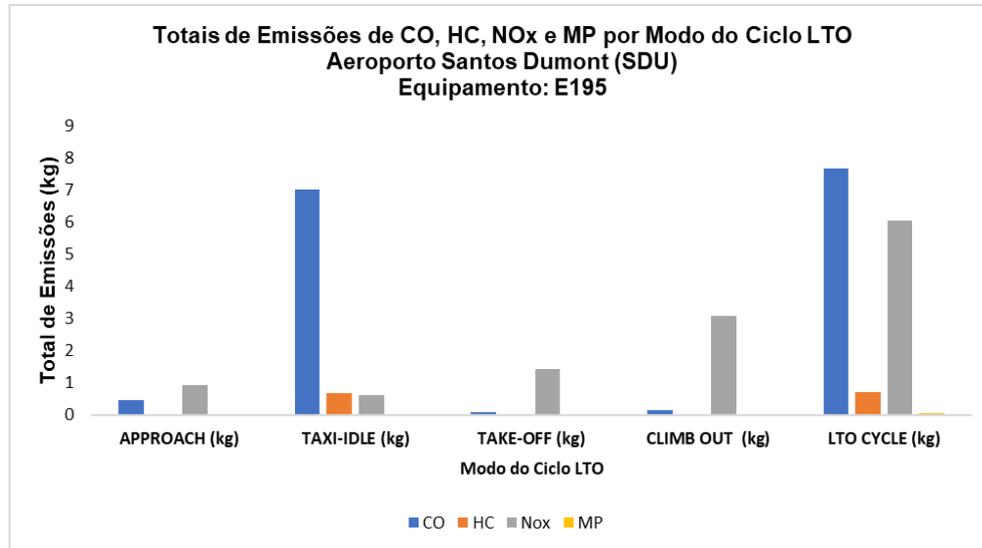
**Figura 28**– Totais de emissões de CO, HC, NOx e MP, para o equipamento B738, por modo do Ciclo LTO, em SDU, no período 2019-2021.



**Figura 29** – Totais de emissões de CO, HC, NOx e MP, para o equipamento C208, por modo do Ciclo LTO, em SDU, no período 2019-2021.

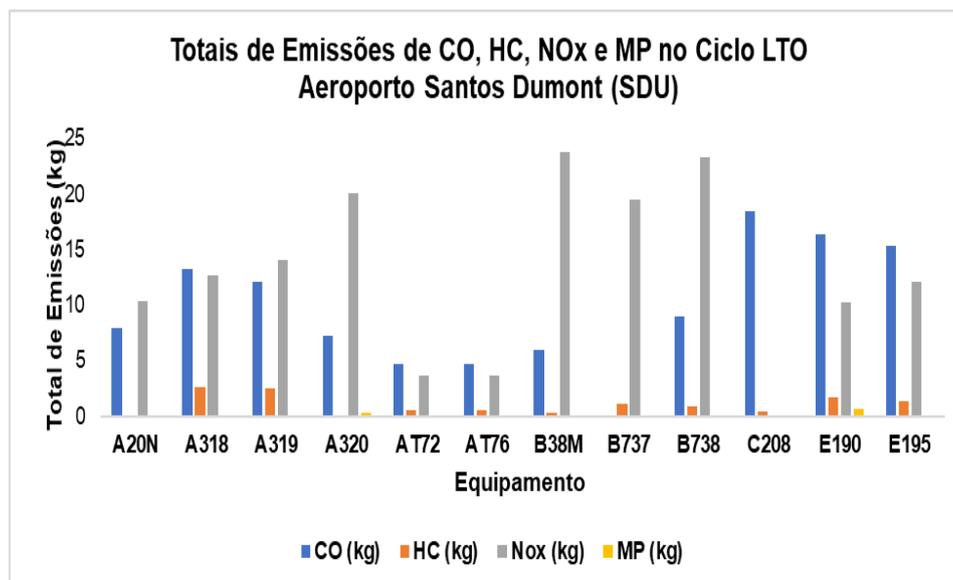


**Figura 30** – Totais de emissões de CO, HC, NOx e MP, para o equipamento E190, por modo do Ciclo LTO, em SDU, no período 2019-2021.



**Figura 31** – Totais de emissões de CO, HC, NOx e MP, para o equipamento E195, por modo do Ciclo LTO, em SDU, no período 2019-2021.

A **Figura 32** apresenta uma análise comparativa dos totais de CO, HC, NOx e MP emitidos no Ciclo LTO por cada modelo de aeronave que operou em SDU no período 2019-2021.



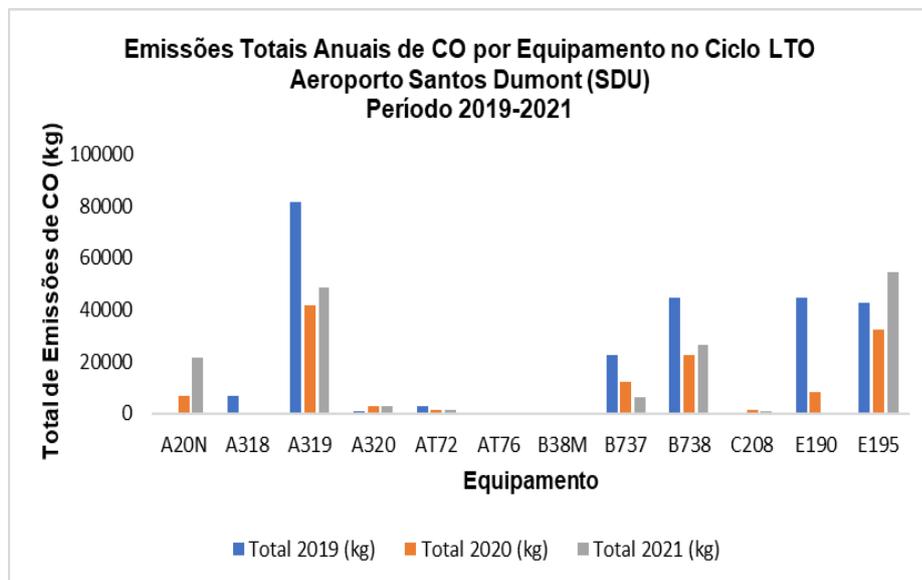
**Figura 32** – Totais de emissões de CO, HC, NOx e MP, no Ciclo LTO em SDU, no período 2019-2021.

