

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA NUCLEAR

CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE
SEGURANÇA DO TRABALHO

**INVENTÁRIO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS DO
AEROPORTO INTERNACIONAL SALGADO FILHO COM O USO DO
*EDMS (EMISSION DISPERSION MODELING SYSTEM)***

por

Maurício Träsel Drunn

Orientador:

Prof: Pablo Barrera

Porto Alegre, Agosto de 2011

2011

INVENTÁRIO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS DO AEROPORTO
INTERNACIONAL SALGADO FILHO – SBPA E EXPOSIÇÃO DO TRABALHADOR
AOS GASES DA AVIAÇÃO CIVIL

Por

Maurício Träsel Drunn

Monografia submetida ao Corpo Docente do Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho, do Departamento de Engenharia Nuclear, da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de:

Especialista

Orientador: Prof. Pablo Barrera

Prof. Dr. Sergio Viçosa Möller

Coordenador do Curso de Especialização em

Engenharia de Segurança do Trabalho

Porto Alegre, 01 de Agosto de 2011.

2011

AGRADECIMENTOS

aos meus pais *Luiz Alcioni Drunn* e *Nair Träsel Drunn* que sempre me incentivaram aos estudos e são hoje responsáveis por grande parte de tudo que conquistei na vida, deixo aqui o agradecimento singelo perante a falta de palavras para tudo de bom que proporcionaram em minha vida.

a minha namorada *Cíntia Schmaedecke*, que também sempre me apoiou mesmo deixando de estarmos juntos muitas das noites que estive em aulas e finais de semana ao longo da graduação

a todos os colegas de trabalho e faculdade, aos professores mestre do conhecimento que pude conviver até hoje, grandes pessoas que me deixaram muito do seu conhecimento e profissionalismo.

aos colegas da Infraero que são um exemplo de dedicação, desejo sucesso a todos!

DRUNN, M. T. **Inventário de Poluentes Atmosféricos do Aeroporto Internacional Salgado Filho – SBPA com o uso do EDMS (*Emission Dispersion Modeling System*)**. 2011.68f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Departamento de Engenharia Nuclear, Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

RESUMO

A forte demanda pela utilização do transporte aéreo, com a superação de todas as previsões realizadas nos últimos anos, tanto pelas empresas de infraestrutura aeroportuárias como das próprias companhias aéreas, denota cada vez mais a importância deste modal de transporte na atualidade. Como atividade, há o benefício da integração humana pela integração cultural dos povos e do crescimento do mercado econômico global. Infelizmente, na contramão, há o impacto no meio ambiente com as emissões que afetam a qualidade do ar local e o próprio clima global.

A emissão dos gases do efeito estufa e demais poluentes atmosféricos, gerados por esta atividade, acompanham o seu crescimento, porém o desenvolvimento tecnológico não tem sido capaz de reduzir seu impacto na mesma proporção da demanda.

Assim, a motivação deste estudo se embasa na necessidade do conhecimento do “problema”, com a finalidade de adoção das mitigações necessárias para a continuidade da utilização deste modal de transporte em consoante com as necessidades de preservação do meio ambiente.

Este estudo objetiva disponibilizar meios de quantificação das contribuições de poluentes atmosféricos do Aeroporto Internacional Salgado Filho e propor a adoção de uma metodologia de mensuração não simplificada para tal, conforme os dados disponíveis das operações de aeronaves, do tráfego de veículos, equipamentos de pista e fontes estacionárias. Este estudo não se propõe a caracterização da qualidade do ar, mas sim, a adoção do inventário de emissões atmosféricas provenientes das atividades aeroportuárias para conhecimento das fontes de poluição atmosférica, dentro do “sistema aeroporto”, como instrumento de

tomada de decisão para a redução dos impactos na qualidade do ar local e ao clima global, com o uso prudente dos recursos energéticos. Para a quantificação dos poluentes será adotado o uso do software EDMS (Emission Dispersion Modeling System) da FAA (*Federal Aviation Administration*), o qual é uma das poucas ferramentas desenvolvidas para a comunidade aeroportuária em um pacote integrador de um banco de dados extenso sobre eficiência de aeronaves, composto ainda por outros modelos ambientais da *Environmental Protection Agency* (EPA). Ainda propõe-se a comparação com metodologias simplificadas já adotadas pelo Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) do Governo Federal.

PALAVRAS-CHAVES: Inventário de Poluentes Atmosféricos, Emission Dispersion Modeling System (EDMS), EDMS, Gases Poluentes, CO₂, SO_x, NO_x

DRUNN, M. T. **Inventário de Poluentes Atmosféricos do Aeroporto Internacional Salgado Filho – SBPA com o uso do EDMS (*Emission Dispersion Modeling System*)**. 2011.68p. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Departamento de Engenharia Nuclear, Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

RESUME

Due to the big demand for the aviation transport, it's pushing all forecasts done in the last years by the airports infrastructure administration companies and by the air companies. From this perspective, it shows up the importance of the air transport nowadays.

The greenhouse emissions and other air pollutants generated by this activity follow the boom of aviation, unfortunately, the technological development isn't capable to reduce the impacts in the same proportion.

It's necessary to know the issues to take actions to avoid and mitigate the problems caused by this kind of transport to keep the use of this transport mode within the necessity of environmental preservation.

This study is proposed to present a methodology and to quantify the gases contribution by de Salgado Filho International Airport using the airport operational data from aircrafts, equipment (APU's and GSE's), stationery fonts and parking's areas. It's orientated to offer the inventory of atmospheric emissions to recognize each font inside the airport system as an instrument of decision making to reduce the impacts in the local air quality and global climate by the conscious use of the energy resources. For the evaluation of pollutants will be adopted the use of the software EDMS (Emission and Dispersion Modeling System) from FAA (Federal Aviation Administration), which is one of the few quality assessment tools specifically engineered for the aviation community on a package with aircrafts efficiency that integrates others models from the Environmental Protection Agency (EPA). Another proposal of this study is to compare the results with the simplified methods used by de Ministry of Science and Technology (MCT) of Brazil.

KEYWORDS: Air Quality Inventory, Air Quality in Aviation, Air Pollutants, Emission Dispersion Modeling System (EDMS), EDMS, Greenhouse Gases, CO₂, SO_x, NO_x

SUMÁRIO

1.	Atmosfera e Qualidade do Ar	10
1.1	Monitoramento da Qualidade do Ar no Estado do Rio Grande do Sul.....	14
1.2	Legislação Aplicável	17
	Constituição	17
	Leis	17
	Resoluções CONAMA.....	18
	Portarias	20
1.3	Padrões de Qualidade do Ar.....	21
	Organização Mundial da Saúde	21
	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (Environmental Protection Agency).....	23
1.4	Aspectos Climáticos e Caracterização Meteorológica de Porto Alegre	26
1.5	Meteorologia e Dispersão de Poluentes no Ar	27
2.	Análise das Emissões Atmosféricas no Sistema Aeroportuário	30
2.1	Principais atividades emissoras de poluentes do ar em aeroportos	34
2.2	O Ciclo LTO e CCD	34
2.3	Emissões de Partida das Aeronaves	36
2.4	Descarga de Combustível em Emergências	36
2.5	Verificação das Contribuições nos Ciclos LTO e CCD	37
2.6	Os Principais Poluentes do Sistema Aeroportuário e Aeronaves.....	41
	Dióxido de Carbono	42
	Óxidos de Nitrogênio.....	43
	Óxidos de Enxofre.....	45
	VOC – Compostos Orgânicos Voláteis.....	45
	Material Particulado	46
	Ozônio	46
3.	Quantificação de Poluentes e Modelagem Ambiental	48
3.1	Dados Existentes do Transporte Aeroviário do Rio Grande do Sul	49
3.2	Quantificação de Poluentes Atmosféricos de acordo com Metodologia do MCT	51
3.3	Quantificação de Poluentes Atmosféricos com o uso do <i>Emission Dispersion Modeling System - EDMS</i>	52

4. Metodologia do Inventário das Emissões de Poluentes Atmosféricas do	
Aeroporto Internacional Salgado Filho.....	56
4.1 EDMS	56
4.2 Resultados.....	61
4.3 Mitigações	63
5. Conclusões.....	64
6. Referências Bibliográficas.....	67

1. ATMOSFERA E QUALIDADE DO AR

O ar é invisível, inodoro e insípido. Os principais gases que constituem hoje, a atmosfera terrestre em distribuição percentual, são: o nitrogênio (N_2), 78,11 por cento; o oxigênio (O_2), 20,95 por cento; o argônio (Ar), 0,934 por cento e o gás carbônico (CO_2), 0,033 por cento. Outros gases compõem a atmosfera terrestre, em concentrações mais baixas: gases nobres (hélio, neônio, criptônio e xenônio); hidrogênio, metano e dióxido de nitrogênio (NO_2). Outros constituintes são o vapor d'água, sais de cloreto de sódio, material particulado orgânico (pólenes, bactérias e micróbios) e inorgânicos (sílica e subprodutos da combustão). A distribuição destes gases pelas camadas que compõem a atmosfera não é uniforme, por exemplo, a porcentagem de vapor d'água é variável de forma a atingir até quatro por cento da mistura total.

O ar atmosférico (99%) encontra-se em uma fina camada que recobre a Terra, e localiza-se nos primeiros trinta quilômetros de altitude; de forma que, 50%, estão concentrados nos primeiros cinco quilômetros.

A estrutura da atmosfera pode ser descrita pelo gradiente térmico em função da altitude, conforme apresentado na Figura 1.

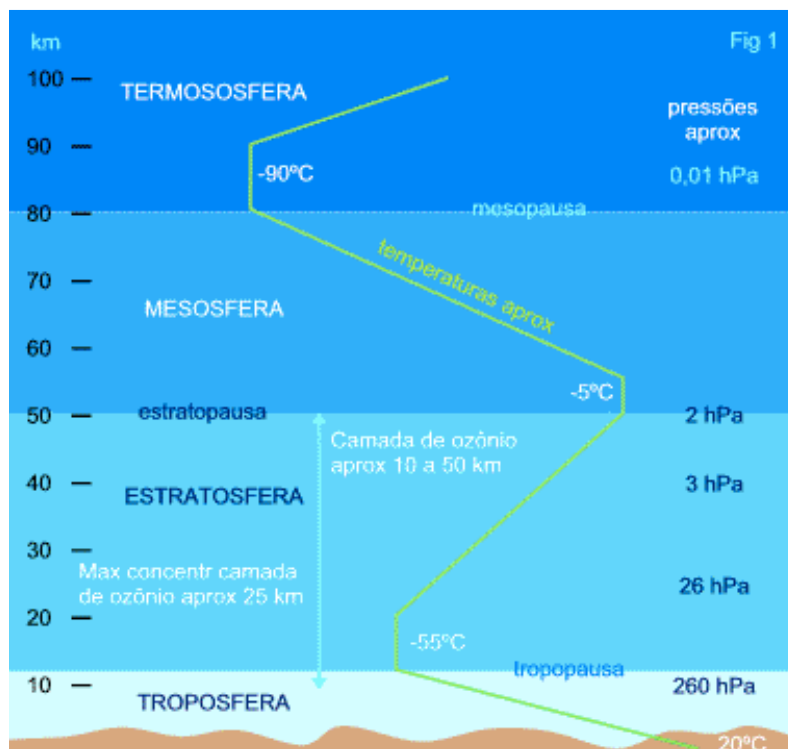


Figura 1- Camadas atmosféricas com dados de altitudes, temperaturas e pressões.

Fonte de dados: MYSPLACE, 2005 apud CARVALHO, 2005.

A troposfera é a camada mais próxima da Terra, a mais fina e estende-se na altitude de oito a dez quilômetros, com a variação de sua espessura entre a latitude e condição climática. Contém quase toda a umidade da atmosfera (a chuva, as nuvens e a neve). Na troposfera se originam todas as mudanças climáticas que caracterizam o clima da Terra e onde ocorre uma intensa movimentação de elementos componentes do ar.

Acima da troposfera está a estratosfera, que varia de dez a cinquenta quilômetros. Na estratosfera se localiza a camada de ozônio, que protege a Terra das radiações ultravioletas provenientes do sol, a qual impede que as radiações ultravioletas nocivas aos seres vivos atinjam a superfície terrestre. Nela o ar é rarefeito e as temperaturas atingem 50°C negativos. Vide Figura 2.

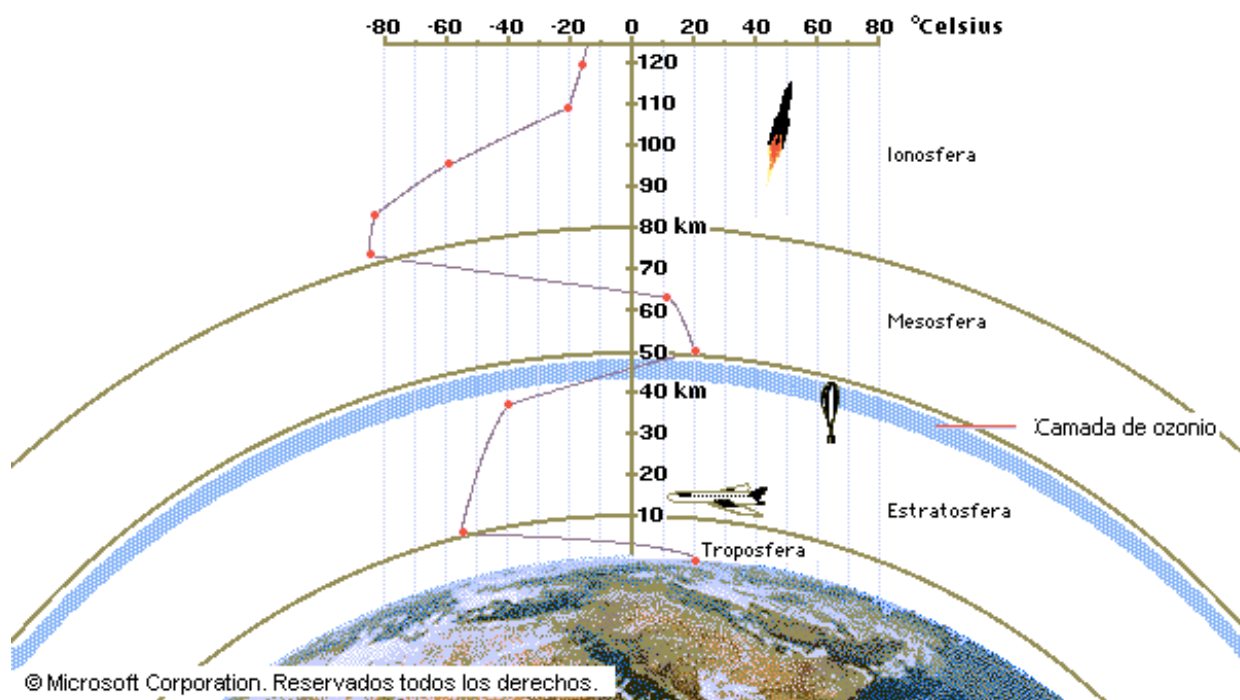


Figura 2- Variação do gradiente de temperatura e altitude de atividades de transporte aéreo e sondas meteorológicas. Fonte de Dados: Microsoft Corporation *apud* CARVALHO, 2005.

A termosfera é a camada acima da mesosfera, a oitenta quilômetros de altitude, menos fria, e alcança, até 190 quilômetros de altitude.

Quanto aos gases predominantes até a termosfera, a maior porcentagem é de nitrogênio e oxigênio, acima desta camada, até a altitude de 970 quilômetros, a maior porcentagem é de oxigênio; em seguida, até a altitude de 2.400 quilômetros, é o hélio; até 9.700 quilômetros, é o hidrogênio. Acima, encontram-se os gases do espaço interplanetário.

Do ponto de vista ambiental, destacam-se duas camadas na atmosfera: a troposfera, onde ocorre a maioria dos fenômenos relacionados com a poluição do ar e a estratosfera, onde ocorrem os fenômenos da depleção da camada de ozônio. A Figura 3 apresenta as interações atmosféricas, a composição da atmosfera e os poluentes do ar detalhados por camada da atmosfera (CARVALHO, 2005).

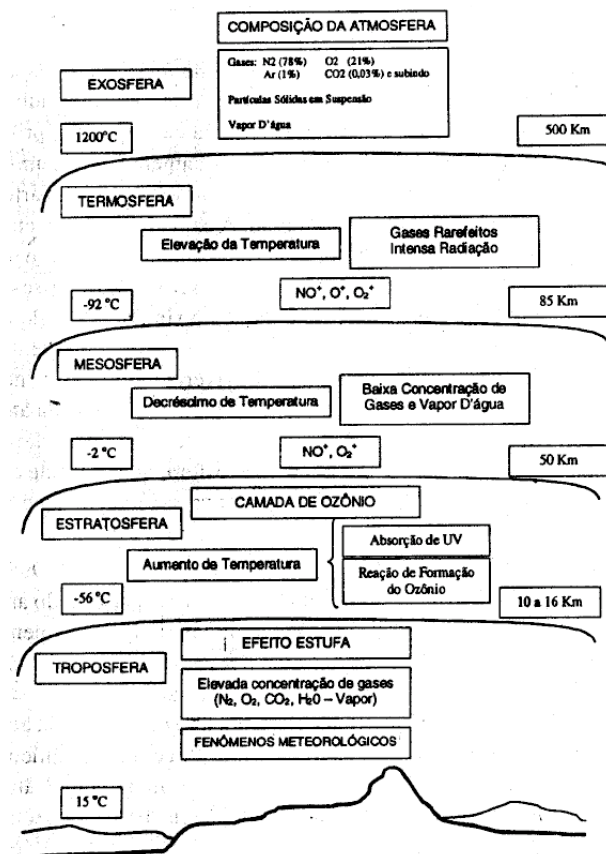


Figura 3 – Camadas da atmosfera e os poluentes do ar. Fonte de dados: RIBEIRO, 2000 apud CARVALHO, 2005.

As consequências da destruição da atmosfera são de âmbito local, regional e global. As de âmbito local e regional ocorrem na troposfera e as de âmbito global ocorrem na troposfera e na estratosfera.

A qualidade do ar de uma região é influenciada diretamente pelos níveis de poluição atmosférica, os quais estão vinculados a um complexo sistema de fontes emissoras estacionárias (indústrias, queima de lixo, emissões naturais, etc.) e móveis (veículos automotores, aviões, trens, etc.). A magnitude do lançamento dessas emissões, seu transporte e diluição na atmosfera, determinam o estado atual da qualidade do ar atmosférico.

A associação das fontes estacionárias e fontes móveis relacionadas com a geomorfologia e meteorologia de uma região são os fatores determinantes da qualidade do ar, tendo relação direta com os efeitos adversos desta poluição do ar sobre os indivíduos que nela habitam.

1.1 Monitoramento da Qualidade do Ar no Estado do Rio Grande do Sul

Atualmente a Fepam (Fundação Estadual de Proteção Ambiental) monitora a qualidade do ar através da Rede Manual e da Rede Automática, diferenciadas em função das áreas de influência do monitoramento, dos equipamentos que utilizam e dos parâmetros do ar que determinam. Na Rede Manual são realizadas coletas de 24 horas, de seis em seis dias, cujas amostras são transportadas, das estações ao laboratório para análise. Na Rede Automática, também denominada AR DO SUL, as análises são realizadas, automaticamente, por equipamentos que utilizam princípios físicos e químicos. No instante em que o ar é amostrado, os dados gerados são enviados via rede telefônica a uma central, o que permite o acompanhamento *on line* da qualidade do ar e das condições meteorológicas, nos locais onde estão instaladas.

A implantação e operação da Rede AR DO SUL é parte das ações do Programa para o Desenvolvimento Racional, Recuperação e Gerenciamento Ambiental da Região Hidrográfica do Guaíba, e prevê a atividade de monitoramento contínuo do ar atmosférico. Foram instaladas sete estações fixas, que são constituídas por um container dotado de equipamentos de análise, necessários e inerentes à sua área de abrangência, e mais uma estação móvel (trailer rebocável) para deslocamento aos locais de interesse não previstos pelas estações fixas.

Os dados de concentração gerados, periodicamente, de Material Particulado Inalável (PI10), Dióxido de Enxofre (SO₂), Sulfeto de Hidrogênio (H₂S), Óxidos de Nitrogênio (NO_x), Monóxido de Carbono (CO) e Ozônio (O₃), bem como os parâmetros meteorológicos de Direção do Vento (DV), Velocidade do Vento (VV), Temperatura (T), Umidade Relativa (UR), Pressão Atmosférica (P), Radiação Total (R) e Ultra Violeta (UVA), são enviados via *online*, para a Central de Monitoramento Automático da Qualidade do Ar, na sede da FEPAM. Os parâmetros meteorológicos armazenados tem a utilização prevista na modelagem da dispersão de poluentes atmosféricos.

A partir de 1980, com a criação do Departamento do Meio Ambiente (DMA), foi iniciada a utilização de uma Rede Manual, com determinação de Dióxido de

Enxofre (SO₂) e Partículas Totais em Suspensão (PM₁₀ e PM_{2,5}), em locais de Porto Alegre (8^o Distrito de Meteorologia, Rodoviária, Ponta Grossa, Benjamin Constant e CEASA), Guaíba, Charqueadas, Montenegro, Triunfo (Polo Petroquímico), Estância Velha, Caxias do Sul, Rio Grande (FURG, Brigada Militar, Praça Montevideu, CEEE, CORSAN e Rádio Cassino) e Bagé (Aceguá e Colônia Nova).

1.1.1 Localização e Caracterização das Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar próximas ao Aeroporto Internacional Salgado Filho

Dentre as estações da rede manual de monitoramento da qualidade do ar em Porto Alegre (conforme a Figura 4), esta localizada próxima ao Aeroporto Internacional Salgado Filho, a estação de número 3 – Anchieta / Ceasa (Vide Quadro 1).

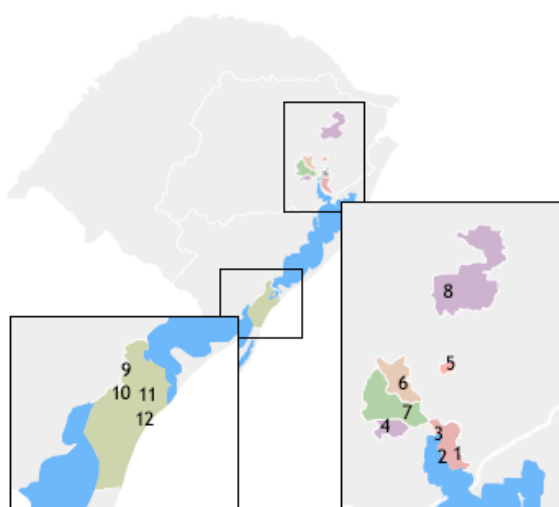


Figura 4 - Pontos da Rede Manual de Monitoramento do Ar no RS. Disponível em:
http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/rede_manual.asp

A estação está localizada ao norte do aeroporto em distância aproximada de 1 km.

Nº no Mapa	Estação	Localização	Parâmetros
3	Anchieta / CEASA	Centrais de Abastecimentos do RS, Av. das Indústrias	PI10, PTS, SO2

Quadro 1 – Estação Manual de Monitoramento da Qualidade do Ar próxima ao SBPA.

É uma estação de amostragem de Partículas Totais em Suspensão, Partículas Inaláveis e Dióxido de Enxofre, com frequência de amostragem de 7 em 7 dias.

Conforme informação constante no site da FEPAM, houve uma outra estação da rede manual de monitoramento nas proximidades que foi desativada sua utilização em 2001. Esta localizava-se em direção sul ao aeroporto, no encontro das avenidas Benjamin Constant com Av. Dom Pedro II.

Entre as estações automáticas da rede de monitoramento da qualidade do ar, considerando as mais próximas do aeroporto, se verifica a influência da exposição aos gases provenientes do tráfego de veículos e outras fontes da localidade em que se encontram, não havendo influência significativa das emissões de poluentes, ou mesmo possibilidade de discretização das contribuições dos poluentes atmosféricos das operações aeroportuárias nos dados coletados.

1.1.2 Índice da Qualidade do Ar

O Índice de Qualidade do Ar (IQA_r), tem como objetivo principal proporcionar à população o entendimento sobre a qualidade do ar local, em relação a diversos poluentes atmosféricos amostrados nas estações de monitoramento. Sendo divulgado por um boletim da qualidade do ar, das últimas 24 horas. (FEPAM, 2011).

O Índice de Qualidade do Ar é uma ferramenta matemática, utilizada para transformar as concentrações medidas dos diversos poluentes em um único valor adimensional que possibilita a comparação com os limites legais de concentração para os diversos poluentes (Padrões de Qualidade do Ar - PQA_r). (FEPAM, 2011).

O IQA_r, proposto pela FEPAM, é obtido através de uma função linear segmentada, na qual os pontos de inflexão, representam os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar e os critérios para episódios agudos da poluição do ar, estabelecidos conforme a Resolução CONAMA nº 03 de 28/06/1990, para seis

poluentes atmosféricos: Partículas Totais em Suspensão (PM₁₀), Partículas Inaláveis (PM_{2,5}), Dióxido de Enxofre (SO₂), Dióxido de Nitrogênio (NO₂), Ozônio (O₃) e Monóxido de Carbono (CO). (FEPAM, 2011).

O IQAr também pode ser associado aos efeitos da poluição do ar sobre a saúde humana. Nos Estados Unidos, através da Agência de Proteção Ambiental (EPA), o *Air Quality Index* (AQI) (EPA-454/R-99-010, 1999) é aplicado na divulgação diária da qualidade do ar, indicando níveis de poluição, associando-os com os efeitos sobre a saúde e com os cuidados que devem ser adotados. (FEPAM, 2011).

O IQAr é divulgado, diariamente, para cada estação da Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar, considerando-se o índice mais elevado, dos poluentes monitorados, isto é, a qualidade do ar de uma estação é determinada pelo pior caso. Na ultrapassagem dos Padrões Nacionais de Qualidade do Ar para mais de um poluente, na mesma estação, todos serão divulgados, identificados pela qualidade INADEQUADA (IQAr maior que 100). A qualidade MÁ (IQAr maior que 200) indica a ultrapassagem do Nível de Atenção, a qualidade PÉSSIMA indica a ultrapassagem do Nível de Alerta e a qualidade CRÍTICA, a ultrapassagem do Nível de Emergência. (FEPAM, 2011).

1.2 Legislação Aplicável

No Brasil, existe uma estrutura geral para o controle ambiental esboçada pelo governo federal, que é utilizada nos estados onde ainda não existe uma legislação própria. A estrutura hierárquica da legislação brasileira é constituída de forma respectiva por: Constituição da República Federativa do Brasil, Leis, Decretos-Lei, Decretos, Resoluções e Portarias (COELHO, 2006).

Constituição

- Título VIII: Da ordem social/Capítulo VI: Do meio ambiente /Art.225;

Leis

- Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto 99.274/90 – dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos e da outras providencias;

Resoluções CONAMA

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, por meio 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; e
- 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.

Portarias

- Portaria MINTER 231, de 27 de abril de 1976 – estabelece os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar para material particulado, dióxido de enxofre, monóxido de carbono e oxidantes;
- Portaria MINTER 100, de 14 de setembro de 1980 – dispõe sobre a emissão de fumaça por veículos movidos a óleo diesel;
- Portaria Normativa IBAMA 348, de 14 de março de 1990 – dispõe sobre padrões de qualidade do ar;
- Portaria IBAMA 86, de 17 de outubro de 1996 – determina que os veículos automotores importados são obrigados a atender os mesmos limites de emissão de poluentes e níveis de ruído estabelecidos para os veículos nacionais, mediante a obtenção junto ao IBAMA, da Licença para Uso da Configuração do Veículo ou Motor (LCVM);
- Portaria IBAMA 116, de 20 de dezembro de 1996 – prorroga até 31 de março de 1997, a validade para LCVM, emitidas em 1996 para veículos leves de passageiros que não atendam aos novos limites;
- Portaria IBAMA 167, de 26 de dezembro de 1997 – dispõe sobre a certificação de conformidade de veículos e motores nacionais ou importados, junto ao PROCONVE.

Após o levantamento de todas as legislações pertinentes não foi encontrada nenhuma legislação específica de emissões atmosféricas provenientes de aeroportos. Porém, a Agenda 21 Brasileira (2002) possui um item onde sugere um aprimoramento dos estudos da regulação dos impactos ambientais dos aeroportos:

“Inserir orientações legais e normativas nos planos e projetos dos aeroportos; cumprir o emprego dos parâmetros normativos durante a construção, operação e manutenção dos aeroportos assim como das normas nacionais e internacionais relativas ao meio ambiente; aperfeiçoar a qualidade dos estudos de impacto ambiental (EIA) e relatório de impacto sobre o meio ambiente (RIMA), para projetos e construções aeroportuários.”

No Brasil, o documento que norteia o controle de emissão de gases pela Aviação Civil é o RBHA 34, "Requisitos para Emissões de Combustível Drenado e Emissões de Escapamento de Aviões com Motores a Turbina", aprovado pela PORTARIA N.º 298 /STE DE 17 DE MAIO DE 1999, que adota o Volume II do Anexo 16 da OACI e o FAA FAR 34, e oferece a opção ao requerente de escolher qual documento, na íntegra, será aplicado.

1.3 Padrões de Qualidade do Ar

Ar puro é condição básica para o bem-estar e a saúde humana. A poluição do ar é considerada uma fonte de risco a saúde mesmo após as ações de controle da poluição do ar industrial, na geração de energia e no transporte (CARVALHO, 2005). Assim são apresentados a seguir os padrões internacionais e o padrão nacional vigente:

1.3.1 Padrões Internacionais

Os padrões internacionais aqui apresentados correspondem ao padrão da Organização Mundial da Saúde (OMS) e da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – EPA (*Environmental Protection Agency*).

Organização Mundial da Saúde

Estudos epidemiológicos recentes demonstram evidências que na Europa centenas de milhares de mortes prematuras podem ser atribuídas a poluição do ar. A OMS, que desenvolve estudos sobre os efeitos da poluição sobre a saúde humana, preparou diretrizes que fornecem os fundamentos para a proteção da saúde dos efeitos adversos de poluentes do ar, para eliminar ou reduzir a exposição a poluentes tóxicos, e para orientar autoridades locais e nacionais nas tomadas de decisão. Estas diretrizes são aceitas e utilizadas pelos tomadores de decisão na Europa e outras partes do mundo. As diretrizes da OMS fornecem informações básicas para serem usadas no planejamento e nos processos de decisão e para os gestores fundamentarem suas decisões no estabelecimento de padrões. Os valores indicados não precisam ser utilizados de forma obrigatória no estabelecimento dos padrões; estes valores são indicativos e podem ser empregados como ponto de

partida na escolha de padrões nacionais a ser medidos por uma rede de monitoramento adequada.

O que a OMS enfatiza é quando as diretrizes são apresentadas sob a forma de valores numéricos, estes valores são sugestões, mas não constituem padrões de qualidade. Antes de serem adotados como padrões de qualidade de obrigatoriedade legal, as diretrizes tem que ser analisadas com a consideração dos níveis de exposição aos poluentes, a disponibilidade técnica, as medidas de controle da poluição do ar, as estratégias de controle da poluição e as condições sociais, culturais e econômicas. O marco regulatório difere em cada país: diferentes países possuem políticas, estruturas administrativas e legislativas distintas que são cumpridas na preparação dos padrões de qualidade. A conclusão para cada local pode chegar a valores maiores ou menores do que os valores sugeridos pelas diretrizes da OMS. Estas diretrizes também não podem ser consideradas como uma “luz verde” para a poluição. Cumprir as diretrizes é fundamental para manter-se a qualidade do ar em níveis que não comprometam a saúde humana (WHO, 2000 *apud* CARVALHO, 2005).

O Quadro 2 apresenta os padrões de qualidade do ar da OMS, Brasil, Chile México, Estados Unidos e Suíça.

Poluente do Ar	Período	Unidade	Padrão de qualidade do ar					
			OMS	Chile	Brasil	México	EUA	Suíça
NO ₂	1 hora	µg/m ³	200			395		
	24 horas	µg/m ³			320			80
	1 ano	µg/m ³	40	100			100	30
SO ₂	24 horas	µg/m ³	125	365	365	340	365	100
	1 ano	µg/m ³	50	80	80	80	80	30
CO	1 hora	ppm	26	35	35		35	
	8 horas	ppm	9	9	9	11	9	7*
O ₃	1 hora	µg/m ³		160	160	216	235	120
	8 horas	µg/m ³	120				157	
	1 ano	µg/m ³	60					
PTS	24 horas	µg/m ³	150-230	260	240	260		
	1 ano	µg/m ³	60-90	75	80	75		
MP ₁₀	24 horas	µg/m ³			150	150	150	50
	1 ano	µg/m ³			50	50	50	20
Chumbo	3 meses	µg/m ³				1,5	1,5	
	1 ano	µg/m ³	0,5	0,5				0,5

Quadro 2 - Padrões de qualidade do ar recomendados pela OMS e a comparação com os padrões de qualidade do ar de países da América Latina e do Norte e da Europa.

Fonte de Dados: Who, 200 apud CARVALHO,2005. * média de 24horas

Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (Environmental Protection Agency)

Os Padrões de qualidade do ar estabelecidos pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, são determinados pela legislação americana, com a Lei do Ar Limpo (*Clean Air Act*), que em sua atualização de 1990, determina que a EPA, estabeleça os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar para aqueles poluentes considerados nocivos a saúde pública e ao meio ambiente.

Determina, também, que devem ser estabelecidos dois tipos de padrão, o primário, que estabelece limites para proteger a saúde pública, com a inclusão de populações sensíveis, (asmáticos, crianças e idosos); e os padrões secundários que devem estabelecer limites proteger o bem-estar, a proteção contra a redução da visibilidade, danos aos animais, vegetação e construções. A diretoria de Planejamento da Qualidade do Ar e de Padrões (*Office of Air Quality Planning and Standards-OAQPS*) estabeleceu padrões para seis poluentes principais, denominados *criteria pollutants* (Quadro 3), em unidades de medidas de partes por milhão (PPM), por volume, miligramas por metro cúbico de ar (mg/m³) e microgramas por metro cúbico de ar (µg/m³).

Poluente do Ar	Período	Padrão Primário $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Padrão Secundário $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Método de Amostragem
Partículas inaláveis (MP10)	Média de 24 horas	150	O mesmo que o primário	Separação inercial/filtro gravimétrico
	Média aritmética anual	50		
Partículas inaláveis (MP2,5)	Média de 24 horas	65	O mesmo que o primário	Separação inercial/filtro gravimétrico
	Média aritmética anual	15		
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	Média de 24 horas	365	1.300 (0,5 ppm)	Pararrosanilina
	Média aritmética anual	80		
	Média de 3 horas			
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	Média aritmética anual	100	O mesmo que o primário	Quimiluminescência
Monóxido de Carbono (CO)	Média de uma hora	40.000 (35 ppm)	Nenhum	Infravermelho não-dispersivo
	Média de 8 horas	10.000 (9 ppm)	Nenhum	
Ozônio (O ₃)	Média de uma hora	235 (0,12 ppm)	O mesmo que o primário	Quimiluminescência
	Média de 8 horas	157 (0,08 ppm)		
Chumbo	Média aritmética trimestral	1,5	O mesmo que o primário	Absorção atômica

Quadro 3 - Padrões de qualidade do ar estabelecidos pela legislação ambiental dos EUA. Fonte de dados: EPA, 2005.

1.3.2 Padrões Nacionais

O primeiro documento legal que estabeleceu padrões de qualidade do ar no Brasil foi a Portaria GM 0231, de 27 de abril de 1976, da Secretaria Especial do Meio Ambiente (SEMA), órgão federal vinculado à Presidência da República. O IBAMA (Instituto Brasileiro de Meio Ambiente) por meio da Portaria Normativa n.º 348, de 14 de março de 1990, a qual estabeleceu os padrões nacionais de qualidade do ar e os respectivos métodos de referência, com a ampliação do número de parâmetros já regulamentados pela Portaria GM 0231 de 27 de abril de 1976.

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), órgão consultivo e deliberativo do Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal (MMA), em sua reunião de 28 de junho de 1990, baseado na Portaria Normativa n.º 348, de 14 de março de 1990, estabelece a Resolução CONAMA n.º 03, de 28 de junho de 1990, que regulamentou, em âmbito nacional, os seguintes parâmetros: partículas totais em suspensão, fumaça, partículas inaláveis, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio conforme o Quadro 4.