Dentre a muitas conclusões que a figura permite extrair, destacam-se os elevados totais de emissões de Nox para os equipamentos B38M e B738, possivelmente em função de seus portes e pesos.

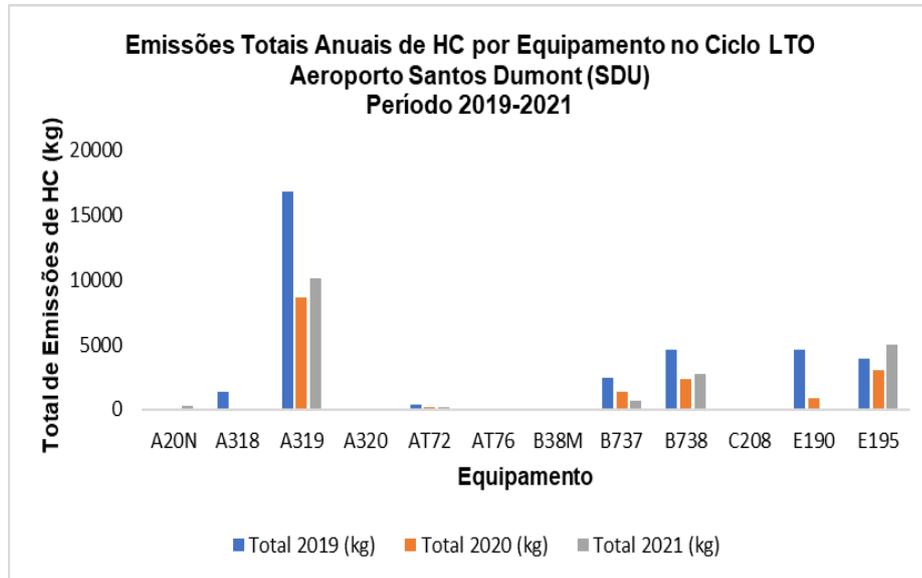
Outra observação é quanto a proporção de emissões de CO em relação a NOx, em alguns equipamentos, como no A318, E190 e E195, cujos totais emitidos no Ciclo LTO são mais elevados que o segundo.

As **Figuras 33, 34, 35 e 36** apresentam, respectivamente, os totais anuais de emissões de CO, HC, NOx e MP, por equipamento, em SBRJ, no período 2019-2021.

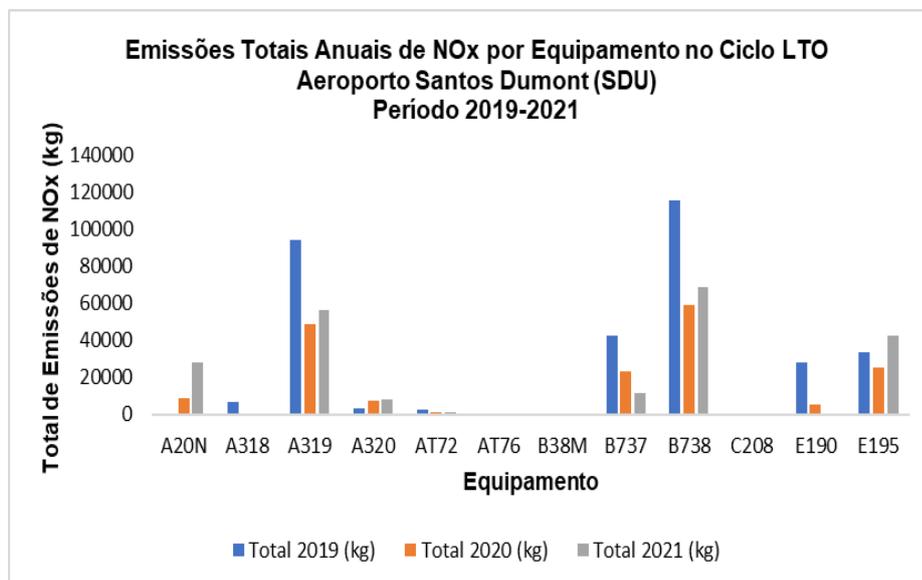
Observa-se que os maiores totais anuais de emissões, para todos os poluentes, estão associados aos equipamentos A319, E195, E190, B737e B738, basicamente, em função de seus maiores números de movimentos em cada ano e no período como um todo.



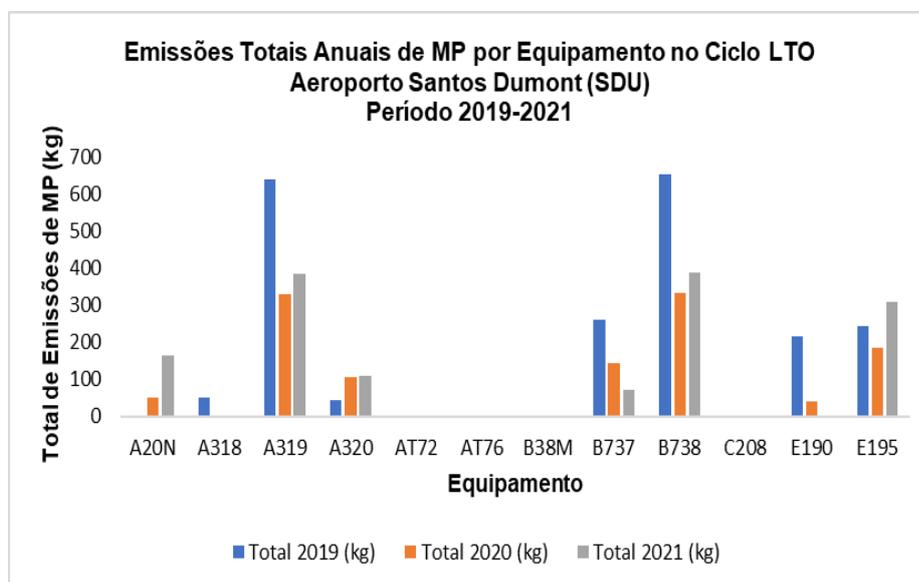
**Figura 33** – Emissões totais anuais de CO no Ciclo LTO, por equipamento em SDU, no período 2019-2021.