Poluente do Ar	Período	Padrão Primário $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Padrão Secundário $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Método de Amostragem
Partículas totais em suspensão (PST)	Média de 24 horas*	240	150	Amostrador de grandes volumes
	Média geométrica anual	80	60	
Partículas inaláveis	Média de 24 horas*	150	150	Separação inercial/filtração
	Média aritmética anual	50	50	
Fumaça	Média de 24 horas	150	100	Refletância
	Média aritmética anual	60	40	
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	Média de 24 horas*	365	100	Pararrosanilina
	Média aritmética anual	80	40	
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	Média de 24 horas*	320	O mesmo que o primário	Quimiluminescência
	Média aritmética anual	100		
Monóxido de Carbono (CO)	Média de uma hora*	40.000 (35 ppm)	40.000 (35 ppm)	Infravermelho não-dispersivo
	Média de 8 horas*	10.000 (9 ppm)	10.000 (9 ppm)	
Ozônio (O ₃)	Média de uma hora*	160	160	Quimiluminescência

Quadro 4 - Padrões de qualidade do ar estabelecidos na legislação ambiental nacional. Fonte de dados: Conama nº3, de 28 de junho de 1990. * não deve ser excedido mais de uma vez ao ano.

São estabelecidos dois tipos de padrões de qualidade do ar: os primários e os secundários. São considerados padrões primários de qualidade do ar, as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população. Podem ser entendidos como níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, baseados em metas de curto e médio prazo. Os padrões secundários de qualidade do ar são as concentrações de poluentes atmosféricos, abaixo das quais é previsto o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população e o mínimo dano à fauna e à flora, aos materiais de construções e ao meio ambiente em geral. Podem ser entendidos como níveis desejados de concentração de poluentes, e como metas de longo prazo.

Os padrões secundários são instrumentos de planejamento estratégico que permitem a criação de políticas de prevenção da degradação da qualidade do ar. Devem ser aplicados às áreas de preservação (parques nacionais, áreas de

proteção ambiental, estâncias turísticas, etc.). Não se aplicam, em curto prazo, para áreas de desenvolvimento, onde devem ser aplicados os padrões primários.

A Resolução CONAMA n.º 03, de 28 de junho de 1990, determina a aplicação diferenciada de padrões primários e secundários em todo território nacional, a ser dividido em classes I, II e III, conforme o uso pretendido. Enquanto não for estabelecida a classificação das áreas, os padrões aplicáveis serão os primários.

A Resolução CONAMA n.º 03, de 28 de junho de 1990, também, estabelece os critérios para episódios agudos de poluição do ar. Esses critérios são apresentados no Quadro 5. Ressalte-se que a declaração dos estados de Atenção, Alerta e Emergência requerem, além dos níveis de concentração atingidos, a previsão de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes.

Poluente do Ar	Nível		
	Atenção	Alerta	Emergência
Partículas totais em suspensão (PST) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 24 horas	375	825	875
Partículas inaláveis $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 24 horas	250	420	500
Fumaça $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 24 horas	250	420	500
Dióxido de Enxofre (SO_2) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 24 horas	800	1.600	2.100
$\text{SO}_2 \times \text{PTS}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 horas	65.000	261.000	393.000
Dióxido de Nitrogênio (NO_2) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 1 hora	1.130	2.260	3.000
Monóxido de Carbono (CO) ppm - 8 horas	15	30	40
Ozônio (O_3) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 1 hora	400	800	1.000

Quadro 5 - Critérios para episódios agudos de poluição do ar estabelecidos na legislação ambiental. Fonte de dados: Resolução CONAMA n.º03, de 28 de junho de 1990.

No Brasil, estados e municípios têm legislações próprias e podem adotar outros padrões, que deverão ser mais restritivos dos que os estabelecidos em âmbito federal.

1.4 Aspectos Climáticos e Caracterização Meteorológica de Porto Alegre

O clima de Porto Alegre é classificado como subtropical úmido (Cfa, segundo a classificação Köppen), tendo como característica marcante a grande variabilidade. A presença da grande massa de água do lago Guaíba, contribui para elevar as taxas de umidade atmosférica e modificar as condições climáticas locais com a formação

de microclimas. O contínuo processo de cobertura da superfície do terreno por edificações e calçamento (efeito antropogênico), também gera microclimas específicos e ilhas de calor, observando-se até 4°C de variação térmica nas diferentes regiões da cidade. As precipitações são bem distribuídas, com a média anual permanecendo em torno de 1.300mm.

Segundo a *BBC Weather*, o mês mais chuvoso é setembro, com média de 132 mm, e o mais seco é novembro, com 79 mm. Janeiro e fevereiro têm a temperatura média mais alta do ano, chegando a 31 °C, e junho e julho a mais baixa, com 9°C. A umidade relativa do ar média é de 76%.

A circulação atmosférica no Estado do Rio Grande do Sul é governada pelas massas de ar do Anticiclone Polar e do Anticiclone Atlântico. O Anticiclone Polar é responsável pelos sistemas frontais e a massa atlântica pelas condições de “tempo bom”. Sob condições de presença da massa de ar Anticiclone Atlântico, a circulação atmosférica é influenciada pelas condições geomorfológicas locais. No caso de Porto Alegre, pela presença da Lagoa dos Patos, Lago Guaíba e dos morros existente ao norte na região metropolitana. As edificações ainda são responsáveis pela alteração da circulação de ar nos centros metropolitanos.

As condições meteorológicas ainda influenciam nos cenários de dispersão de poluentes, onde no verão se tem um cenário convectivo, de características turbulentas mais propícias à dispersão, enquanto durante o inverno observam-se as características de um cenário crítico, com concentrações elevadas de poluentes.

1.5 Meteorologia e Dispersão de Poluentes no Ar

A concentração de poluentes no ar é função das emissões e, também, da forma que os poluentes se transportam, dispersam, depositam e reagem entre si e das condições meteorológicas.

A meteorologia estuda os fenômenos que ocorrem na atmosfera, e está relacionada com o estado físico, dinâmico e químico da atmosfera, as interações entre eles e a superfície terrestre subjacente (INMET, 2005 *apud* CARVALHO, 2005).

A climatologia reúne as informações sobre o tempo em determinado local e utiliza séries históricas de parâmetros meteorológicos: vento (direção e velocidade); temperatura, pressão, umidade, insolação, precipitação, visibilidade e composição da atmosfera. Todas as observações sobre poluentes do ar devem sempre considerar os parâmetros meteorológicos, de forma individual ou reunida em dois ou mais parâmetros, por exemplo: temperatura, direção e velocidade dos ventos.

As concentrações de poluentes do ar são influenciadas pela diluição (difusão e dispersão) e pela remoção por chuva e pelas reações fotoquímicas que ocorrem em presença da luz solar.

A temperatura é um parâmetro importante para a poluição do ar pela sua correlação com a intensidade da luz solar, sua alteração sazonal e diária pode influenciar as reações fotoquímicas, com a formação de poluentes secundários com os consequentes danos que podem ocorrer ao meio ambiente e à saúde pública.

A velocidade e direção dos ventos, expressas pela rosa dos ventos, podem correlacionar informações que permitem conhecer a direção das massas de poluentes do ar; servem para identificar as fontes contribuintes e avaliar os resultados de medições. A trajetória e diluição dos poluentes dependem da direção e velocidade dos ventos.

Os dados de visibilidade podem ser utilizados para obter informações que auxiliam a compreender as condições de poluição do ar de uma área.

As medições da radiação solar podem indicar poluição por poluentes fotoquímicos e a formação de “*smog*” fotoquímico.

A temperatura, a direção e a velocidade dos ventos afetam a intensidade e a estrutura das turbulências do ar, as quais diluem ou difundem os poluentes do ar.

O perfil térmico da atmosfera tem relação direta com a dispersão dos poluentes por mistura vertical. O decréscimo da temperatura com a altitude, sem troca de calor, é chamado de gradiente de temperatura adiabático seco. Esse valor corresponde a menos 1 °C para cada cem metros de acréscimo de altitude. Quando a temperatura da atmosfera diminui mais rápido que a adiabática, a atmosfera é dita super-adiabática. Do ponto de vista de poluição do ar, essa condição é desejada por

dispersar com rapidez os poluentes na atmosfera (BRAGA, 2002 *apud* CARVALHO, 2006).

Episódios críticos de poluição do ar são definidos como a presença de altas concentrações de poluentes na atmosfera em curto período de tempo, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos mesmos (Resolução CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990).

A topografia local é mais um parâmetro que influencia o transporte e a dispersão dos poluentes do ar. Nos centros urbanos, localizados na costa de forma usual, encontram-se condições de vento que promovem maior dispersão de poluentes, do que aqueles cercados de montanhas e morros. No interior das áreas urbanas, os edifícios altos e outras estruturas, alteram a direção e a velocidade dos ventos e podem modificar a dispersão das emissões de poluentes do ar.

Em locais onde o escoamento do ar sofre obstruções por elementos naturais, tais como, montanhas e morros, ou elementos edificantes, como por exemplo, cercas e grandes edificações, a precipitação pluviométrica passa a ser o mecanismo mais eficiente e capaz de remover os poluentes do ar.

As chuvas afetam a concentração de poluentes por diluição e por ajudarem na precipitação de partículas. A ausência de chuvas e ventos impede a dissipação dos poluentes gerados na cidade, caso contrário, o ar ficaria imediatamente limpo, situação do lado esquerdo da Figura 5 (COELHO,2006).

A atmosfera e os fenômenos que nela ocorrem, as fontes de poluição do ar, os veículos automotores, emissões provenientes da queima dos combustíveis fósseis por eles utilizados, os fenômenos meteorológicos e as inversões de temperatura alteram ou contribuem para a alteração da qualidade do ar em uma área, região ou em escala mundial. Esta alteração provoca danos aos seres humanos, aos materiais das construções, a flora e a fauna, com distintas consequências e gravidade.

A concentração dos poluentes na atmosfera depende, quase que de forma exclusiva, da quantidade dos poluentes emitidos pelas fontes e das condições meteorológicas. É possível correlacionar episódios graves de poluição do ar com condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão de poluentes. A interpretação

dos dados da amostragem dos poluentes deve ser acompanhada dos dados de temperatura, direção, velocidade dos ventos e altura das inversões, o que permitirá identificar as variações sazonais das condições atmosféricas e a possível identificação de situações meteorológicas críticas de poluição do ar.

As interpretações das relações entre a meteorologia e a qualidade do ar, podem ser realizadas com análises referentes ao comportamento médio mensal de poluentes específicos, de acordo com as correlações entre os parâmetros meteorológicos e as concentrações de poluentes. Para material particulado (total e inalável) em estudos já realizados, concluiu-se, que as maiores concentrações correspondem aos meses de junho e julho, período de inverno onde são registrados dias com inversão térmica, que dificultam a dispersão dos poluentes. Este fenômeno ocorre quando o ar quente, mais leve, fica parado em uma altitude superior à do ar frio, mais pesado. Nessa situação estável, as massas de ar não se movimentam como pode ser observado no lado direito da Figura 5.

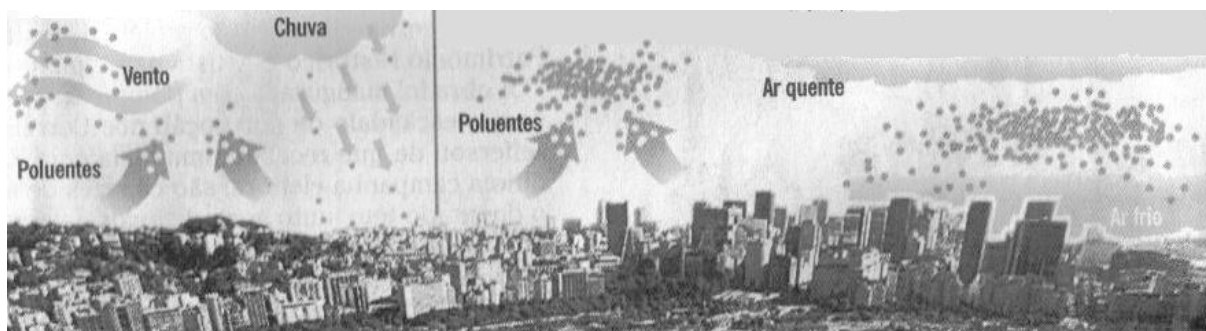


Figura 5 - Condições atmosféricas para a dispersão dos poluentes. Fonte: BRANDÃO, 2005 *apud* COELHO, 2006.

2. ANÁLISE DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS NO SISTEMA AEROPORTUÁRIO

A preocupação da comunidade científica mundial e da sociedade, em geral, com relação aos impactos ambientais gerados pela atividade aérea, iniciou-se com o objetivo de minimizar os problemas ambientais de abrangência local (SIMÕES, 2003 *apud* COELHO, 2006).

Internacionalmente, o protocolo de Kyoto, veio com força em fevereiro de 2005, com o comprometimento dos países signatários para o atendimento de metas de redução das emissões atmosféricas dos gases de efeito estufa (*greenhouse gases*). Os países industrializados comprometeram-se na redução de 5,2% dos níveis de emissões de 1990 até 2010 (atualmente, um período médio entre os anos de 2008-2012). Assim, diversas instituições e indústrias têm expressado o desejo de reduzir suas emissões ou compensá-las, reduzindo as emissões atmosféricas em outros locais. Poderá ser feito o pagamento por suas emissões e como contrapartida, o dinheiro investido será utilizado para projetos de aproveitamento energético e redução de emissões dos gases do efeito estufa, na proporção da “troca” e pagamento efetuado.

Para as compensações e cobrança dos créditos de carbono, as emissões devem ser calculadas de maneira precisa, e os projetos de compensação corretamente avaliados para garantir que a contrapartida esta de acordo com os resultados esperados (JARDINE, 2005).

Em 1998, em consequência do Protocolo de Kyoto, a ICAO e o *International Panel on Climate Change* (IPCC) prepararam um estudo sobre os efeitos mundiais das atividades aeroportuárias na atmosfera. Publicado em 1999, o estudo *Aviation and the Global Atmosphere*, considerou o ano de 1990 como base, e estimou que o crescimento do transporte aéreo fosse mais rápido que a economia global, com o valor provável de 5% ao ano até 2050 (BENITO, 2005 *apud* COELHO, 2006). Isso acarretará um grande impacto negativo na qualidade atmosférica, na medida em que o crescimento do transporte leva ao aumento de consumo de combustíveis e infraestrutura de equipamentos, bem como no consequente aumento de emissões atmosféricas de poluentes.

De acordo com o IPCC (1999), foi previsto que o crescimento anual de 5% ao ano de passageiros, pela distância percorrida, ocorre neste período atual entre 1990 e 2015, com o correspondente crescimento do consumo de combustível de 3% ao ano no mesmo período. A diferença entre o percentual de crescimento e consumo de combustível foi avaliada em relação à melhoria esperada no consumo das aeronaves ao longo do período (EEA, 2003).

Nos últimos 30 anos, os motores das aeronaves melhoraram em eficiência, devido ao alto custo do combustível. Prevê-se a continuidade de melhorias, a cada nova geração de propulsores e aeronaves. A tecnologia de combustão anular dupla, a exemplo, irá proporcionar a redução das emissões de NO_x. A EEA (*European Environmental Agency*), 2003 apresentou uma proposta média de redução de emissões conforme Quadro 6 uma vez que sejam melhoradas as tecnologias das turbinas e aeronaves nos próximos anos (EEA, 2003)

	NO _x	CO	HC
2020	-20%	-27%	-24%

Quadro 6 - Mudanças esperadas nos fatores de emissões em relação aos níveis atuais. Adaptado de EEA, 2003.

A regulação das emissões também é peça chave para promover as mudanças necessárias.

Apesar das pesquisas, que estão sendo realizadas, a escala real de tempo em que estas mudanças irão ocorrer e tornarem-se comercialmente disponíveis é incerta.

Os impactos causados pela aviação são maiores que concentrações de emissões quando originas ao nível do solo. Tal fato ocorre porque as emissões em altitudes desencadeiam uma série de processos químicos e físicos diferenciados quando comparados com os efeitos em baixas altitudes (JARDINE, 2005).

O *Aviation and the Global Atmosphere, 1999* ainda cita que os impactos causados no clima, devido aos gases e partículas emitidas e formadas como resultados das atividades de aviação são mais difíceis de quantificar do que as próprias emissões, entretanto, elas podem ser comparadas umas com as outras com o conceito de *Radiative Forcing*. O *Radiative Forcing* é uma medida de importância para conhecimento do mecanismo de mudança climática. Este conceito, expressa a perturbação ou mudança do balanço de energia no sistema terra-atmosfera em watts por metro quadrado [W.m²], nos quais valores positivos implicam em um aquecimento líquido, enquanto, valores negativos no resfriamento. Devido a complexidade do sistema atmosférico, os efeitos do *Radiative Forcing* no clima não podem ser considerados lineares. Além deste, são muitas as medidas de alteração do clima que incluem efeitos na temperatura local e global, nas precipitações, nas

velocidades dos ventos e nos níveis dos mares. Estas mudanças refletem diretamente na sociedade, na agricultura, no uso do solo e no consumo de energia (JARDINE, 2005).

Em termos de mudanças climáticas e interferência na camada de ozônio, as aeronaves emitem gases de efeito estufa como dióxido de carbono (CO_2) e água (H_2O). Ainda ao se considerar as emissões de NO_x é conhecido seu efeito sobre a formação de ozônio abaixo de 18-20km. A formação de O_3 em altitudes inferiores à altura normal impacta na química atmosférica, com consequente decaimento do metano (CH_4), outro gás de efeito estufa.

As emissões de partículas de água, também podem ser responsáveis pelo aquecimento global, quando da geração de nuvens artificiais lineares de condensação (*contrails*), na formação denominada de "cirrus". Em conjunto com emissões de óxidos de enxofre e partículas de fuligem, podem ser alteradas as propriedades óticas dos aerossóis, presentes nos *contrails* (Figura 6), com efeito direto no aquecimento atmosférico.

Parte das radiações é retida por essa configuração química atmosférica, causando primeiramente um resfriamento das camadas inferiores. Entretanto, a radiação que atravessa esta camada fica aprisionada por uma nova reflexão dos *contrails* em direção à superfície, quando da tentativa de retorno das radiações para fora da atmosfera, com o resultado do aquecimento atmosférico.



Figura 6 - Formação devido a *Contrails*. Disponível em:

http://www.climatecare.org/media/documents/pdf/aviation_emissions__offsets.pdf

2.1 Principais atividades emissoras de poluentes do ar em aeroportos

As principais atividades realizadas nos sítios aeroportuários, relacionadas com emissões de poluentes atmosféricos podem ser citadas conforme abaixo:

- Incineradores de lixo;
- Geradores termoelétricos;
- Manipulação de grandes volumes de combustíveis;
- Veículos de serviço em terra (equipamentos de operação de rampa);
- Tráfego de acesso ao aeroporto;
- Teste de motores; e
- Atividades que envolvem medidas operacionais de emergência (atividades de treinamento de incêndio).

2.2 O Ciclo LTO e CCD

O ciclo *Landing and Take Off Cycle* (LTO), ou Ciclo de Pouso e Decolagem, inclui todas as atividades próximas ao aeroporto que ocorrem abaixo da altitude de

3000 ft (1000m). Ele consiste no taxiamento de partida, decolagem, subida, aproximação de pouso e taxiamento de chegada. Este ciclo corresponde ao combustível necessário para colocar a aeronave no ar e trazê-la de volta. O consumo de cada etapa é desproporcional a distância percorrida. A decolagem é um movimento que requer muito mais queima de combustível do que a viagem em altitude constante no modo cruzeiro. Vide Figura 7.

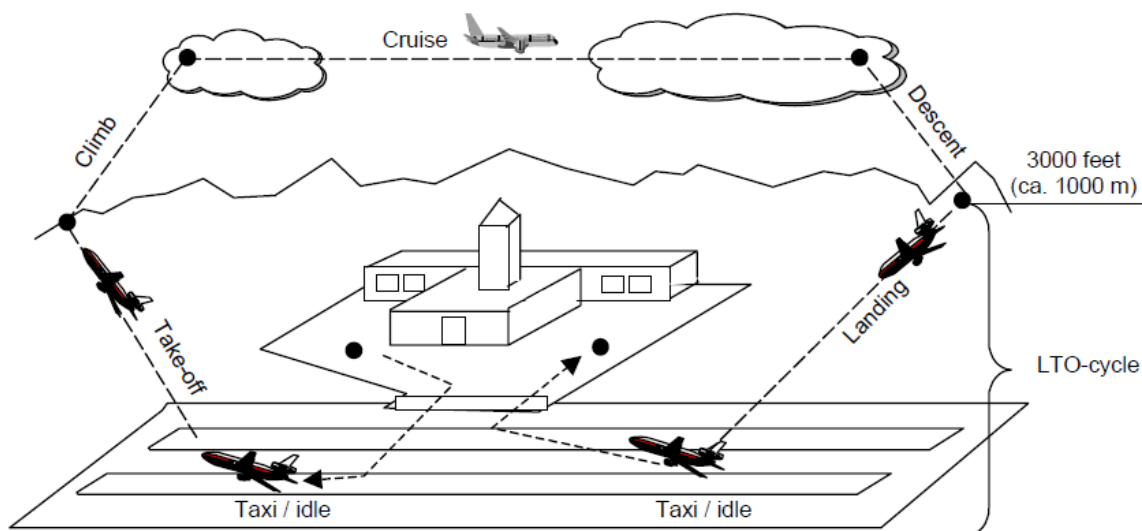


Figura 7 - Ciclo LTO e CCD. Disponível em:

<http://www.eea.europa.eu/publications/EMEPCORINAIR3/B851vs2.4.pdf>

Dois fatores principais precisam ser considerados na questão da poluição do ar: a queima de combustível aeronáutico e o ciclo LTO, que serve de base para o cálculo das emissões das aeronaves nos aeroportos.

Neste ciclo os poluentes atmosféricos são emitidos em proporções diferentes que dependem do tipo de motor e da fase do voo em que está a aeronave. A Figura 8 ilustra as diferentes proporções, em um ano, durante as emissões no ciclo LTO do Aeroporto de Orly/França.

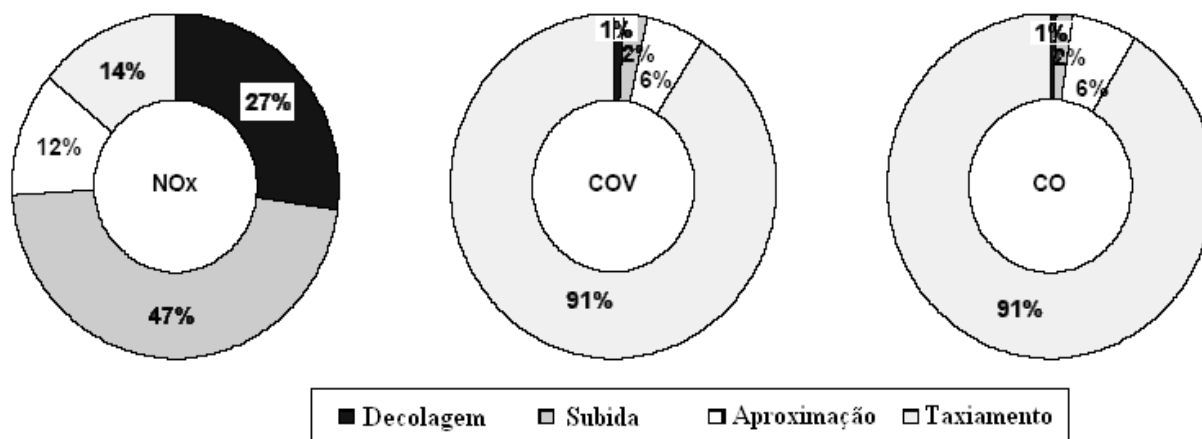


Figura 8 – Emissões atmosféricas do Aeroporto de Orly no ciclo LTO. Fonte: AIRPARIF, 2004 *apud* COELHO, 2006.

O ciclo LTO completo dura 34 minutos.

A escalada, a viagem em altura constante e a descida denominam um ciclo *Climb, Cruise e Descent* (CCD), o qual é definido como todas as atividades que ocorrem em altitudes acima de 3000 ft (1000m). O consumo de combustível deste movimento varia proporcionalmente com a distância.

2.3 Emissões de Partida das Aeronaves

As emissões de partida das aeronaves não estão inclusas nos ciclos descritos LTO e CCD. Atualmente, há pouca informação disponível para estimar estas contribuições. É sabido que para a quantificação total haja pouca contribuição efetiva desta etapa, entretanto, seu impacto pode ser de grande importância à exposição da comunidade aeroportuária e trabalhadores do pátio de aeronaves, devido a exposição aos gases e mistura de combustível lançada ao ar devido a baixa temperatura de queima quando da partida inicial das turbinas.

2.4 Descarga de Combustível em Emergências

É conhecido o procedimento de descarga de combustível durante o voo, antes de uma aterrissagem, para não exceder o peso máximo de pouso. Este procedimento é realizado em locais e altitudes nas quais não há impacto local na superfície (acima de 1000 metros). Somente grandes aeronaves utilizam este procedimento. Os compostos orgânicos voláteis nesta situação podem ser

significantes em aeroportos que recebem grande quantidade de voos de longa distância. Assim, as autoridades aeroportuárias e companhias aéreas devem controlar a frequência, quantidade do despejo e a altitude do procedimento realizado (EEA, 2003)

2.5 Verificação das Contribuições nos Ciclos LTO e CCD

As proporções entre os ciclos LTO e o ciclo CCD variam entre voo de curta distância (por exemplo, de Porto Alegre à Curitiba) e entre voos de longa duração (a exemplo de Porto Alegre a Lisboa).

Os voos de curta duração são definidos como aqueles com distâncias percorridas inferiores a 3500 km. As aeronaves Boeing da série 737, devido a sua popularidade e grande produção, são as mais representativas para esta classificação (JARDINE, 2005).

Historicamente, os voos de média e longa duração têm sido efetuados com aeronaves Boeing 747, e mais recentemente com o Airbus A340, que vêm atraindo parte do mercado para esta finalidade. O Airbus é mais recente em sua concepção e tecnologia, logo, é mais eficiente, produzindo menos CO₂ por quilometro do que o seu concorrente Boeing. Contudo, para voos de média e longa duração com distâncias maiores de 3500 km, considera-se como padrão de emissões as provenientes do Airbus A340 e a do Boeing 747.

As proporções entre o ciclo LTO e CCD variam entre voos, onde um voo de curta duração possui muito mais contribuição do ciclo LTO, em relação a um voo transatlântico. Vide Figura 9.

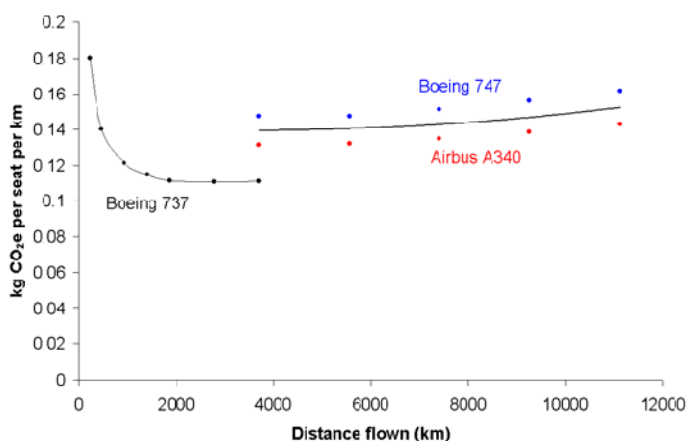


Figura 9 - Eficiência na queima de CO₂ entre voos de curta e longa duração.

Disponível em:

http://www.climatecare.org/media/documents/pdf/aviation_emissions__offsets.pdf

Para aeronaves maiores é verificado que o ciclo LTO, não é tão crítico em relação aos voos de curta distância com aeronaves menores

A Figura 10 apresenta o consumo de um Boeing 737-400 em cada etapa do ciclo LTO.

		Standard flight distances (nm)						
		125	250	500	750	1000	1500	2000
B737 400		[1nm = 1.852 km]						
Distance (km)	Climb/cruise/descent	231.5	463	926	1389	1852	2778	3704
Fuel (kg)	Flight total	1603.1	2268.0	3612.8	4960.3	6302.6	9187.7	12167.6
	LTO	825.4	825.4	825.4	825.4	825.4	825.4	825.4
	Taxi out	183.5	183.5	183.5	183.5	183.5	183.5	183.5
	Take off	86.0	86.0	86.0	86.0	86.0	86.0	86.0
	Climb out	225.0	225.0	225.0	225.0	225.0	225.0	225.0
	Climb/cruise/descent	777.7	1442.6	2787.4	4134.9	5477.2	8362.3	11342.2
	Approach landing	147.3	147.3	147.3	147.3	147.3	147.3	147.3
	Taxi in	183.5	183.5	183.5	183.5	183.5	183.5	183.5

Figura 10 - Consumo de combustível por LTO e distância percorrida para o Boeing 737-400. Fonte: *European Environmental Agency*. Disponível em:

<http://www.eea.europa.eu/publications/EMEP CORIN AIR3/B851vs2.4.pdf>

Ao analisar os dados acima, apresentados na Figura 10, com relação ao consumo de combustível médio entre todas as distâncias de viagens apresentadas durante o ciclo CCD, em relação ao ciclo LTO, verifica-se que o ciclo CCD corresponde a 85,6% do consumo de combustível e de forma complementar o ciclo

LTO, corresponde a 14,4% do consumo de combustível para uma distância média de 1620 km, entre as apresentadas (de 231,5 a 3704 km).

Tal verificação é também realizada para a aeronave Boeing 727, de acordo com os dados apresentados na Figura 11.

Fuel Consumption and emission factors for Dash 8, Fokker 50 and similar size turboprops

B727		Standard flight distances (nm) [1nm = 1.852 km]							
		125	250	500	750	1000	1500	2000	2500
Distance (km)									
	Climb/cruise/descent	231.5	463	926	1389	1852	2778	3704	4630
Fuel (kg)									
	Flight total	2716.8	3754.7	5660.2	7493.2	9471.2	13544.2	17872.3	22238.1
	LTO	1412.8	1412.8	1412.8	1412.8	1412.8	1412.8	1412.8	1412.8
	Taxi out	332.7	332.7	332.7	332.7	332.7	332.7	332.7	332.7
	Take off	145.1	145.1	145.1	145.1	145.1	145.1	145.1	145.1
	Climb out	365.9	365.9	365.9	365.9	365.9	365.9	365.9	365.9
	Climb/cruise/descent	1303.9	2341.8	4247.3	6080.4	8058.3	12131.4	16459.4	20825.2
	Approach landing	236.5	236.5	236.5	236.5	236.5	236.5	236.5	236.5
	Taxi in	332.7	332.7	332.7	332.7	332.7	332.7	332.7	332.7

Figura 11 - Consumo de combustível por LTO e distância percorrida para o Boeing 727. Fonte: *European Environmental Agency*. Disponível em:

<http://www.eea.europa.eu/publications/EMEPCORINAIR3/B851vs2.4.pdf>

Nesta verificação dos valores proporcionais a cada ciclo, para o Boeing 727, verifica-se que o ciclo CCD corresponde a 83,4% do consumo de combustível e o ciclo LTO corresponde a 16,6% do consumo de combustível, para uma distância média de 1620 km assim como do B737-400.

Já na verificação do consumo de aeronaves utilizadas em voos de longa distância (*medium or long-hauls*), como as do modelo Airbus A340 (Figura 12), é verificado que voos com distâncias maiores de 4000 km possuem uma relação distinta entre consumo de combustível quando comparadas com aeronaves para voos de curta distância (*short-hauls*). Verificando-se a média de valores do consumo do A340 para o ciclo LTO, este corresponde a 3,5% para a média de 7900 km das distâncias usualmente realizadas por esta aeronave, conforme a Figura 9. Encontra-se que o ciclo CCD corresponde a 96,5% do consumo de combustível.

Fuel Consumption and emission factors for Dash 8, Fokker 50 and similar size turboprops

A340		Standard flight distances (nm) [1nm = 1.852 km]														
		125	250	500	750	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000
Distance (km)																
Climb/cruise/descent		231.5	464.0	926	1389	1852	2778	3704	4630	5556	6482	7408	8334	9260	10186	11112
Fuel (kg)																
Flight total		3832.9	5669.1	8482.4	11310.9	14201.2	20133.2	26279.8	32695.5	39114.8	45873.9	52895.2	60079.4	67669.7	75568.3	83692.0
LTO		2019.9	2019.9	2019.9	2019.9	2019.9	2019.9	2019.9	2019.9	2019.9	2019.9	2019.9	2019.9	2019.9	2019.9	2019.9
Taxi out		386.9	386.9	386.9	386.9	386.9	386.9	386.88	386.88	386.88	386.88	386.88	386.88	386.88	386.9	386.9
Take off		244.6	244.6	244.6	244.6	244.6	244.6	244.6	244.6	244.6	244.6	244.6	244.6	244.6	244.6	244.6
Climb out		631.0	631.0	631.0	631.0	631.0	631.0	631.0	631.0	631.0	631.0	631.0	631.0	631.0	631.0	631.0
Climb/cruise/descent		1813.0	3649.2	6462.5	9291.0	12181.3	18113.3	24259.9	30675.7	37094.9	43854.0	50875.3	58059.5	65649.8	73548.4	81672.1
Approach landing		370.6	370.6	370.6	370.6	370.6	370.6	370.6	370.6	370.6	370.6	370.6	370.6	370.6	370.6	370.6
Taxi in		386.9	386.9	386.9	386.9	386.9	386.9	386.9	386.9	386.9	386.9	386.9	386.9	386.9	386.9	386.9

Figura 12 - Consumo de combustível por LTO e distância percorrida para o Airbus

A340. Fonte: *European Environmental Agency*. Disponível em:

<http://www.eea.europa.eu/publications/EMEPCORINAIR3/B851vs2.4.pdf>

Em comparação ao seu novo concorrente o Boeing 747-400, já apresenta um maior consumo de combustível durante o ciclo LTO (3,9%), em equivalência de consumo para os ciclos LTO e CCD, para a mesma média de distâncias percorridas, comprovando, a melhor eficiência do A340.

Ainda observa-se claramente o maior consumo (53% a mais) de combustível nos volumes totais consumidos pelo B747-400, em relação ao A340, para as mesmas distâncias percorridas. Vide Figura 13.

Em voos de curta distância, a contribuição do ciclo LTO, é mais representativa que em voos de longa distância, onde predominam as contribuições provenientes do ciclo CCD.

De forma complementar, verifica-se a possibilidade de redução dos poluentes atmosféricos uma vez da atualização das tecnologias das turbinas e aeronaves.

Fuel Consumption and emission factors for Dash 8, Fokker 50 and similar size turboprops

B747 400		Standard flight distances (nm) [1nm = 1.852 km]															
		125	250	500	750	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500
Distance (km)	Climb/cruise/descent	231.5	463	926	1389	1852	2778	3704	4630	5556	6482	7408	8334	9260	10186	11112	12038
Fuel (kg)																	
	Flight total	6330.9	9058.3	13404.6	17750.9	22097.2	30921.6	40266.7	49480.2	59576.9	69888.3	80789.2	91988.5	103811.4	115553.0	128170.8	141254.2
	LTO	3402.2	3402.2	3402.2	3402.2	3402.2	3402.2	3402.2	3402.2	3402.2	3402.2	3402.2	3402.2	3402.2	3402.2	3402.2	3402.2
	Taxi out	661.4	661.4	661.4	661.4	661.4	661.4	661.4	661.4	661.4	661.4	661.4	661.4	661.4	661.4	661.4	661.4
	Take off	411.9	411.9	411.9	411.9	411.9	411.9	411.9	411.9	411.9	411.9	411.9	411.9	411.9	411.9	411.9	411.9
	Climb out	1043.4	1043.4	1043.4	1043.4	1043.4	1043.4	1043.4	1043.4	1043.4	1043.4	1043.4	1043.4	1043.4	1043.4	1043.4	1043.4
	Climb/cruise/descent	2928.7	5656.1	10002.4	14348.7	18895.0	27519.4	36864.5	46078.1	56174.7	66486.1	77387.1	88584.3	100209.2	112150.9	124788.7	137852.1
	Approach landing	624.0	624.0	624.0	624.0	624.0	624.0	624.0	624.0	624.0	624.0	624.0	624.0	624.0	624.0	624.0	624.0
	Taxi in	661.4	661.4	661.4	661.4	661.4	661.4	661.4	661.4	661.4	661.4	661.4	661.4	661.4	661.4	661.4	661.4

Figura 13 - Consumo de combustível por LTO e distância percorrida para o Boeing 747-400. Fonte: European Environmental Agency. Disponível em:

<http://www.eea.europa.eu/publications/EMEPCORINAIR3/B851vs2.4.pdf>

2.6 Os Principais Poluentes do Sistema Aeroportuário e Aeronaves

Os poluentes emitidos pelo motor dos aviões, em ordem decrescente de quantidade emitida são: CO₂, H₂O, NO_x, NO₂, VOC, CO, HC e MP (ENVIRONNEMENT, 2005 *apud* COELHO, 2006). Os poluentes encontram-se discriminados, por etapa, de acordo com o Quadro 7.