**Figura 34** – Emissões totais anuais de HC no Ciclo LTO, por equipamento em SDU, no período 2019-2021.



**Figura 35** – Emissões totais anuais de NOx no Ciclo LTO, por equipamento em SDU, no período 2019-2021.



**Figura 36** – Emissões totais anuais de MP no Ciclo LTO, por equipamento em SDU, no período 2019-2021.

As emissões de MP são relativamente baixas para todos os equipamentos. Contudo, por sua pequena granulometria, se configura como um poluente impactante, sobretudo para o pessoal que trabalha no pátio e arredores próximos.

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As análises realizadas permitiram evidenciar a significativa redução da movimentação de aeronaves no aeroporto Santos Dumont no ano crítico da Pandemia COVID-19, principalmente em momentos críticos, com altas taxas de contágio e mortalidade da população, em março-abril de 2020 (1ª onda) e em março-abril de 2021 (2ª onda). As taxas de emissões de todos os poluentes considerados (CO, HC, Nox e MP) caíram significativamente em relação ao de 2019 e no segundo semestre de 2021, quando a tendência de retomada a normalidade deu sinais de força.

Pode-se constatar que em todos os modos do Ciclo LTO, as emissões de poluentes se dão, em maior ou menor quantidade, mas principalmente o CO se destaca em razão de apresentar maiores proporções durante as operações de pátio, em

taxiamento e espera da aeronave, trazendo implicações de riscos potenciais à saúde das pessoas que trabalham em áreas abertas do aeroporto e também naquelas que se encontram em atividades, sobretudo nos dias de semana, nas instituições vizinhas, principalmente, em unidades militares da Aeronáutica (DECEA) e Marinha (Ilha das Cobras, Ilha Fiscal e Escola Naval).

Considerando a grande movimentação de voos no aeroporto Santos Dumont, o desconhecimento sobre as condições de qualidade do ar em suas áreas internas e externas de entorno, as características evidenciadas nas estimativas de emissões e os riscos potenciais a que os trabalhadores do próprio aeroporto, instituições militares e civis vizinhas, recomenda-se, de imediato, a implementação de uma rede de monitoramento da qualidade do ar, para que um diagnóstico seja feito e subsidie um plano de gestão da qualidade do ar.

## REFERÊNCIAS

ACI EUROPE Environmental Strategy Committee. Airports Council International. Bruxelas. 2012.

AFUBRA Associação dos Fumicultores do Brasil, 2004. **Composição do Ar**. Disponível em: <<http://www.ambicenter.com.br>> Acesso em: 15/05/2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). Dados estatísticos do Aeroporto Santos Dumont/RJ. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br>. Acesso em: 19/08/2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). RBAC 34: Requisitos para drenagem de combustível e emissões de escapamento de aviões com motores a turbina. Brasília, 2013. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br>. Acesso em: 15/09/2020.

AIRBUS. Sustainable Aviation- Environmental Innovations. 2012. Acesso em: 29/04/2020.

AIRFRANCE, 2005. **Sustainability report 2004/5**. França.

ALBAN, M., 2002. **Transportes e Logística—os modais e os desafios da multimodalidade na Bahia**. Cadernos da Fundação Luís Eduardo Magalhães. Salvador, p74-93.

ALMEIDA, I. T., 1999. **A Poluição Atmosférica por Material Particulado na Mineração a Céu Aberto**. Tese de M. Sc., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

ANACpédia. Agência Nacional de Aviação Civil. Disponível em: [https://www2.anac.gov.br/anacpedia/por\\_por/porpor.htm](https://www2.anac.gov.br/anacpedia/por_por/porpor.htm). Acesso em: 7 de julho de 2022.

A NOTÍCIA, 1998. **Santos Dumont será reconstruído em um ano.** País, (Abr). Disponível em:<<http://www.an.uol.com.br/1998/fev/14/0pai.htm>> Acesso em:14/08/2022.

ARRUDA, L., QUELHAS, O. L. G. “Sustentabilidade: um Longo Processo Histórico de Reavaliação Crítica da Relação Existente entre a Sociedade e o Meio Ambiente”. Boletim Técnico do Senac: a Revista de Educação Profissional (2010), v. 36, nº. 3, 53 – 63.

BARCELLOS, J. A., 2001. **Aeroporto e Meio Urbano: uma análise das legislações aeronáutica e urbanística em relação aos municípios de Campinas e Ribeirão Preto.** Tese de M. Sc., Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Campinas, São Paulo, Brasil.

BENITO, A.,2005. **Develop inganational aviation emission inventory for emission strading application.** IX Air Transport Research Society World Conference. Rio de Janeiro, Brasil, 3-7 Julho.

BETING, G., 2003. **Aeroporto Santos Dumont.** Disponível em: <[http://www.jetsite.com.br/mostra\\_aeroporto.asp?codi=59](http://www.jetsite.com.br/mostra_aeroporto.asp?codi=59)>Acesso em: 14/08/2022.

BRAGA, ALFESIO; PEREIRA, LUIZ ALBERTO AMADOR, SALDIVA, PAULO HILÁRIO NASCIMENTO. **Poluição atmosférica e seus efeitos na saúde humana.** Campinas: UNICAMP, 2002. v. 18. Trabalho apresentado no evento de sustentabilidade na geração eu sou de energia.

BRANCO, SAMUEL MURGEL, EDUARDO. Poluição do ar. São Paulo: Moderna, 1995.87 p.

BRASIL, 1986. Lei nº 7.565, de 19 de dezembro de 1986. Dispõe sobre o Código Brasileiro de Aeronáutica (CBA). 1986. Publicado no D.O.U. em 20/12/1986. Disponível em: . Acesso em: 05 jun. 2020.

\_\_\_\_\_. Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre definições, responsabilidades, critérios básicos e diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental. Diário Oficial da União, Brasília.