Substância	Fonte
Óxidos de nitrogênio – NO _x	Resultante do funcionamento dos motores à combustão.
Óxidos de enxofre – SO _x	Formado na queima de combustíveis fósseis.
Monóxido de carbono – CO	Formado na combustão incompleta dos motores.
Hidrocarbonetos – HC	Resultante do combustível ou óleo combustível não queimado ou queimado de forma parcial.
Compostos Orgânicos Voláteis COV _s	Oriundo da evaporação dos combustíveis, dos solventes utilizados na limpeza, da cola para manutenção e durante a pintura de aeronaves.
Material particulado – MP	Saída do óleo lubrificante não queimado pelo escapamento e uso de aditivos formadores de cinzas. A fuligem é formada com altas temperaturas e a deficiência de oxigênio.

Quadro 7 – Principais Poluentes Emitidos no Sistema de Transporte Aéreo. Fonte de dados: ENVIRONNEMENT, 2005 *apud* COELHO, 2006.

De maneira geral, os NO, o CO e os HC são relevantes na qualidade do ar local, enquanto o CO₂, H₂O, NO_x e SO_x influenciam as mudanças climáticas (ROGERS *et al*, 2002 *apud* COELHO, 2006).

As emissões de poluentes atmosféricos das aeronaves não são desprezíveis, mesmo quando se considera outros modais. Como pode ser observado na Figura 14, as emissões de CO₂ são maiores para as aeronaves do que para outros meios de transporte.

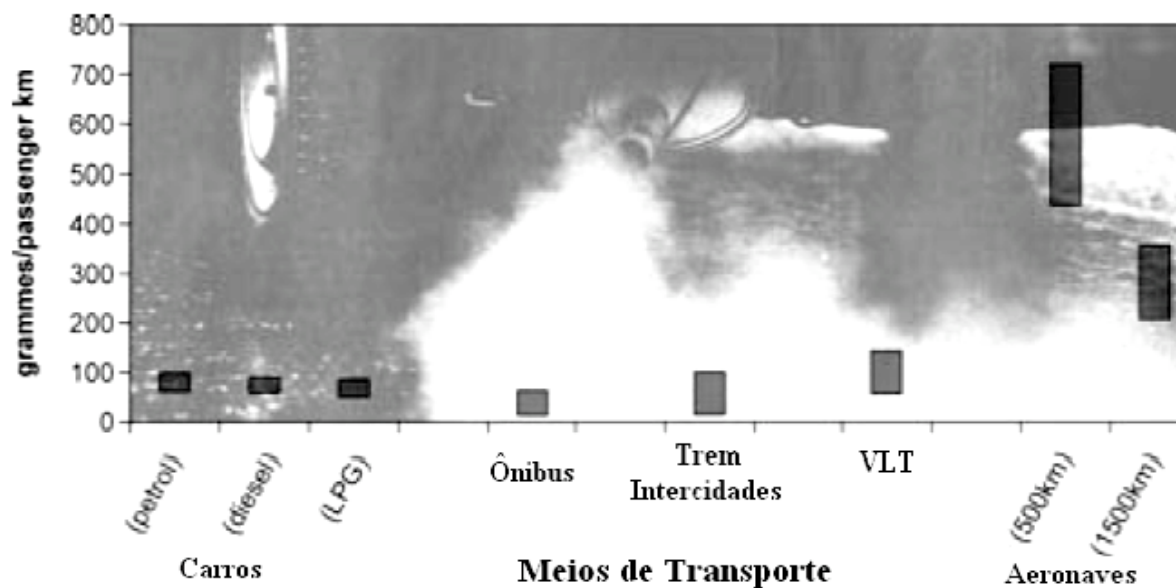


Figura 14 – Emissões de CO₂ comparadas entre modais de transporte. Fonte: *Whitelegg & Cambridge, 2004 apud Coelho, 2006.*

Para um trecho de quinhentos quilômetros, equivalente ao percurso entre Londres e Amsterdã, por exemplo, o total de CO₂ produzido por passageiro é 0,17kg/km de viagem de avião; 0,14kg/km de viagem de carro; 0,052kg/km de trem e; 0,047kg/km de barco (FOE, 2005 *apud* COELHO, 2006).

Dióxido de Carbono

O dióxido de carbono (CO₂) é um gás do efeito estufa que altera o balanço da irradiação recebida e refletida na superfície terrestre, com o resultado líquido de aquecimento atmosférico. As contribuições aeronáuticas, para esta substância, possuem os mesmos efeitos em grande altitudes ou ao nível do solo. Seu tempo de vida na atmosfera é de até 200 anos, vindo a ser naturalmente misturado em diversas altitudes, não importando aonde foi emitido.

A aviação é responsável por 2% das emissões antropogênicas de CO₂, o que a torna contribuinte para o aumento das emissões totais desta substância (WHITELEGG e CAMBRIDGE, 2004 *apud* COELHO, 2006).

Óxidos de Nitrogênio

Óxidos de Nitrogênio (NO e NO₂) são emitidos a partir da quebra de moléculas de nitrogênio do ar atmosférico, devido à elevada temperatura de combustão dos motores à reação. Nos NO_x estão incluídos o NO, o NO₂ e o óxido nitroso (N₂O). É um gás de alta reatividade química na atmosfera.

Os óxidos de nitrogênio contribuem para a formação do Ozônio (O₃) ao nível do solo e na presença de luz de maneira ainda mais expressiva, sendo que, quanto maior a altitude maior a presença de luz (JARDINE, 2005). Ainda é responsável pelo aumento da deposição de nitrogênio oxidado, aumentando a exposição ambiental para acidificação e eutrofização (RYPDAL, K. et al, 2004).

Os óxidos de nitrogênio em níveis acima de 1000m, em altura voo cruzeiro (ciclo CCD), tem um impacto local reduzido, entretanto significativo na qualidade do ar regionalmente (RYPDAL, K. et al, 2004).

As aeronaves são responsáveis por toda emissão de NO_x em altitudes entre oito e quinze quilômetros (WHITELEGG e CAMBRIDGE, 2004 *apud* COELHO, 2006).

O efeito negativo na qualidade do ar, nos limites regionais do aeroporto, durante ciclo CCD (*Climb, Cruise and Descent*), acima de 1000m, é de forma geral mais considerável do que as emissões de NO_x nas etapas de taxiamento, decolagem e aterrissagem (ciclo LTO). Para o dióxido de nitrogênio, NO₂, no ar ambiente nas proximidades dos aeroportos os efeitos não podem ser negligenciados, devendo ser alvo de estudos mais aprofundados sobre o seu devido impacto local (RYPDAL, K. et al, 2004).

A produção de NO_x é relacionada com a temperatura de combustão, com a pressão e o modelo da câmara de combustão do motor do avião. A eliminação do NO_x neste processo é de difícil execução, contudo, a Europa e os EUA desenvolvem programas, baseados no ciclo *Landing and Take Off 6 (LTO cycle)*, com o objetivo de reduzir as emissões em até 70% (ROGERS et al, 2002 *apud* COELHO, 2006).

A fase de decolagem, que não demora mais do que 42 segundos, é responsável por 27% das emissões de totais de NO_x (AIRPARIF, 2004 *apud* COELHO, 2006).

Desde a introdução das aeronaves a jato, o consumo de combustível por passageiros já reduziu cerca de 70% (ROGERS *et al*, 2002 *apud* COELHO, 2006). Contudo, as emissões de aeronaves oriundas da queima de combustíveis fósseis, estão em torno de 3,5% da contribuição humana total para o aquecimento global. Em 2050, esta porcentagem está estimada entre 4% e 15% (IPCC, 1999 *apud* COELHO, 2006).

A abrangência das emissões de NO_2 pode ser observada na Figura 15, que ilustra a capacidade de dispersão deste poluente, das emissões oriundas do Aeroporto de Orly na França, onde a área central, mais clara, é o sítio aeroportuário (AIRPARIF, 2004 *apud* COELHO, 2006).

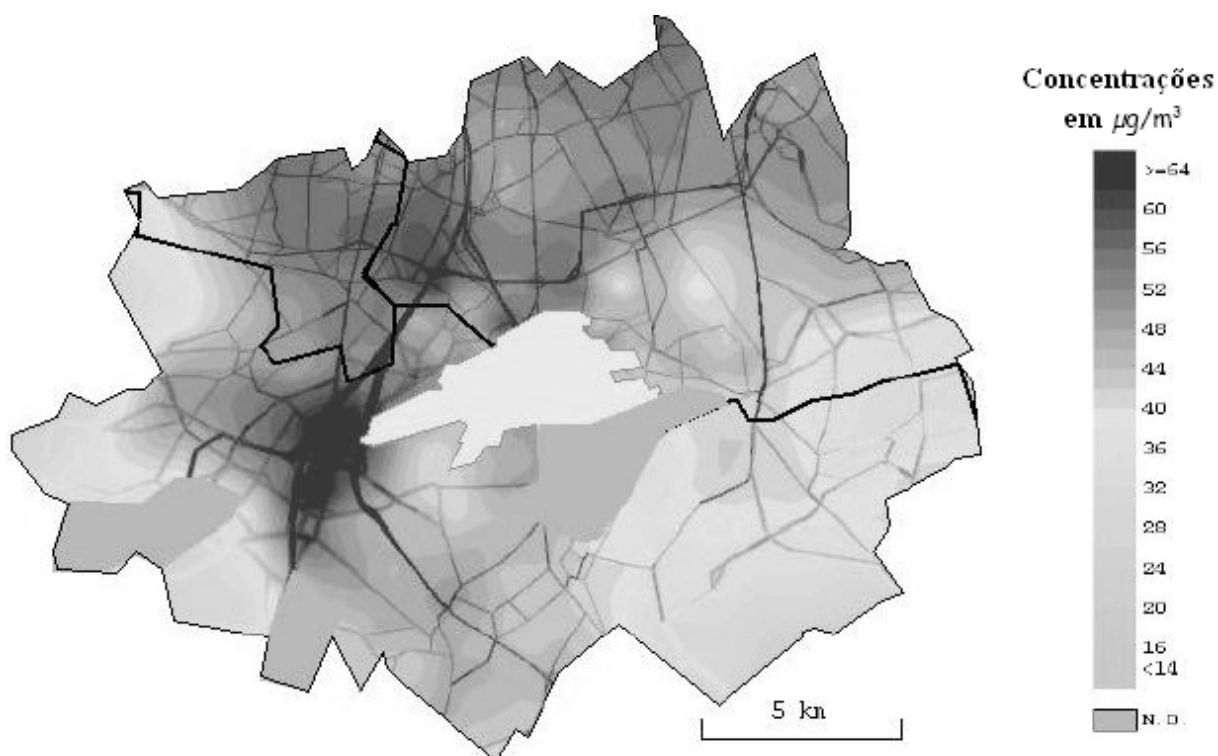


Figura 15 – Área abrangida por emissões de NO_2 no Aeroporto de Orly. Fonte: AIRPARIF, 2004 *apud* COELHO, 2006.

Para os outros gases indicadores de qualidade ambiental regional do ar, as emissões do ciclo CCD afetam a qualidade do ar com maior significância do que as provenientes dentro do ciclo LTO.

A contribuição da aviação para as emissões atmosféricas é maior para os óxidos de nitrogênio do que para quaisquer outros compostos que afetam a

qualidade do ar. Projeções para os anos 2015 e 2050 também indicam um aumento nas emissões de NO_x pela aviação do que para qualquer outro composto.

Óxidos de Enxofre

Nos SO_x , esta incluído o SO_2 . O enxofre do combustível é emitido em forma de SO_2 , de forma que os sulfetos e ácidos sulfúricos são produzidos no interior do motor do avião (ROGERS *et al*, 2002). Os óxidos de enxofre são emitidos na troposfera e na estratosfera (IPCC, 1999).

A quantidade de enxofre contido no querosene de aviação está em torno de 400ppm a 600ppm, embora, a especificação permite até 3000ppm. Se removido esse componente do combustível ocorrerá um aumento de CO_2 oriundo da energia despendida para retirar o enxofre do querosene. Além disso, a retirada do enxofre do combustível prejudicaria a lubrificação natural dos motores (ROGERS *et al*, 2002 *apud* COELHO, 2006).

O enxofre pode reagir com a água, formando uma esteira de fumaça e pode ser depositada no ambiente em forma de sulfato ou chuva ácida (WHITELEGG & CAMBRIDGE, 2004 *apud* COELHO, 2006).

VOC – Compostos Orgânicos Voláteis

Os compostos orgânicos voláteis impactam a qualidade do ar junto à superfície do solo, uma vez que são emitidos em situações de baixa energia de turbinas e motores em situações de acionamento das turbinas em espera (queima incompleta do combustível), sendo que 60% de sua geração é durante o ciclo LTO. Os VOC's possuem uma ordem de grandeza inferior às emissões da aviação de NO_x , sendo responsáveis 0,1% a 0,2% das contribuições globais. (RYPDAL, K. *et al*, 2004).

Material Particulado

O material particulado (MP), não é um único poluente porque sua composição química pode variar em partículas de diversos tamanhos.

Em aeroportos as maiores fontes destas partículas são a queima de combustíveis fósseis dos veículos e aeronaves. Em termos de emissão de motores aeronáuticos, as partículas se dividem em dois tipos: fuligem (com destaque ao carbono) e partículas voláteis (ácido sulfúrico condensado), as quais evaporam a temperaturas menores do que 100°C (ROGERS *et al*, 2002 *apud* COELHO, 2006).

Quanto a especificação do tamanho deste material particulado são considerados os particulado inaláveis (MP_{2,5}) e os materiais particulados totais (MP₁₀) sendo ambos significativos à qualidade ambiental e à saúde da população.

As contribuições aeronáuticas de material particulado representam menos de 0,001% das emissões globais (RYPDAL, K. *et al*, 2004). Assim a contribuição das emissões aeronáuticas são ínfimas comparadas com as contribuições de materiais particulados gerados por fontes em solo. Somente deve ser pontuado que isto não dispensa sua importância na formação de nuvens e outros mecanismos que afetam o clima global.

Ozônio

A molécula de ozônio contém três átomos de oxigênio (O₃). O gás ozônio é formado de maneira natural na estratosfera devido à ação da radiação ultravioleta nas moléculas de oxigênio. A camada de ozônio protege a Terra da radiação ultravioleta vinda do Sol (IPCC, 1999 *apud* COELHO,2006). A formação do O₃, a partir dos poluentes aeronáuticos: CH₄, CO e hidrocarbonetos não metálicos, podem ser observados na Figura 16. Além disso, a produção do O₃ na troposfera a partir das emissões aeronáuticas de NO_x é acelerada devido a processos fotoquímicos locais (IPCC, 1999 *apud* COELHO,2006).

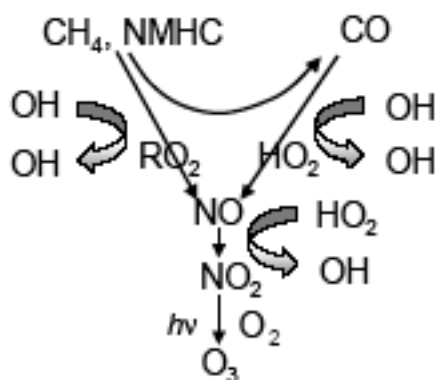


Figura 16 – Produção do Ozônio a partir do CH_4 . Fonte: ROGERS *et al*, 2002 *apud* COELHO, 2006.

Devido à permanência do O_3 na atmosfera foi realizada uma estimativa, ilustrada na Figura 17, embasada nas emissões aeronáuticas. É possível notar que a maior concentração (em partes por bilhão) ocorrerá no hemisfério norte, onde cerca de 80% dos voos ocorrem (FOE, 2005). O cenário futuro foi estabelecido com a consideração das condições meteorológicas de julho do hemisfério norte com uso da química simplificada (NO_x - HO_x - CO - CH_4 - O_3), ocorrida na troposfera (ROGERS *et al*, 2002 *apud* COELHO, 2006). Contudo, devido a sua grande permanência na atmosfera, a tendência é a dispersão deste poluente pelos dois hemisférios.

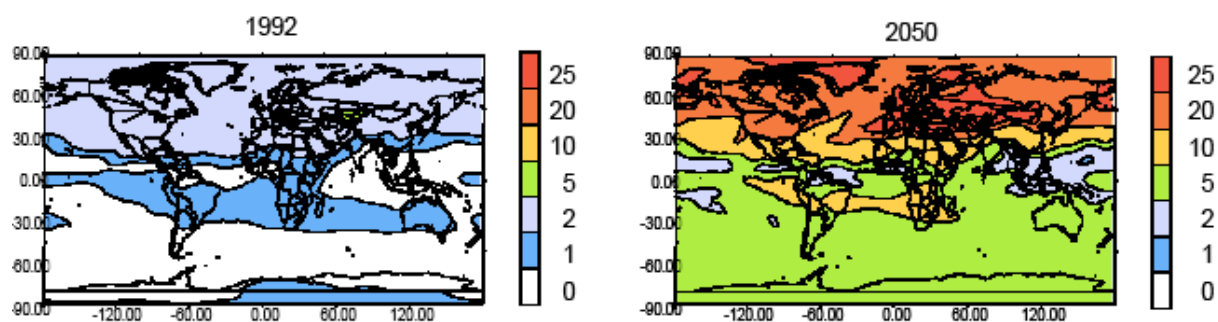


Figura 17 – Variação do Ozônio oriundo das Emissões Aeronáuticas. Fonte: ROGERS *et al*, 2002 *apud* COELHO, 2006.

3. QUANTIFICAÇÃO DE POLUENTES E MODELAGEM AMBIENTAL

O controle da poluição atmosférica em escala local ou regional é realizado, de forma usual, através de rede de monitoramento da qualidade do ar. Esta rede constitui um instrumento útil para a segurança da saúde humana e do ambiente, e permite analisar o benefício de ações de saneamento e predispor intervenções específicas no caso de superação dos níveis limites estabelecidos pela legislação (MOREIRA; TIRABASSI, 2004a).

Por motivos de caráter econômico e administrativo, o número de pontos de medida de uma rede é limitado e, acima de tudo, a disposição espacial delas pode não ter sido estudada cuidadosamente, podendo estar posicionada em um local pouco representativo ou até em locais de difícil acesso. Por este motivo, os modelos matemáticos constituem uma ferramenta importante para auxiliar as medidas de concentrações e saber a evolução das mesmas. Uma vez acertada a modelagem do cenário, pode-se obter qualidade na resposta fornecida por um modelo. Isto permite analisar a contribuição das diversas fontes para a poluição geral, e então endereçar corretamente eventuais ações de mitigação das emissões. Somente com modelos matemáticos é possível fazer previsões ou simular campos de concentração em conexão com políticas de controle de poluentes em concordância com planos de melhoria da qualidade de vida da população e dos trabalhadores expostos à ambientes com grande geração de gases. A introdução da modelagem matemática produz um salto de qualidade na gestão da poluição atmosférica (MOREIRA, D. M. *et al.*, 2008)

Para a quantificação dos poluentes atmosféricos gerados pelo aeroporto é necessária a discriminação das aeronaves e dos veículos que circulam na área interna deste empreendimento.

Durante as operações em terra, uma série de veículos de apoio e equipamentos são requeridos. Atualmente, no Aeroporto Internacional Salgado Filho, a movimentação é intensa nos pátios de manobras principalmente pelas *Ground Power Units*, caminhões *Push Back* e tratores de bagagens. Todas as operações de abastecimento das aeronaves são realizadas por caminhões pipa e algumas operações de embarque e desembarque são realizadas na área remota, requerendo a utilização de ônibus de transporte.

Nos dados das aeronaves envolvidas, serão consideradas a aviação geral (táxi aéreo e helicópteros, por exemplo), os quais, mesmo com características de pequeno porte e com baixas emissões de poluentes atmosféricos, devido ao pequeno percentual de utilização perante as grandes aeronaves, como forma conservadora de aproximação às emissões de poluentes.

3.1 Dados Existentes do Transporte Aeroviário do Rio Grande do Sul

Em uma iniciativa do Governo do Estado do Rio Grande do Sul, foi contratada a realização do **Inventário das Emissões de Gases de Efeito Estufa do Rio Grande do Sul - 2005**, envolvendo o levantamento das contribuições de poluentes atmosféricos dos diversos setores de atividades do estado, incluindo modais de transporte, matriz energética, contribuição industrial, agricultura e resíduos. Neste trabalho foi seguida a metodologia do *GIEC Lignes directrices 2006 pour les inventaires nationaux de gaz à effect de serre* e preservada a coerência com os fatores, das metodologias dos inventários realizados no Brasil, com fatores de emissão preconizados pelo Ministério Brasileiro de Ciência e Tecnologia (MCT) já adotados, anteriormente, por outros Estados brasileiros que realizaram inventários regionais.

Sua abordagem metodológica simples consistiu em combinar informações sobre as atividades (Dados sobre as Atividades – DA) e coeficientes que quantificam as emissões por atividade, sendo estes os Fatores de Emissões – FE. Assim o método resulta na seguinte equação:

$$\text{Emissões} = \text{DA} * \text{FE} \quad [1]$$

É citado que o inventário realizado por aquele trabalho constitui uma primeira estimativa das emissões e absorções de gases do efeito estufa no RS.

Neste trabalho, o **Inventário das Emissões de Gases de Efeito Estufa do Rio Grande do Sul – 2005** será a base comparativa para avaliação dos valores de emissão de poluentes atmosféricos na modelagem que será realizada para o Aeroporto Internacional Salgado Filho.

As emissões para cada setor correspondem ao consumo de combustíveis fósseis, que é expresso em tonelada equivalente petróleo (tep).

Os fatores de emissão para o CO₂, conforme o Quadro 8, correspondem aos fatores utilizados nacionalmente para realizar o inventário de gases do efeito estufa do Brasil.

Combustível	Gasolina	GLP	Querosene	Álcool
Fator de Emissão (tCO ₂ /tep)	2,95	2,68	3,04	2,31

Quadro 8 - Fatores de Emissões de CO₂ - Adaptado de MCT, 2010.

No inventário em questão, o setor de transportes é identificado como o principal emissor de gases poluentes, totalizando 65% das emissões, seguido pela taxa de 20% de contribuições industriais e 9% de fontes residenciais.

No contexto dos combustíveis listados, a gasolina corresponde a 22% das contribuições totais, 8% do GLP, 2% do Querosene e o Álcool Etílico Anidro Hidratado não chega a sequer entrar na contabilidade.

3.1.1 Emissões do Transporte Aéreo no Rio Grande do Sul

Na aproximação dos valores apresentadas pelo estudo do Inventário de **Inventário das Emissões de Gases de Efeito Estufa do Rio Grande do Sul – 2005** foram consideradas as contribuições do Estado às emissões de GEE nacionais. Ainda houve a limitação de quantificação estimativa das emissões, apoiada nos consumos de Querosene (95%) e de Gasolina, do levantamento realizado em 2005, conforme 66.000 tep. Neste trabalho foi apresentado que o transporte aéreo no RS gerou 201.581 teqCO₂ no ano de 2005.

Em recomendação é indicada a consolidação dos resultados do estudo com a utilização de metodologia *Tier 2* do GIEC e ainda a utilização dos dados e fatores considerados no relatório **Emissões de Gases do Efeito Estufa no Transporte Aéreo, ANAC 2010**.

A consideração dos volumes de combustível, citados acima, contemplam os quantitativos utilizados tanto no ciclo LTO quanto no ciclo CCD. Assim, de acordo com as proporções de consumo de combustível médio referenciados para aeronaves que realizam voos de curta distância (*short-hauls*) do item 2.5, ao adotar

a proporção respectiva ao ciclo LTO de 15,5% é possível quantificar a geração de 31.241 teqCO₂ em 2005, dentro deste ciclo.

3.2 Quantificação de Poluentes Atmosféricos de acordo com Metodologia do MCT

De posse dos dados de consumo de querosene do Aeroporto Internacional Salgado Filho, para o ano de 2010, ao se utilizar a metodologia do MCT, pretende-se obter um valor de referência entre este método já utilizado pelo Governo Federal (MCT) e o método proposto por este estudo.

Assim, de acordo com o consumo médio de 141.094.089 litros de querosene em 2010, sendo este o “Dado sobre a Atividade (DA)” e ao adotar-se o Fator de Emissão (FE) da literatura como sendo 3,04 tCO₂/teq na equação 1:

$$Emissões = 141.094,089 \text{ m}^3 * 0,8 \text{ teq/m}^3 * 3,04 \text{ tCO}_2/\text{teq} = 343.140,82 \text{ tCO}_2$$

Uma vez que em 3.1.1, a consideração dos volumes de combustível contemplam os quantitativos utilizados, tanto no ciclo LTO quanto no ciclo CCD, de acordo com as proporções de consumo de combustível médio referenciados para aeronaves que realizam voos de curta distância (*short-hauls*) do item 2.5, ao adotar a proporção respectiva ao ciclo LTO de 15,5% é possível quantificar a geração de 53.181 teqCO₂ em 2010, dentro deste ciclo.

Este será o valor comparativo para a verificação e validação da geração de poluentes atmosféricos, em termos do poluente CO₂, com a utilização do *Emission Dispersion Modeling System – EDMS*, comparativamente às metodologias mais simplificadas utilizadas pelo MCT aqui demonstradas.

Foi adotado, nesse estudo, a proporção de voos de curta distância por serem os mais representativos para as operações realizadas no Aeroporto Internacional Salgado Filho.

3.3 Quantificação de Poluentes Atmosféricos com o uso do *Emission Dispersion Modeling System* - EDMS

A quantificação dos poluentes atmosféricos gerados pelo aeroporto é apresentada na forma de inventário, através da simulação de um ano operacional com o uso do software EDMS (*Emission Dispersion Modeling System*), o qual pode ser usado para mensurar a contribuição e o incremento dos poluentes atmosféricos em aeroportos civis e militares. É o *software* preferido pela EPA (*Environmental Protection Agency*, Agência de Proteção Ambiental Americana) e FAA (*Federal Aviation Administration*). É um programa computacional para tomada do inventário de emissões de aeronaves, equipamentos de suporte, tráfego veicular, simulações de emergência e outras fontes estacionárias.

3.3.1 Entrada de dados e considerações importantes

A entrada de dados consistentes e suposições conservativas são de extrema importância para a análise efetiva dos casos. Suposições conservativas, que erram ao subestimar os benefícios da redução de emissões, devem ser usadas para desenvolver entradas para os modelos, onde quer que as incertezas existam. Alinhado com isso, os níveis de atividades para cenários atuais e futuros devem ser os mesmos, a não ser que haja uma previsão de alteração de veículos e equipamentos, e frequência de uso no futuro. Áreas com incertezas potenciais devem ser identificadas e descritas sempre que possível (EPA & FAA, 2004).

A altura da zona de mistura é um fator significativo no cálculo das emissões de NO_x, se comparado com emissões de CO e HC. Para outros poluentes que não sejam os NO_x, o valor da altura de mistura pode ser fixado em 3000 ft. (WAYSON & FLEMING, 2000).

O próximo passo é considerar se as concentrações locais poderiam ser afetadas, se os aviões estivessem em 3000 ft. e a altura de mistura em uma altitude maior. Este pensamento é baseado na experiência que níveis de concentração local de aeronaves acima de 3000 ft. são muito pequenas, mesmo quando altura de mistura são maiores do que 3000 ft. Isto pode ser provado com a utilização de

fatores de emissão publicados pela Organização Internacional de Aviação Civil (ICAO) e modelagem de dispersão (WAYSON & FLEMING, 2000).

A parte fundamental desta análise foi assegurar que os fatores de emissão usados eram conservativos. A consideração foi utilizar o Boeing 747SP, que pode ser equipado com diferentes motores, e em três diferentes modos em 3000 ft., como cruzeiro, decolagem e aproximação. A base de dados da ICAO não incluiu o modo cruzeiro, porém, o modo decolagem tem características muito semelhantes, ainda com a consideração dos efeitos da altitude serem pequenos acima de 3000 ft., ambos podem ser considerados com o mesmo tipo de emissão. Os fatores de emissões para decolagem e aproximação, foram extraídos da base de dados da ICAO, para todos possíveis motores do Boeing, permitindo a comparação das emissões para os modos de decolagem e aproximação (WAYSON & FLEMING, 2000).

Tal simulação comprovou que mesmo com todas as considerações conservativas, que os efeitos junto ao solo, para o monóxido de carbono e hidrocarbonetos são muito pequenos quando o avião encontra-se a somente 1500ft., em valores convertidos para metros: 457,2 metros (WAYSON & FLEMING, 2000).

As Figura 18, Figura 19 e Figura 20, apresentam as concentrações máximas esperadas a favor do vento em quaisquer distâncias, comparadas com a elevação da aeronave (Boeing 747SP), para hidrocarbonetos, monóxido de carbono e óxidos de nitrogênio, de forma respectiva. Nas figuras apresentadas pode se identificar que as concentrações dos poluentes no nível do solo decrescem de forma rápida com o aumento da elevação da aeronave, mesmo para aviões comerciais de grande tamanho como o caso deste Boeing 747SP. As figuras, a seguir, apresentam ainda as concentrações máximas dos poluentes no nível do solo, dentro de uma caixa, para a situação da aeronave em 3000 ft.

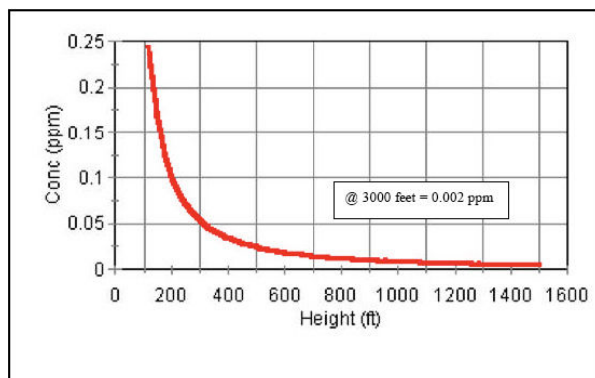


Figura 18- Concentrações de hidrocarbonetos de acordo com a elevação de aeronave acima do solo. Fonte: WAYSON & FLEMING, 2000.

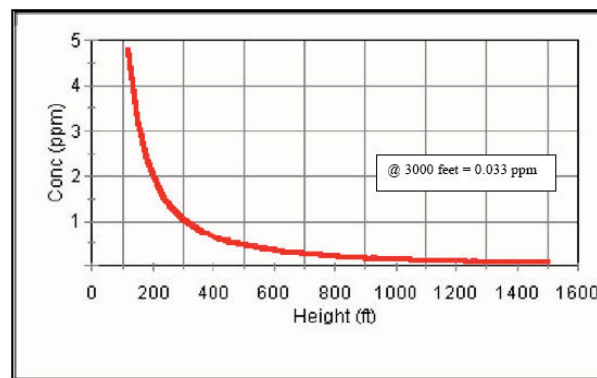


Figura 19 - Concentrações de monóxido de carbono de acordo com a elevação aeronave acima do solo. Fonte: WAYSON & FLEMING, 2000.

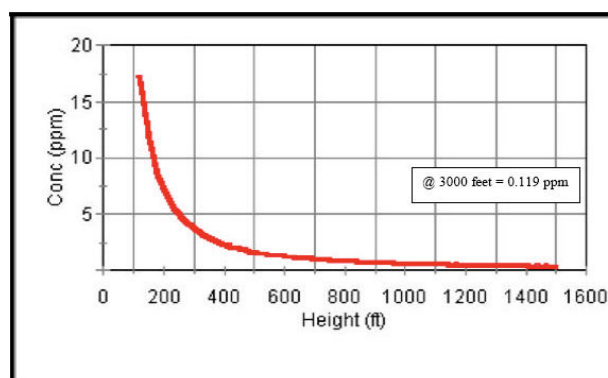


Figura 20 - Concentrações de óxidos de nitrogênio de acordo com a elevação de aeronave acima do solo. Fonte: WAYSON & FLEMING, 2000.

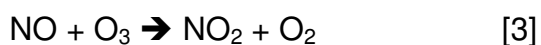
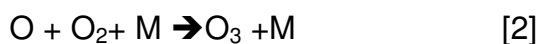
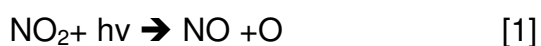
De forma complementar, WAYSON & FLEMING, 2000, apresentam no relatório, *Consideration of Air Quality Impacts by Airplane Operations at or Above 3000 feet AGL* que as operações das aeronaves em 3000 pés ou acima desta altitude, devem ser desconsideradas para a modelagem dos impactos à qualidade do ar em âmbitos locais. Entretanto, ressalta que impactos regionais e de grande abrangência, como a formação de Ozônio, podem resultar destas operações.

Conforme já citado, é de grande importância a relação entre a altitude mínima da aeronave e a altura de mistura (*mixing height*). A altura de mistura é definida como a região vertical da atmosfera onde a mistura dos poluentes acontece. Acima desta altura, os poluentes emitidos, de forma geral, não impactam a qualidade do ar local.

Até este ponto, a análise de todos NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$), têm sido realizada com a aeronave estacionária, sendo uma fonte de emissão contínua. Para analisar de forma mais realística, pela forma química e tempo que a pluma da aeronave poderia adicionar concentrações para o nível do solo, um local como fonte receptora também deve ser considerado.

O monóxido de carbono é um poluente com pouca reatividade. Entretanto, hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio são muito reativos, o que pode reduzir de forma drástica suas concentrações daquelas esperadas, reduzindo o impacto. A suposição de emissões contínuas ainda aumenta de forma substancial as concentrações ao nível do solo (WAYSON & FLEMING, 2000).

A consideração mais realística para as concentrações de NO_x , deve ter suas reações consideradas. As reações químicas dos óxidos de nitrogênio dentre as centenas possíveis podem ser adotadas de maneira simplista com as três reações mais importantes a seguir:



A reação 1, representa que na presença de radiação ionizante com a luz solar ($h\nu$) o dióxido de nitrogênio se dissocia para óxido nítrico e um radical oxigênio. A reação 2, mostra que o radical oxigênio produzido combina-se com o oxigênio de forma a produzir Ozônio (O_3).

Já a reação 3, mostra a possível reação com o óxido nítrico, com a formação de dióxido de nitrogênio.

3.3.2 Valoração dos Impactos

Os impactos significantes para a qualidade do ar local são definidos como ocorrentes, se as concentrações locais para os critérios de qualidade do ar são excedidos para os poluentes listados (WAYSON & FLEMING, 2000).

Durante a valoração das ações e dos impactos, os totais emitidos para os poluentes de interesse, são mensurados pela predição de concentrações locais e emissão total em massa dos poluentes, que são comparados de forma direta e individual com os padrões adotados (WAYSON & FLEMING, 2000).

4. METODOLOGIA DO INVENTÁRIO DAS EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICAS DO AEROPORTO INTERNACIONAL SALGADO FILHO

A metodologia adotada, para a quantificação dos poluentes atmosféricos gerados nas operações aeroportuárias, segue as premissas descritas neste estudo, em conjunto com as restrições e considerações adotadas no uso do software *Emissions and Dispersion Modeling System* (EDMS), em sua versão 5.1.3, de acordo com a descrição a seguir:

4.1 EDMS

O EDMS é um modelo de avaliação da qualidade do ar em aeroportos civis e bases militares por meio da combinação das funções de emissões (inventários) e também com a saída de dispersão de poluentes. Oferece a flexibilidade de permitir ao usuário gerar apenas o inventário de emissões ou, de forma complementar, a dispersão de poluentes.

O *software* foi desenvolvido pela *Federal Aviation Administration* (FAA) em cooperação com a *United States Air Force* (USAF). O modelo é usado para produzir o inventário de emissões geradas pelas fontes internas e do entorno dos aeroportos ou em bases aéreas, assim como, para calcular as concentrações de poluentes nestes ambientes.