BRASIL, 1990 Resolução CONAMA nº 003, de 28 de junho de 1990. Estabelece os padrões primários e secundários de qualidade do ar e ainda os critérios para episódios agudos de poluição do ar. Diário Oficial da União, Brasília.

BRASIL, 1993. Resolução CONAMA nº 08, de 31 de agosto de 1993. Complementa a Resolução nº 18/86, que institui, em caráter nacional, o Programa de Controle da Poluição do ar por Veículos Automotores - PROCONVE, estabelecendo limites máximos de emissão de poluentes para os motores destinados a veículos pesados novos, nacionais e importados. Datada legislação:31/08/1993 – Publicação DOU: 31/12/1993. Diário Oficial da União, Brasília.

BRASIL, 2002. Resolução CONAMA nº 315, de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre as novas etapas do Programa de Controle de Emissões Veiculares-PROCONVE. Data da legislação: 29/10/2002 – Publicação DOU: 20/11/2002, Seção I. Diário Oficial da União, Brasília.

BRASIL, 2004. Ministério de Minas e Energia. **BEN–Balanço Energético Nacional**. Brasília. Disponível em:<<http://www.mme.gov.br>>Acesso em:25/09/2021.

BRETTAS, L. A. M., 2001. Gestão Ambiental em Companhias de Aviação: um estudo de caso na Varig. Tese de M. Sc., COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

BRIDGMAN, H. **Global air pollution**. London: Bellhaven Press; United Kingdom, 1990.

CABRAL, S. D., 2004. **Análise dos Impactos de Medidas de Engenharia de Tráfego no Padrão de Emissões Veiculares de Poluentes – uma abordagem microscópica**.

Tese de D.Sc., COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

CALDAS, T. C. M., 1993. **O Impacto de Aeroportos no Meio Urbano: uma análise das possibilidades de gerenciamento**. Tese de M. Sc., PUR/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

CANÇADO, JOSÉ EDUARDO DELFINI. Poluição atmosférica e saúde humana. In: CONGRESSO DE PNEUMOLOGIA E TISIOLOGIA DO CENTRO OESTE, 6., 2009, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: Sociedade de Pneumologia e Tisiologia de Mato Grosso, 2009. 8 p.

CARLIER, S.; LEPINAY, I.; SMITH, J. MFF2 Project – Global Aviation Emission Study. Paris: 2004. Disponível em: Acesso em: 20/06/2021.

CARSALADE, A. M. Interações entre Mudanças Climáticas Globais e Poluição Atmosférica Local: Implicações para a Expansão do Setor Elétrico Brasileiro. 2013. Dissertação de Mestrado, PPE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2013.

CETESB- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2004a. **Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo - 2015**. São Paulo. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>> Acesso em: 05/10/2021.

CGNA - Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea. Anuário Estatístico de Tráfego Aéreo | 2019. DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). Rio de Janeiro. 2020. Disponível em: [http:// portal. cgna.decea.mil.br/ files/uploads/ anuario\\_ estatistico/anuario\\_estatistico\\_2019.pdf](http://portal.cgna.decea.mil.br/files/uploads/anuario_estatistico/anuario_estatistico_2019.pdf). Acesso em: 03/08/2022.

CGNA - Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea. Anuário Estatístico de Tráfego Aéreo | 2020. DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). Rio de Janeiro. 2021. Disponível em: [http://portal.cgna.decea.mil.br/files/uploads/anuario\\_estatistico/anuario\\_estatistico\\_2020.pdf](http://portal.cgna.decea.mil.br/files/uploads/anuario_estatistico/anuario_estatistico_2020.pdf). Acesso em: 03/08/2022.

CGNA - Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea. Anuário Estatístico de Tráfego Aéreo | 2021. DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). Rio de Janeiro. 2022. Disponível em: [http://portal.cgna.decea.mil.br/files/uploads/anuario\\_estatistico/anuario\\_estatistico\\_2021.pdf](http://portal.cgna.decea.mil.br/files/uploads/anuario_estatistico/anuario_estatistico_2021.pdf). Acesso em: 03/08/2022.

CGNA - Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea. PREVISÃO DE DEMANDA PARA O QUINQUÊNIO 2021-2025. DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). Rio de Janeiro. 2021.

Disponível em: [http://portal.cgna.decea.mil.br/files/abas/2021-02-20/painel\\_prev\\_anual\\_demanda/0151-painel\\_prev\\_anual\\_demanda\\_p2.pdf](http://portal.cgna.decea.mil.br/files/abas/2021-02-20/painel_prev_anual_demanda/0151-painel_prev_anual_demanda_p2.pdf). Acesso em: 03/08/2022.

CHEN, S. H.; LIN, Y. L. "Orographic Effectson a Conditionally Unstable Flow Over na Idealized Three-dimensional Meso scale Mountain". Meteorology and Atmospheric Physics (2005), 88, 1 – 21.

CLIMATEMPO,2021.**A melhor previsão do tempo para o Brasil**. Disponível em:<<http://www.climatempo.com.br>>Acessoem:20/08/2022.

CONAR - Congresso Nacional de Aviação Regional, 2017. Disponível em: <<http://www.conar.com.br>>Acessoem:17/03/2021.

COTTIS, N.; MORRELL, P. Environmental and Health Impact of Aviation. European Parliament. Directorate General For Research (EP/IV/A/STOA/2000/07/02). Luxembourg. 2001. 42 p.

CUBAS JR, M. A. P., 2004. **Contribuição para Metodologia de Análise do Impacto da Performance de Aeronaves na Relação Demanda-Oferta em Transporte Aéreo: o caso do aeroporto Santos Dumont.** Tese de M. Sc., COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

DAC – Departamento de Aviação Civil, 1991. **Termo de Referência para a Elaboração de Estudo de Impacto Ambiental para Aeroportos.** Acesso em: 14/07/2022.

DAC – Departamento de Aviação Civil, 2016. Disponível em:<<http://www.dac.gov.br/estatistic>> Acesso em:10/08/2021.