O EDMS contém um Módulo de Performance de Aeronaves e um Módulo de Emissões de Aeronaves. O processador de emissões utiliza uma combinação de modelos da EPA e outros dos melhores modelos de outras fontes como CAEP (*Committee on Aviation Environmental Protection*) para calcular emissões de aeronaves, veículos de estradas (*on-road*) e fora-de-estrada (*off-road*), e de fontes estacionárias.

4.1.1 Consideração dos tempos das aeronaves em pista, “*Times in Mode*”

A quantidade de tempo que uma aeronave gasta nas diferentes posições e movimentações se refere ao termo “*Times in mode*,” correspondente ao ciclo LTO (*Landing-takeoff*), compreendido desde o momento da aterrissagem até a sua decolagem. No EDMS, este ciclo é dividido em 6 fases: aproximação, taxiamento de chegada, partida, taxiamento de saída e decolagem. Por simplificação o ciclo LTO é aproximado pelo movimento de aproximação, taxiamento e decolagem.

Dentre as opções disponíveis para determinar o tempo de operação para a aeronave modelada estão: *Performance Based* e *ICAO/USEPA Default*. O modelo *Performance Based* utiliza dados da fuselagem e motorização junto com dados meteorológicos para modelar cada voo de maneira dinâmica. O *ICAO/USEPA Default* utiliza valores tabelados, e este será o modo utilizado neste estudo, direcionado ao inventário das emissões, com menor ênfase a uma consideração mais detalhista (caso contemplasse uma modelagem da dispersão de poluentes).

O tempo de movimento de taxiamento das aeronaves ainda pode ser ajustado de acordo com a definição do usuário para cada tipo de aeronave, adicionada ao estudo (*User-specified taxi times*) ou de acordo com *Delay and Sequence Modeling*, que considera o tempo de demanda operacional de cada aeronave com seus respectivos tempos de taxiamento. Para este estudo, adotou-se o *Delay and Sequence Modeling*, no qual considera as distâncias referentes do portão (*gate*) de embarque/desembarque às cabeceiras da pista de acordo com o modelo inserido no EDMS. O modelo representativo dos portões de embarque (portões, pátios e área remota), das pistas de taxiamento, pista de pouso e decolagem do Aeroporto

Internacional Salgado Filho foram inseridos de maneira simplificada conforme apresentado na Figura 21.

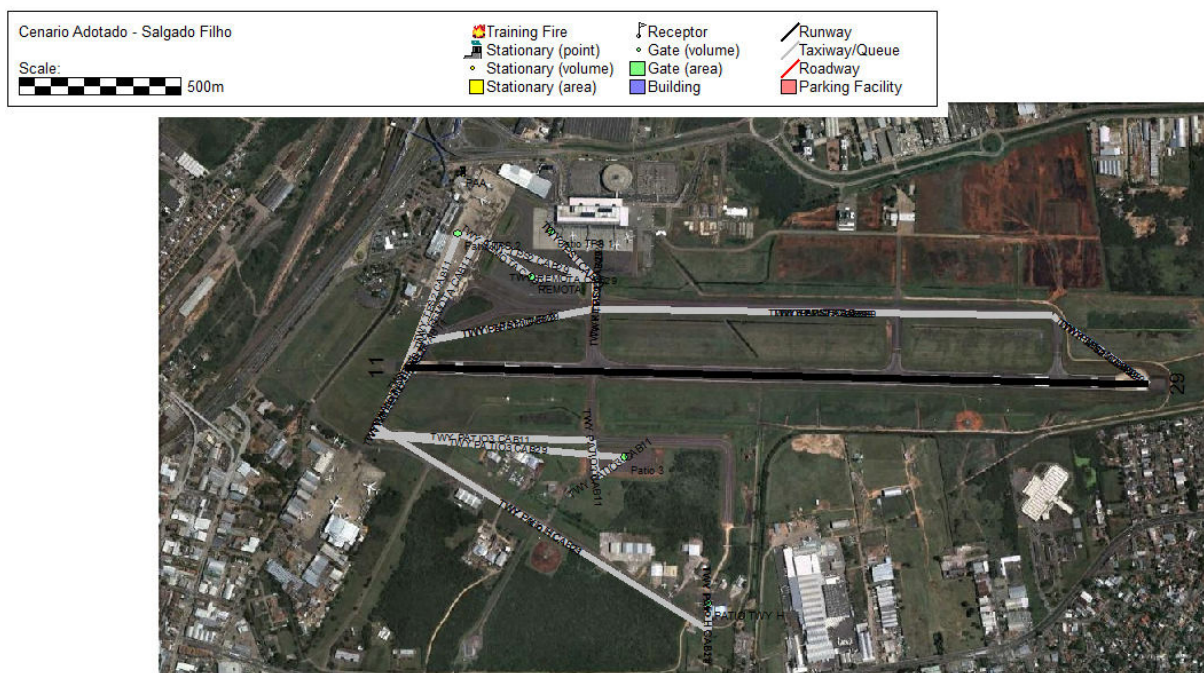


Figura 21- Configuração das pistas de pouso/decolagem e *taxiways* utilizadas

4.1.2 Cenários

O uso do EDMS permite a utilização de diversos cenários para uma mesma análise local do aeroporto, com variação dos tempos de movimentos das aeronaves. As informações referentes a determinado aeroporto incluem condições climáticas meteorológicas, portões embarque/desembarque, pista de taxiamento e outras fontes de emissões que estão incluídas nas atividades diversas de operação e manutenção.

As condições meteorológicas foram definidas de acordo com os dados apresentados para as médias anuais de temperatura. A consideração meteorológica adotada foi o uso de médias anuais (*Annual Averages*), com a adoção da altura de mistura em 3000 ft.(pés). A altura de mistura é considerada como o limite vertical para o cálculo das emissões de aeronaves, sendo esta já pré-configurada para a altura limite do ciclo LTO. A Figura 22, apresenta as configurações climáticas médias de entrada no EDMS, bem como os dados de entrada da porcentagem de utilização das cabeceiras de pista nos movimentos de pouso e decolagem.

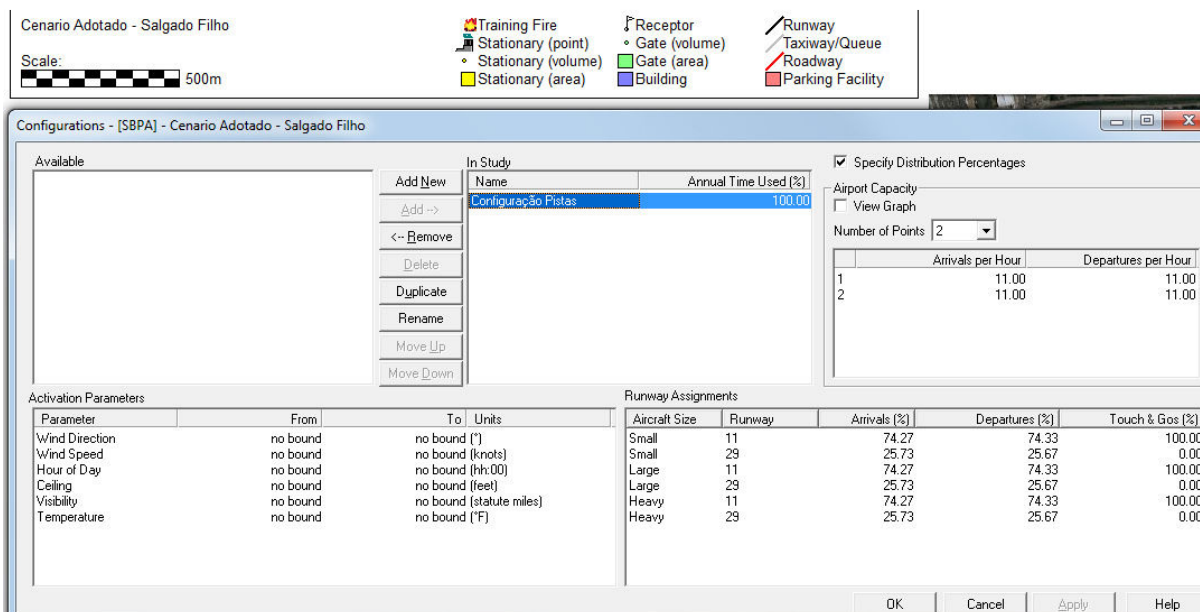


Figura 22 - Tela de entrada dos dados *Activation Parameters* (climáticos médios) e *Runway Assignments* (utilização de cabeceiras da pista).

Uma maneira de gerar o inventário de emissões e obter um valor estimado das emissões totais anuais é proceder à configuração do estudo com a adição dos cenários do aeroporto, juntamente com a definição de todas as fontes de emissões com a inclusão dos movimentos operacionais. Utiliza-se ainda os dados da ICAO/EPA, dos tempos “*time in mode*,” com os padrões operacionais e os dados climáticos do banco de dados do EDMS (já inclusos para muitos aeroportos). Esta configuração somente considera o número total de operações para o ano inteiro, sem levar em conta quando ocorrem.

No levantamento dos dados de movimentos operacionais, os quais foram fornecidos pela INFRAERO, encontravam-se dados discriminados por aeronave com a possibilidade de uma discretização limitada as aeronaves listadas no banco de dados do EDMS. Ressalva-se, que algumas aeronaves, que não se encontravam listadas no EDMS, não foram computadas na simulação.

No ano de 2010, foram realizados 90.100 movimentos operacionais, com identificação das aeronaves que operaram no sítio aeroportuário no ano de estudo, sendo ainda separados os movimentos operacionais por pousos e decolagens com identificação das cabeceiras de cada operação.

Dentre o total de movimentos realizados, podemos destacar:

- Pouso CAB11 = 33.617 movimentos
- Pouso CAB 29= 11.642movimentos
- Decolagem CAB11= 33.329 movimentos
- Decolagem CAB 29= 11.512 movimentos

Destes movimentos operacionais, não foram encontradas algumas aeronaves no banco de dados do EDMS, as quais representaram 3,84% do montante de movimentos de pouso e decolagens. Devido a este percentual reduzido, esta diferença poderá ser considerada nos valores das contribuições encontradas com um acréscimo de 3,84%, de mesma ordem de grandeza, sem comprometimento aos resultados. A Figura 23, apresenta a tela de entrada das aeronaves consideradas no inventário com a entrada dos movimentos anuais e demais configurações adotadas.

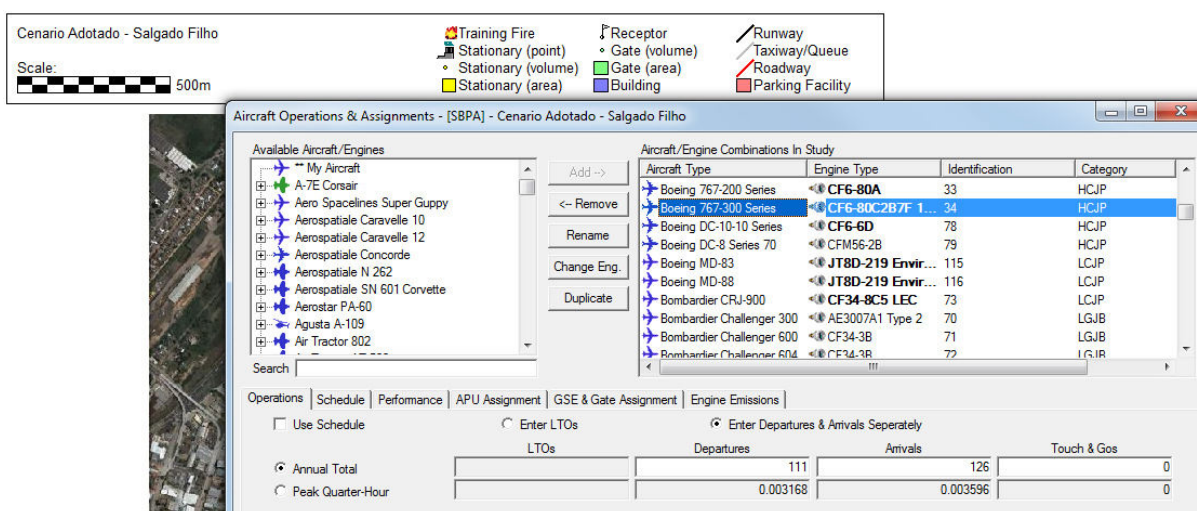


Figura 23 - Tela de entrada de dados do EDMS, lista de aeronaves e suas respectivas características.

O Anexo 1 apresenta o anexo dos movimentos fornecidos para o ano de 2010.

A definição dos equipamentos de rampa, utilizados nas operações auxiliares de suporte às aeronaves, *APU (Auxiliar Power Units)* e *GSE (Ground Support Equipment)*, levou em consideração os equipamentos apresentados como *default* de cada aeronave, encontrada na listagem do banco de dados do *EDMS*, com a utilização somente dos equipamentos de abastecimento de aeronaves, rebocadores e tratores de bagagem, associados à operação das respectivas aeronaves que

apresentavam tais equipamentos como uso padrão. Na Figura 24, é apresentada a configuração padrão de equipamentos de apoio para a aeronave Boeing 737-300.

Aircraft Operations & Assignments - [SBPA] - Cenário Adotado - Salgado Filho

Available Aircraft/Engines

- My Aircraft
- A-7E Corsair
- Aero Spacelines Super Guppy
- Aerospatiale Caravelle 10
- Aerospatiale Caravelle 12
- Aerospatiale Concorde
- Aerospatiale N 262
- Aerospatiale SN 601 Corvette
- Aerostar PA-60
- Agusta A-109
- Air Tractor 802

Search

Aircraft/Engine Combinations In Study

Aircraft Type	Engine Type	Identification
Bell 206 JetRanger	250B17B	46
Boeing 727-200 Series	JT8D-7 series Smo...	26
Boeing 737-200 Series	JT8D-15A	27
Boeing 737-300 Series	CFM56-3-B1	28
Boeing 737-500 Series	CFM56-3C-1	29
Boeing 737-700 Series	CFM56-7B22	30
Boeing 737-800 with wingl...	CFM56-7B24	31
Boeing 757-200 Series	RB211-535E4	32
Boeing 767-200 Series	CF6-80A	33
Boeing 767-300 Series	CF6-80C2B7E-1	34

Operations | Schedule | Performance | APU Assignment | GSE & Gate Assignment | Engine Emissions

Use Default GSE Assignments

Gate Assignment | Patio TPS 1

Type	Fuel	Ref. Model	(mins/Dep.)	(mins/Arr.)	(hp)	LF (%)	Year Manufactured	Age (years)
<input checked="" type="checkbox"/> Air Conditioner	Electric		23.00	7.00	0.00	75.00	Default	Default
<input checked="" type="checkbox"/> Air Start	Diesel	ACE 180	7.00	0.00	425.00	90.00	Default	Default
<input checked="" type="checkbox"/> Aircraft Tractor	Diesel	Stewart & Stevenson TUG ...	8.00	0.00	88.00	80.00	Default	Default
<input checked="" type="checkbox"/> Baggage Tractor	Gasoline	Stewart & Stevenson TUG ...	38.00	37.00	107.00	55.00	Default	Default
<input checked="" type="checkbox"/> Belt Loader	Gasoline	Stewart & Stevenson TUG ...	24.00	24.00	107.00	50.00	Default	Default
<input checked="" type="checkbox"/> Cabin Service Tru...	Diesel	Hi-Way F650	10.00	10.00	210.00	53.00	Default	Default
<input checked="" type="checkbox"/> Catering Truck	Diesel	Hi-Way F650	8.00	7.00	210.00	53.00	Default	Default
<input checked="" type="checkbox"/> Hydrant Truck	Diesel	F250 / F350	12.00	0.00	235.00	70.00	Default	Default
<input checked="" type="checkbox"/> Lavatory Truck	Diesel	TLD 1410	0.00	15.00	56.00	25.00	Default	Default
<input checked="" type="checkbox"/> Service Truck	Diesel	F250 / F350	8.00	7.00	235.00	20.00	Default	Default
<input checked="" type="checkbox"/> Water Service	Electric	Gate Service	12.00	0.00	0.00	20.00	Default	Default
<input type="checkbox"/> Air Conditioner	Diesel	ACE 802	0.00	0.00	300.00	75.00	Default	Default

Figura 24 - Configuração padrão de equipamento de apoio de aeronaves.

4.2 Resultados

Os valores encontrados pela modelagem do inventário de emissões aeronáuticas do Aeroporto Internacional Salgado Filho, com auxílio do *software EDMS*, considerando as aeronaves em operação durante o ano de 2010, são apresentados na Figura 25. Para a quantificação dos poluentes, foi realizada a discriminação das aeronaves e dos veículos e equipamentos de rampa envolvidos nas atividades junto às aeronaves e na manutenção do aeroporto.

Category	CO2	CO	THC	NMHC	VOC	TOG	NO _x	SO _x	PM-10	PM-2.5
Aircraft	54,886.156	189.882	20.538	23.310	23.137	23.475	268.665	20.375	2.030	2.030
GSE	N/A	486.838	N/A	16.675	17.388	19.226	54.152	1.334	1.497	1.432
APUs	N/A	16.405	1.891	2.187	2.176	2.187	11.669	1.488	1.297	1.297
Parking Facilities	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Roadways	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Stationary Sources	N/A	N/A	N/A	0.541	0.525	0.593	N/A	N/A	N/A	N/A
Training Fires	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Grand Total	54,886.156	693.126	22.430	42.713	43.225	45.481	334.486	23.197	4.824	4.759

Figura 25 - Quantitativos do Inventário de Poluentes Atmosféricos para o SBPA em 2010.

Os resultados do inventário gerado pelo EDMS para as emissões de CO₂ são fornecidos apenas para aeronaves, assim como, os valores de Hidrocarbonetos Totais são apenas fornecidos para aeronaves e APUs (*Auxiliary Power Units*).

Os resultados acima são apresentados em toneladas. São listadas as quantidades de CO₂, CO, THC (Hidrocarbonetos Totais), NMHC (Hidrocarbonetos Não-Metano), VOC (Compostos Orgânicos Voláteis), TOG (Compostos Orgânicos Totais), NO_x (Óxidos de Nitrogênio), SO_x (Óxidos de Enxofre) e Particulados Totais - PM₁₀ e Particulados Inaláveis PM_{2,5}.