DECEA – Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Tabelas Climatológicas (TCA 105-7). Força Aérea Brasileira. 2014. Disponível em: <https://publicacoes.decea.mil.br/publicacao/tca-105-7>. Acesso em: 14/07/2022.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). Códigos Meteorológicos METAR e SPECI – FCA 105-3. 2012. Publicado no BCA nº 182 de 21 de setembro de 2012. Disponível em: . Acesso em: 03/06/2021.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). Serviço de Gerenciamento de Fluxo de Tráfego Aéreo – ICA 100-22. 2010. Publicado no BCA nº 108, de 11 de junho de 2010 Disponível em: . Acesso em: 03/06/2021.

DERISIO, JOSÉ CARLOS. **Introdução ao controle de poluição ambiental.** 2. ed. São Paulo:Signus,2000.

DIAS, F., 2005. **O desafio do espaço público nas cidades do século XXI.** Arqutextos – periódicomensaldetextosdearquitetura.Disponívelem:<<http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp312.asp>>Acessoem: 02/03/2019.

Embraer,2021. **Commercial Jets**.Embraer Market Outlook- Environmental Emissions. Acesso em: 14/07/2022.

.Environmental Protection Agency,2005b.**SourcesofIndoorAirPollution-Organic Gases** (Volatile Organic Compounds - VOCs). Disponível em: <<http://www.epa.gov>> Acesso em: 02/05/2019.

ESPÍRITO SANTO Jr., R. A., 2003a. **Políticas, oportunidades e desafios para o binômio transporte aéreo-turismo no Brasil**. I Prêmio Nacional EBAPE-FGV/EMBRATUR de Monografias e Estudos de Caso do Setor de Turismo.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). Air Pollutant Emission Inventory Guide Book. 2009. Disponível em: . Acesso em: 14/06/2020.

EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE (EESC). “Redução das Emissões de CO<sub>2</sub> nos Aeroportos Graças a uma Nova Gestão Aeroportuária”. Jornal Oficial da União Europeia. (2008), 204, p. 39 – 42.

,2003b. **Transportes Aéreos**. Apostila de notas de aula da Escola politécnica– Departamento de Engenharia de Transporte/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

FAA. Aviation Emissions, Impacts & Mitigation: A Primer. FAA Office of Environment and Energy. 2015. Disponível em: [https://www.faa.gov/regulations\\_policies/policy\\_guidance/envir\\_policy/media/primer\\_jan2015.pdf](https://www.faa.gov/regulations_policies/policy_guidance/envir_policy/media/primer_jan2015.pdf). Acesso em: 14/08/2022.

FARIAS, HEITOR & OLIVEIRA, JORGE (2013). BACIAS AÉREAS: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA PARA O ESTUDO DA QULIDADE DO AR EM ÁREAS INFLUENCIADAS PELO RELEVO. Revista Brasileira de Climatologia. 12. 10.5380/abclima.v12i1.30081.

FARIAS, H. S. Indicadores Sintéticos de Qualidade de Vida Aplicados na Região Metropolitana do Rio de Janeiro: uma análise dos últimos Censos Demográficos - 2000/2010. **Revista Continentes**, Seropédica, Ano 4, n.6, p. 6-26, 2015.

FIGUEREDO FERRAZ–Consultoria e Engenharia de Projetos Ltda., 2003. RIMA–Relatório de Impacto Ambiental ,referente ao projeto de modernização e ampliação do aeroporto Santos Dumont.

FEEMA – Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente, 2004. **Inventário de fontes emissoras de poluentes atmosféricos da região metropolitana do RiodeJaneiro**. Maio/2004. Disponível em: <<http://www.feema.rj.gov.br>> Acesso em:15/04/2021.

FLAVIN, C., 2001. Planeta rico, planeta pobre. In: BROWN, L. R., **Estado do Mundo: relatório do World watch Institut e sobre o avanço em direção a uma sociedade sustentável**. Salvador. UMAE d.p3-21.

FOE–Friend softhe Earth,2005. **Aviation and global climate change**. Disponível em: <<http://www.foe.co.uk>>Acessoem:22/02/2021.

FORÇA AÉREA BRASILEIRA (FAB). Asas que protegem o País. Disponível em: <<https://fab.mil.br>>. Acesso em 16/05/2019.

GALESKI, E. de F. 2019. Impactos Ambientais das Operações Aeroportuárias. Monografia apresentada ao Curso de graduação em Ciências Aeronáuticas, da Universidade do Sul de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel. Universidade do Sul de Santa Catarina. Palhoça.

GDRG- The Global Development Research Center, 2002. **Introduction: Urban Environmental Management**. Disponível em: <<http://www.gdrc.org/uem/doc-intro.html>> Acesso em: 10/02/2021.

GOOGLE EARTH, 2022. **Aplicativo para vista aérea**. Disponível em: <<http://earth.google.com>> Acesso em: 17/08/2022.

GOLDNER, L.G., GOLDNER, N., PEDROZO, E.D., 2005. **Ground Access Mode Choice for two Major Airports in Southern Brazil**. Disponível em: <<http://redpgv.coppe.ufrj.br>> Acesso em: 30/08/2005.

GORDON, M. Jr., 2002. **Air Travel Market Outlook – Shaping the Future**. BOEING, USA.

GREENE E WEGENER, 1997; BEHNEN, 2004; AMAESHI e CRANE, 2006; PARTIDÁRIO e COUTINHO, 2011; FAZ ONE e MAGGIORE, 2014.

HC GALLERY, 2005. **História das Cidades – Rio sem Fronteiras Partel**. Disponível em: <<http://www.hcgallery.com.br/cidade19.htm>> Acesso em: 14/08/2021.

HOLLOWAY, S., 1997. Network Structures and Strategies. In: **Straight and Level: Practical Airline Economics**, Ashgate Publ., EUA.

IAC – Instituto de Aviação Civil, [200-a]. **Manual de Implementação de Aeroportos**.

, [200-b]. **Planejamento Urbano em Aeroportos**. Estudos Ambientais sem Aeroportos.

, 2005. Aeroporto Santos Dumont – Estudo de Capacidade.

IATA – International Air Transport Association, 2021. **Airport Infrastructure**. Disponível em: <<http://www.iata.org>> Acesso em: 14/07/2021.

IBGE–Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021. **IBGE investiga o meio ambiente de 5.560 municípios brasileiros.** Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br/brasil/rj/rio-de-janeiro/panorama>>Acessoem: 12/06/2021.

,2021b. **Perfil dos Municípios Brasileiros-Meio Ambiente 2021.** Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br>>Acessoem:12/06/2021.

.2021c. **Banco de Dados Agregados.** Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br>>Acessoem: 08/10/2005.

ICAO, “Anexo 16: Proteção Ambiental, Volume II -- Emissões de Motores de Aeronaves”, 2008. ACI, “Manual de Orientação: Gerenciamento de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Aeroportos”, 2009.

ICAO, “Manual de Qualidade do Ar Aeroportuário da Organização da Aviação Civil Internacional”, 2011.

ICAO, “Relatório Ambiental ICAO 2016 Aviation and Climate Change”, 2016.

INFRAERO– Infraestrutura Aeroportuária, 2021. **Aeroporto Santos Dumont.** Disponível em:<<http://www.infraero.gov.br> >Acesso em 14/08/2022.

INFRAERO. Relatório Ambiental, 2011. Disponível em:. Acesso em: 15/03/2020.

,2021. **Aeroportos brasileiros.** Disponível em: <[http://www.infraero.gov.br/aero\\_prev\\_hist.php?ai=109](http://www.infraero.gov.br/aero_prev_hist.php?ai=109)> Acesso em: 15/08/2022.

,2021. **Quantitativo de vôos por equipamento.** Statistical Information Management System (SIMS).

,2021. Superintendência do Aeroporto Santos Dumont.

,2021. **Manual de Planejamento Aeroportuário da Boeing.**

INMET–Instituto Nacional de Meteorologia, 2005. **Normais Climatológicas.** Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>Acessoem:01/05/2020.

IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change,1999. **Special Report on Aviation and the Global Atmosphere.** Cambridge, NewYork: Cambridge University Press.

IPCC Special Report: Aviation and the Global Atmospheric Summary for Policemakers Publicado para o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas WMO & UNEP. 23.p.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). Aviation and Climate Change – Environmental Report. Montreal/CA: 2010a. Disponível em: . Acesso em: 12/09/2020.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). Committee on Aviation Environmental Protection (CAEP/7) – Working Paper (WP/28). Montréal/CA: 2007. Disponível em: . Acesso em: 17/10/2020.

ISO,2000.ISO/TC59/SC3:“Building construction– sustainable buildings–sustainability indicators”. Annex1toN450.

KNEIB,E.C.,2004.CaracterizaçãodeEmpreendimentosGeradoresdeViagens:Contribuição Conceitual à Análise de seus Impactos no Uso, Ocupação e Valorização doSoloUrbano.TesedeM.Sc.,ENC/FT, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.

KURNIAWAN, J. S., KHARDI, S. "Comparison of methodologies estimating emissions of aircraft pollutants, environmental impact assessment around airports". *Environmental Impact Assessment Review* (2011), 31, 240 – 252.

LA ROVERE, E. L., 1990. Energia e Meio Ambiente. In: MARGULIS, S. **Meio Ambiente: aspectos técnicos e econômicos**. Rio de Janeiro, IPEA; Brasília, IPEA/PNUD.p11-33.

LEE, D. S.; PITARI, G., GREWE, V., GIERENS, K., PENNER, J. E., PETZOLD, A., PRATHER, M. J., SCHUMANN, U., BAIS, A., BERNTSEN, T., IACHETTI, D., LIM, L. L., SAUSEN, R. "Transport Impact on Atmosphere and Climate: Aviation". *Atmospheric Environment* (2010), 44, 4678 – 4734.

LORA, ELECTO EDUARDO SILVA. **Prevenção e controle da poluição nos setores energético, industrial e de transporte**. São Paulo: Interciência, 2002.

MAIA, L. F. P. G. Cenerização Espaço-Temporal dos Impactos da Qualidade do Ar na Bacia Aérea III pelo Aumento de Demanda do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro-Antônio Carlos Jobim (Galeão) 2005. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

MAIA, L. F. P. G. Relato pessoal. Avaliação do Teor de Benzeno Atmosférico na Área de Influência do Aeroporto Santos Dumont - Rio de Janeiro. 2022.

MANCE, E. A., 1999. **A cidade e os cidadãos**. Instituto de Filosofia da Libertação. Abril, Curitiba. Disponível em:<[www.milenio.com.br/mance/cidade.htm](http://www.milenio.com.br/mance/cidade.htm)> Acesso em:10/10/2021.

MARTINS, L. C.; LATORRE MDO, R.; CARDOSO, M. R.; GONÇALVES, F. L.; SALDIVA, P. H. and BRAGA, A. L. Air pollution and emergency room visits dueto pneumonia and influenza in São Paulo, Brazil. *Ver Saúde Pública*, v.36, n.1, Feb, p.88-94.2002.

MATTOS, L.B.R., 2001. **A Importância do Setor de Transportes na Emissão de Gases do Efeito Estufa – O caso do município do Rio de Janeiro.** M. Sc., COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

MAZAHERI, M., JOHNSON, G. R., MORAWSKA, L. “Particle and Gaseous Emissions from Commercial Aircraft at Each Stage of the Landing and Take off Cycle”. *Environmental Science and Technology* (2009), 43, 441 – 446.

MENDES, F.E., 2004. **Avaliação de Programas de Controle de Poluição Atmosférica por Veículos Leves no Brasil.** Tese de D. Sc., COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

MENDONÇA, A. V., 2005, Reforma que dobrará a capacidade do Aeroporto Santos Dumont. **O Globo**, (Jun). Rio, p.17.

MORGAN STANLEY, 2004. Prospecto definitivo de distribuição pública primária e secundária de ações preferenciais de emissão da GOL – linhas aéreas inteligentes S. A. São Paulo.

NETO, C E SOUZA, F (2011) *Airports in Brazil: Recent Investments, perspectives and concerns.* Technical Note 5. IPEA (*Institute of Applied Economic Research*). p. 1-24.

NOGUEIRA, R., 2004. **Prevendo o tempo, da janelado avião.** Disponível em: <<http://www.cosmopolisemrede.com.br>> Acesso em: 12/07/2021.

OLIVEIRA, J. L. F. **Análise espacial e modelagem atmosférica:** contribuições ao gerenciamento da qualidade do ar da bacia aérea III da região metropolitana do Rio de Janeiro. 2004. 144f. Tese (Doutorado em Ciências Atmosféricas) - COPPE - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

OLIVEIRA, L. G. A., 2003. **O Impacto do Setor de Transporte na Saúde Humana: o caso do material particulado da frota a diesel na cidade do Rio de Janeiro**. Tese de M. Sc., COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

OLIVEIRA, L.G.A., RIBEIRO, S.K., SANTOS, M.P.S.,2003. **Análise do Impacto da Concentração de Material Particulado Sobre a Saúde Pública: O Caso da População Idosa da Cidade do Rio de Janeiro**. *XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*,410-421, Rio de Janeiro, Brasil, 10-14 Novembro.

O'LIVEIRA-JÚNIOR, J. F., TERASSI, P. M. De B., GOIS, G. Estudo da Circulação dos Ventos na Baía de Guanabara/RJ, entre 2003 e 2013. *Revista Brasileira de Climatologia*. São Paulo, v.21, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v21i0.51492>. Acesso em:14/07/2022.

PENNER, J. E., LISTER, D. H., GRIGGS, D. J., DOKKEN, D J., MCFARLAND, M. *Aviation and the Global Atmosphere*. Cambridge University Press, p. 373. Nova Iorque: 1999. Disponível em: . Acesso em: 20/09/2020.

PEREIRAFILHO, A.J.,1998, **O Aeroporto e o Meio Ambiente**. III Encontro Ibero-Americano de Unidades Ambientais do Setor de Transporte. Disponível em: <<http://reder7.der.sc.gov.br/dersite/noticias/anais/iiiencontro/convidados/C5/principal.htm>> Acesso em:21/08/2021.

PETROBRAS. Petróleo Brasileiro S.A. 2013. Disponível em:. Acesso em: 04/09/2021.

PIMENTEL, L. C. G.; MARTON, E.; SILVA, M. S.; JOURDAN, P. Caracterização do regime de vento em superfície na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v.19, n.2, p. 121- 132, 2014.

PIRES, D.O. Inventário de Emissões Atmosféricas de Fontes Estacionárias e sua Contribuição para a Poluição do Ar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. 2005.

Dissertação de Mestrado. PPE/COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.  
Disponível em: . Acesso em: 04/04/2020.

PORTFOLIO, 2019. **Air Pollution– City Comparisons**. Disponível em:  
<<http://www.portfolio.mvm.ed.ac.uk/studentwebs/session4/27/citydiff.htm>>Acessoem:08/04/2021.

PORTUGAL, L. S., PORTO Jr, W, 2004. **Análise de sistemas de transporte**. Notas de aula de mestrado COPPE/PET/Universidade Federal do Rio de Janeiro.

REAL, M.V., D'AGOSTO, M.A., RIBEIRO, S.K., 2001. A contribuição aeroportuária na poluição atmosférica local: o caso do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro. Disponível em:<<http://www.ivig.coppe.ufrj.br/doc/pdf>>Acesso em: 09/06/2020.

REIS, M. M., 2004. **Eco eficiência na Utilização de Recursos Hídricos em Aeroportos**. Tese de M.Sc., COPPE/ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

RIBEIRO, S. K., REAL, M.V., GUIMARÃES, L. F.P., D'AGOSTO, M. A.,2001. **Plano de ação para a redução de emissão de poluentes atmosféricos em aeroportos** – Relatório COPPE/IVIG. Aplicação do aeroporto internacional do Rio de Janeiro Antônio Carlos Jobim– Galeão.

RIBEIRO, S. K.; REAL, M. V.; D'AGOSTO, M. De A.; MAIA, L. F. P. G. Plano de Ação para a Redução de Emissão de Poluentes Atmosféricos em Aeroportos. Aplicação ao Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro – Antonio Carlos Jobim. COPPE/UFRJ/INFRAERO. Rio de Janeiro. 2001.

ROBBINS, S. L.; COTRAN, R.S.; KUMAR, V. Patologia Básica. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 1992.

ROCHA, A. C. Estimativa Simulada das Emissões Atmosféricas Diárias da Aviação Civil Regular no Brasil em Um Dia Específico. 2012. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012.

ROSEIRO, MARIA NAZARETH VIANNA. Poluentes atmosféricos: algumas consequências respiratórias na saúde humana. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SAÚDE COLETIVA, 7., 2003, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: UnB, 2003. 12 p.

RUSSO, P. R., 2005. **Poluição atmosférica: refletindo sobre a qualidade ambiental e máre as urbanas**. Disponível em: <http://www.educacaopublica.rj.gov.br/biblioteca/geografia/geo05b.htm> Acesso em: 09/09/2020.

, 2003. Poluição ambiental. In: GUIMARÃES, M.,; SANTOS, M.A. **Introdução ao estudo das ciências ambientais**. Unigranrio. Duque de Caxias, Rio de Janeiro, p151-188.

SAC 2014 Secretaria de Aviação Civil (SAC). *Aeroportos brasileiros têm expansão recorde*. Disponível em: <<https://www.aviacaocivil.gov.br/noticias/2014/06/aeroportos-brasileiros-tem-expansao-recorde>>. Data de acesso: 12/12/2018.

SALDIVA, P. H.; LICHTENFELS, A. J.; PAIVA, P. S.; BARONE, I. A.; MARTINS, M. A.; MASSAD, E.; PEREIRA, J. C.; XAVIER, V. P.; SINGER, J. M. and BOHM, G. M. Association between air pollution and mortality due to respiratory diseases in children in São Paulo, Brazil: a preliminar report. *Environ Res*, v.65, n.2, May, p.2018-25. 1994.

SCATOLINI, F., 2004. **O Problema da Poluição do Ar por Ozônio–Potencial da Região Metropolitana do RiodeJaneiro**. Tese de M.Sc., COPPE/ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

SCHIOBUOLA, T., 1997. Poluição x você: como defender seu corpo da fumaça e do barulho. **Boa Forma**, Saúde, (Jul)p.64-69.

SCHUMANN, U. Aircraft Emissions - Volume 3: Causes and consequences of global environmental change. Encyclopedia of Global Environmental Change. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester. P. 178–186. 2002.

SILVA, A. M, M.S.D.F. PINHEIRO, et al. Guia para normalização de trabalhos técnico-científicos: projetos de pesquisa, monografias, dissertações e teses. Uberlândia: Edufu – Editora da Universidade de Uberlândia. 2004. 158 p.

SIMÕES,A.F.,2003. **O Transporte Aéreo Brasileiro no Contexto de Mudanças Climáticas Globais. Emissões de CO2 e Alternativas de Mitigação.** Tese de D.Sc., COPPE/ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

SIMÕES, A. F., SCHAEFFER, R., ESPIRITO SANTO Jr., R. A. E., 2005. **Mitigation alternatives for carbon dioxide emissions by the air transport industry in Brazil.** Journal of Air Transport. Vol.10. N°2. p.4-19.

SONG, S., SHON, Z. 'Emissions of Greenhouse gases and Air Pollutants from Commercial Aircraft at International Airports in Korea". Atmospheric Environment. (2012), 61, 148 – 158.

STETTLER, M. E. J., EASTHAM, S., BARRETT, S. R. H. "Air Quality and Public Health Impacts of UK Airports. Part I: Emissions". Atmospheric Environment. (2011), 45, 5415 – 5424.

STEVENS N, BAKER D E FREESTONE, R (2010) Airports in their urban settings: towards a conceptual model of interfaces in the Australian context. Journal of Transport Geography. v. 18, p.276 – 284.

TARRASÓN, L. et al. Study on air quality impacts of non-LTO emissions from aviation". European Commission. Oslo. 2004. 64 p.

WATTS, L., 2005. **The impacts of aviation on the atmosphere (in the context of climate change)**. Disponível em: <<http://ncas.nerc.ac.uk>> Acesso em: 02/09/2005.

WHITELEGG, J.; CAMBRIDGE, H., 2004. **Aviation and Sustainability**. Jul. SEI-Stockholm Environment Institute.

## APÊNDICE

## Apêndice 1

A seguir estão discriminadas as Resoluções CONAMA referentes à poluição atmosférica:

- Resolução CONAMA 018/86 de 6 de maio de 1986 - institui o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores PROCONVE e limites máximos de emissão de poluentes do ar para motores e veículos automotores novos;
- Resolução CONAMA 003/89 de 15 de junho de 1989 - institui níveis de emissão de aldeídos;
- Resolução CONAMA 004/89 de 15 de junho de 1989 - institui emissão de hidrocarbonetos considerando a presença de álcool;
- Resolução CONAMA 005/89 de 15 de julho de 1989 - institui o Programa Nacional de Controle da Qualidade do AR – PRONAR;
- Resolução CONAMA 010/89 de 14 de setembro de 1989 - institui prazos para controle de emissão e níveis de emissão de gases de veículos do ciclo diesel;
- Resolução CONAMA 003/90 de 28 de junho de 1990 - define como

padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

- Resolução CONAMA 008/90 de 06 de dezembro de 1990. Define limites máximos de emissão de poluentes para processos de combustão externa em fontes novas fixas até 70 MW e superiores;
  - Resolução CONAMA 007/93 de 31 de agosto de 1993 - institui padrões de emissão para veículos em circulação segundo os limites máximos de CO, HC, diluição, velocidade angular do motor e ruído para veículos motor ciclo Otto e opacidade de fumaça preta e ruído para veículos de motor ciclo Diesel;
- 
- Resolução CONAMA 008/93 de 31 de agosto de 1993 - complementa o PROCONVE estabelecendo limites máximos de emissão de poluentes para motores destinados a veículos pesados novos, nacionais e importados;
  - Resolução CONAMA 009 de 04 de maio de 1994 - obriga fabricantes de veículos automotores leves e equipados com motor a álcool a declarar valores típicos de emissão de hidrocarbonetos, diferenciando aldeídos e álcoois;
  - Resolução CONAMA 14 de 13 de dezembro de 1995 – obriga fabricantes de veículos automotores leves e passageiros, equipados com motor ciclo Otto e com vendas anuais previstas maiores que 15000, devem apresentar ao IBAMA programa trienal para execução de ensaios de durabilidade por

agrupamentos de motores, classificados conforme projeto de norma ABNT 5:17.01-007 ou norma sucedânea;

- Resolução CONAMA 16 de 13 de dezembro de 1995 - complementa resolução CONAMA 008/93 estabelecendo que motores novos do ciclo Diesel devem ser homologados e certificados quanto ao índice de fumaça opacidade em aceleração livre, através do procedimento de ensaio descrito na norma NBR 13037;
- Resolução CONAMA 18 de 13 de dezembro de 1995 - regulamenta a implementação do Programa de Inspeção e Manutenção de veículos em uso;
- Resolução CONAMA 242 de 30 de junho de 1998 - modifica Resolução CONAMA 15/95. Controla a emissão veicular de gases, material particulado e evaporativo;
- Resolução CONAMA 251 de 12 de janeiro de 2001 - institui limites máximos de opacidade da emissão de escapamento de veículos automotores a ciclo Diesel;
- Resolução CONAMA 342 de 25 de setembro de 2003 - estabelece novos limites para emissões de gases poluentes por ciclo motores, moto ciclos e veículos similares novos, em observância a Resolução CONAMA 297 de 26 de fevereiro de 2002.
- Resolução CONAMA 354 de 13 de dezembro de 2004 - regulamenta os requisitos para adoção de sistemas OBD nos veículos automotores leves

objetivando preservar a funcionalidade dos sistemas de controle de emissão.

- Resolução CONAMA 382 de 26 de dezembro de 2006 – fixam-se limites específicos de emissão para cada tipo de fonte ou combustível utilizado.
- Resolução CONAMA 436 de 22 de dezembro de 2011 – estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007.
- Resolução CONAMA 491 de 19 de novembro de 2018 – refere-se aos padrões de qualidade do ar e não ao limite máximo de emissão por fontes específicas.