As emissões de THC's são apresentadas em equivalência de gás metano (CH₄). Esta quantificação não apresenta todos os possíveis hidrocarbonetos oxigenados.

Os Compostos Orgânicos Totais (TOG) compreendem os gases de compostos orgânicos emitidos para a atmosfera com compostos de baixa reatividade (metano, etano, cloro flúor carbono, acetona, percloroetileno, metil voláteis e hidrocarbonetos oxigenados).

Já os Compostos Orgânicos Voláteis são os compostos que participam das reações foto químicas na atmosfera.

O EDMS na versão 5.1.3, utilizada neste trabalho ainda calcula a emissão de 395 hidrocarbonetos específicos, sendo que 44 deles são considerados Poluentes

Atmosféricos de Risco (*Hazardous Air Pollutants – HAPs*), enquanto que os 341 restantes são compostos sem toxicidade.

4.3 Mitigações

As ações de mitigação deverão ser avaliadas de acordo com as diretrizes que se considerarem adequadas e passíveis de adoção.

Dentre elas, há tanto ações de ordem operacional quanto de ordem tecnológica.

Podem ser sugeridas dentro das ações operacionais:

- Orientar o taxiamento das aeronaves em rotas de menor consumo de combustível;
- Promover a discussão e redefinição das rotas de menor consumo de combustível;
- Promover a distribuição dos voos ao longo do dia, para evitar esperas em pista de taxi para decolagens e esperas no ar por pousos em horários de pico (gerenciamento de tráfego);
- Implementar restrições à operações de aeronaves de alto impacto poluidor;
- Considerar a cobrança de tarifas referentes à compensação ambiental, inserindo o transporte aéreo no mercado créditos de carbono, inserindo este modal no esforço mundial pela redução dos gases do efeito estufa, forçando a adoção de aeronaves menos poluentes;
- Realizar operações em velocidades mais eficientes;
- Maximizar a capacidade de carga das aeronaves em conjunto com o aproveitamento e compatibilidade da infraestrutura dos pátios e pistas para tal.

Ações de Infraestrutura e Manutenção:

- Adequar a capacidade e disponibilidade de pistas de pousos e decolagens e *taxiways*, para operações de aeronaves com carga máxima;

- Projetar novas infraestruturas em locais que reduzam o tempo de taxiamento e deslocamento das aeronaves;
- Realizar a manutenção periódica dos equipamentos auxiliares;
- Incentivar a atualização dos equipamentos das companhias aéreas;
- Adotar, quando possível, equipamentos com combustíveis mais eficientes ou com outras fontes de energia, como equipamentos elétricos ou que utilizem biocombustíveis;
- Adotar equipamentos de climatização mais eficientes e utilização de energias renováveis; e
- Incentivar o acesso aos aeroportos com infraestrutura de transporte público.

5. CONCLUSÕES

Os dados resultantes da geração do inventário de emissões de poluentes atmosféricos, gerados pelo estudo dos movimentos anuais das aeronaves no Aeroporto Internacional Salgado Filho/ SBPA, com o aplicativo *EDMS*, evidenciam a geração de quantidades de poluentes atmosféricos em ordem de grandeza e com valores similares a metodologia simplificada do Ministério de Ciências e Tecnologia (MCT), para avaliação da quantidade de dióxido de carbono (CO₂) gerada pelas aeronaves. Vide Quadro 9.

Metodologia Inventário	2005	2010	Unidade
MCT (Total)	201.581,00	343.140,82	teqCO ₂
MCT (Ciclo LTO)	31.241,74	53.181,18	
EDMS (Total)	-	354.142,823*	
EDMS (Ciclo LTO)	-	54.886,16	
Total GEE – RS (PACE, 2005)	58.727.006,00	-	

Quadro 9 - Resultados quantificação de referência MCT e Simulação EDMS. * Valor Equivalente à proporção verificada entre ciclos LTO e CCD.

Os valores encontrados para o ciclo LTO, em 2010, com a utilização do EDMS, foram apenas 3,2% maiores que os valores encontrados na metodologia simplificada do MCT. A contribuição total das operações aeroportuárias, no estado do Rio Grande do Sul, no ano de 2005, correspondiam a 0,34% com relação ao dióxido

de carbono (CO₂). A contribuição percentual em 2010 não pode ser equacionada por falta de dados de um inventário das contribuições totais do Estado, ou mesmo com relação ao município de Porto Alegre.

Embora haja o monitoramento da qualidade do ar no município de Porto Alegre e parte da Região Metropolitana da cidade, os dados adquiridos pelo monitoramento da qualidade do ar, são de difícil utilização para avaliação da contribuição relativa das operações aeroportuárias, devido aos poucos parâmetros de monitoramento e a falta da utilização de modelos de dispersão nas avaliações dos índices de qualidade do ar (IQAr).

A utilização do software EDMS, permite a quantificação dos principais poluentes atmosféricos das atividades aeroportuárias e de uma série de outros compostos e substâncias de difícil quantificação em metodologias mais simplificadas, por exemplo, dos VOC e TPH. Enquanto as metodologias simplificadas concentram-se basicamente nas contribuições de CO₂, NO_x, SO_x e outros poucos poluentes, o EDMS, possibilita o cálculo de 10 poluentes largamente conhecidos, 395 hidrocarbonetos específicos, sendo 44 deles considerados de risco a poluição do ar e com consequências a saúde da população e trabalhadores do setor.

A simulação operacional do aeroporto inclui mais do que as operações das aeronaves, no EDMS, todo o sistema aeroportuário pode ser simulado com a consideração das contribuições de poluentes provenientes da utilização de estacionamento, equipamentos de rampa, postos de abastecimento, áreas de treinamento com fogo, tráfego de veículos em vias externas e internas. Estes dados podem ser avaliados e utilizados como base para tomada de decisões quanto às medidas mitigadoras a serem adotadas, com intuito de reduzir as principais fontes de emissões, reduzir a exposição dos trabalhadores aos contaminantes atmosféricos e até mesmo melhorar a eficiência de energia utilizada nas operações.

Verifica-se que embora a base de dados existente sobre as operações realizadas tenha permitido realização deste inventário, uma vez que seja adotada a utilização do EDMS nos aeroportos, seria necessária a atualização e melhoria do banco de dados das movimentações operacionais, de forma que se tenham todos os parâmetros utilizados pelo EDMS, para o cálculo mais preciso do inventário. Um

exemplo seria o cadastro das aeronaves com identificação da sua motorização, identificação dos equipamentos auxiliares utilizados, bem como dados das condições meteorológicas que subsidiariam a utilização do software em conjunto com a modelagem das dispersões atmosféricas dentro do sistema EDMS.

O acompanhamento da movimentação diária dos estacionamentos, também constitui um importante banco de dados, devido à quantidade relevante de veículos que transitam pelo Aeroporto Internacional Salgado Filho.

Sugere-se, a partir deste estudo, a adoção das seguintes ações nos aeroportos:

- Implementar o EDMS, como o sistema para o inventário anual de emissões atmosféricas no aeroporto;
- A adoção das medidas operacionais e de infraestrutura aqui listadas para redução das contribuições atmosféricas relacionadas com a atividade da aviação;
- A realização de estudos aprofundados de avaliação da exposição dos trabalhadores aos gases da aviação permitindo o acompanhamento da saúde dos trabalhadores;
- O comprometimento com o tema, dentro do contexto da rede aeroportuária brasileira, para a continuidade de pesquisas e implementação de medidas e compensações, para a sustentabilidade das operações aeronáuticas, junto ao meio ambiente (inclusive ações junto ao mercado de créditos de carbono);

Por fim, este estudo foi limitado à geração do inventário dos poluentes atmosféricos do Aeroporto Internacional Salgado Filho, situado na cidade de Porto Alegre. A qualidade do ar na área de influência do aeroporto e o impacto que os poluentes acarretam na atmosfera, dependem de forma direta da composição e dos volumes dos gases aqui inventariados, e também, dos mecanismos naturais de dispersão, os quais foram listados neste estudo.

Embora a FEPAM desenvolva um trabalho importante de levantamento da qualidade do ar há alguns anos, verifica-se a dificuldade da aquisição de dados mais confiáveis e amplos, devido à falta de dados de contribuição de cada fonte emissora,

tanto nos meios externos aos aeroportos quanto aos dados provenientes de medições realizadas em campo junto aos equipamentos e aeronaves. A falta de dados publicados existentes na cidade, reforça a consideração aqui apresentada, sendo mais um fator limitante de maiores certezas sobre as reais contribuições relativas referente as fontes aeroportuárias dentro do contexto destas emissões na Região Metropolitana de Porto Alegre.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Diário Oficial [da] União. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

COELHO, PATRICIA INGRID DE SOUZA, 2006. **A Importância da Localização de um Aeroporto na Qualidade do Ar – O Caso da Expansão do Aeroporto Santos Dumont na Cidade do Rio de Janeiro**. Tese pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro. 152 p.

CARVALHO, NEISE RIBEIRO VIEIRA, 2005. **Indicadores ambientais para o transporte com foco na qualidade do ar**. Dissertação pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro. 234 p.

COELHO, PATRICIA INGRID DE SOUZA, 2006. **A Importância da Localização de um Aeroporto na Qualidade do Ar – O Caso da Expansão do Aeroporto Santos Dumont na Cidade do Rio de Janeiro**. Tese pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro. 152 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE –CONAMA. **Resolução nº 003**, de 28 de junho de 1990.

DECHERF, O, et al. **Inventário das Emissões de Gases do Efeito Estufa do Rio Grande do Sul – 2005**. Programa Ar Clima Energia -PACE.Estado do Rio Grande do Sul, FEPAM, Enviroconsult, Voltalia, Engebio, 58p., 2010.

FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler) **Qualidade Ambiental**, disponível em www.fepam.rs.gov.br. Acessado em julho de 2011.

IPCC WORKING GROUPS I & III, 1999. IPCC **Special Report - Aviation and the Global Atmosphere, Summary for Policymakers**. Publicado para o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas WMO & UNEP. 23p.

JARDINE, C. **Environmental Impact of Aviation Emissions**, Environmental Change Institute, Oxford University Centre for the Environment, 14p., 2005.

Odilon A. Camargo et al. **Atlas eólico: Rio Grande do Sul** / elaborado por e editado pela Secretaria de Energia Minas e Comunicações. Porto Alegre: SEMC, 2002.

RYPDAL, K. et al. **Study on air quality impacts of non-LTO emissions from aviation**. CICERO, Centre for International Climate and Environmental Research and Norwegian Meteorological Institute. Oslo, 2004. Disponível em: http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/air_quality_impacts_finalreport.pdf

MOREIRA, D. M. et al. Meteorologia e poluição atmosférica. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. XI, n. 2, p. 1-13, 2008.

MOREIRA, D. M.; TIRABASSI, T. Modelo matemático de dispersão de poluentes na atmosfera: um instrumento técnico para a gestão ambiental. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. 7, n. 2, p. 159-171, 2004a.

UNCED - Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, 1992. **Agenda 21**. Disponível em português. Ministério do Meio Ambiente – MMA. Disponível em: www.mma.gov.br, 398 p.

U.S ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1990. **Clean Air Act**.. Disponível em www.epa.gov/air/caa/.

European Environmental Agency (EEA), Atmospheric Emission Inventory Guidebook, 3rd Edition – CORINAIR, The Core Inventory of Air Emissions in Europe, 2003. Disponível em: <http://www.eea.europa.eu/publications/EMEPCORINAIR3/>

**Anexo 1 - Movimentos Operacionais do Aeroporto Internacional Salgado Filho -SBPA
2010**

Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária - INFRAERO
Aeroporto Internacional Salgado Filho - SBPA

Período: 01/01/10a31/12/10

EQUIPAMENTO	POUSO 11	POUSO 29	DECOLAG 11	DECOLAG 29	TOTAL
A109 - Agusta - 109	2	3	2	3	10
A319 - Airbus - A319	1319	498	1298	516	3.631
A320 - Airbus - A320	5779	2079	5738	2092	15.688
A321 - Airbus - A321	535	170	555	152	1.412
A332 - Airbus - A330-200	59	26	56	29	170
A342 - Airbus - A340-200	2	0	2	0	4
A343 - Airbus - A340-300	0	1	0	1	2
AB11 - Aeroboeiro - AB115	4	3	4	3	14
AC50 - Aero Commander 500	274	68	268	73	683
AC6T - Rockwell 681/690	1	0	1	0	2
AC90 - Aero Commander 900	0	1	0	1	2
AJ25 - I Aircraft Astra SPX	7	3	8	2	20
AMT1 - Aeromot - Ximango	2	0	1	1	4
AMT2 - Aeromot - Ximango	1	3	1	2	7
AMT6 - Aeromot - Guri	3	3	5	3	14
AS32 - Aerospatiale S Puma	1	0	0	0	1
AS50 - Esquilo B2	295	136	300	130	861
AS65 - Aerospatiale Panther	1	0	1	0	2
AT43 - ATR 42-200/300	179	110	176	110	575
AT45 - ATR45	53	34	51	37	175
AT72 - ATR 72-200	482	152	462	132	1.228
B350 - Beech - 350 King Air	62	22	62	22	168
B407 - B407	7	4	9	2	22
B427 - HELICOPTERO	1	1	2	0	4
B430 - Bell	1	0	1	0	2
B722 - Boeing 727-200	236	47	244	35	562
B732 - Boeing 737-200	15	4	15	3	37
B733 - Boeing 737-300	3098	908	3056	938	8.000
B735 - Boeing 737-500	81	29	86	23	219
B737 - Boeing 737-700	3181	1056	3149	1055	8.441
B738 - Boeing 737-800	6465	2076	6401	2099	17.041
B752 - Boeing 757-200	0	1	0	1	2
B762 - Boeing 767-200	0	2	2	1	5
B763 - Boeing 767-300	101	25	89	22	237
BA32 - BA32	2	0	2	0	4
BE10 - Beechcraft	1	0	1	0	2
BE19J - Beech - 1900	1	0	1	0	2
BE20 - Beech - 200 King Air	188	58	175	69	490
BE30 - Beech - 300 King Air	4	1	5	0	10
BE33 - Beech	1	1	0	2	4
BE35 - Beech 35	24	8	22	10	64
BE36 - Beech - A-36	19	7	20	4	50
BE40 - Beech - Jet 400	80	29	81	27	217
BE55 - Beech - Baron 55	2	1	3	0	6
BE58 - Beech - Baron 58	59	37	68	29	193
BE90 - Beech - 90 King Air	32	14	27	20	93
BE9L - C90A	182	68	176	73	499
BE9T - Beech 90	17	8	18	7	50
BH06 - Bell - 206	15	2	14	3	34
BH12 - Bell - 212	3	0	2	0	5
BH43 - Bell - 430	2	0	2	0	4
C150 - Cessna - 150	3	0	2	0	5
C152 - Cessna - 152	149	62	148	63	422
C172 - Cessna - Skyhawk II	30	15	31	14	90
C180 - Cessna - 180	1	0	1	0	2
C182 - Cessna - Skylane	22	10	21	10	63
C206 - Cessna - 206	23	10	22	11	66
C208 - Cessna - Caravan	446	104	457	94	1.101
C210 - Cessna - Centurion	3	5	4	4	16

C25A - Cessna 525	19	7	21	5	52
C25B - Citation- C 525B	11	7	12	6	36
C310 - Cessna - 310	16	7	21	2	46
C402 - Cessna - 402	18	1	19	1	39
C500 - Cessna - Citation I	9	7	15	1	32
C510 - C510	13	9	17	5	44
C512 - C512	1	0	1	0	2
C525 - Cessna -Citation Jet	54	31	65	20	170
C550 - Cessna - Citation II	103	56	112	47	318
C551 - C551	14	3	12	5	34
C560 - Cessna - Citation V	69	19	64	23	175
C56X - Cessna - Excel	70	14	67	15	166
C650 - Cessna -Citation III	22	7	21	6	56
C680 - Cessna - C Sovearing	51	21	50	22	144
C750 - Cessna - Citation X	16	8	18	6	48
C98 - Mil - Cessna C208	2	1	2	0	5
C99 - Mil - Embraer E145	0	2	0	0	2
CH34 - Mil - AS332 - S Puma	1	0	0	0	1
CL30 - Challenger 30	18	9	15	12	54
CL60 - Canadair -Challenger	5	3	7	1	16
CL64 - challenger 64	1	0	1	0	2
CRJ9 - Bombardier	200	117	86	57	460
DA10 - Dassault - Falcon 10	1	0	1	0	2
DA20 - Dassault - Falcon 20	1	0	0	1	2
DA22 - Dassault-Falcon 2000	21	8	22	8	59
DA90 - Dassault-Falcon 900	1	1	2	0	4
DC10 - McDonald Douglas	6	4	8	0	18
DC87 - McDonald Douglas	1	2	2	1	6
DHC6 - De Havilland - Dash	1	0	0	0	1
E110 - Embraer - Bandeirant	9	3	9	3	24
E120 - Embraer - Brasília	1	0	1	0	2
E121 - Embraer - Xingu	7	0	5	2	14
E135 - Embraer - Legacy	20	9	20	8	57
E145 - Embraer - 145	76	20	79	16	191
E170 - Embraer - 170	147	19	144	21	331
E175 - Embraer - 175	1	0	1	0	2
E190 - Embraer - 190	2480	847	2474	840	6.641
E50P - Embraer50P Phenom100	48	33	57	23	161
E55P - Embraer55P Phenom300	5	2	5	2	14
E711 - Embraer - Corisco	4	1	3	2	10
E712 - Embraer - Tupi	17	11	18	10	56
E721 - Embraer - Sertanejo	0	1	0	1	2
E821 - Embraer - Carajá	4	3	4	3	14
EC20 - Eurocopter - Colibri	73	21	73	21	188
EC30 - Eurocopter - EC130	11	7	13	5	36
EC35 - Eurocopter	3	0	3	0	6
F100 - Fokker - 100	998	419	1005	401	2.823
F2TH - Falcon 2000	25	4	24	5	58
F50 - Fokker - 50	1	0	1	0	2
F900 - Falcon 900	5	1	5	1	12
FA7X - Dassault - Falcom 7X	2	1	1	1	5
G200 - Gulfstream G	2	2	2	2	8
G550 - GLOBAL	1	1	1	1	4
GALX - Gulfstream 200	2	0	0	2	4
GLAS - Experimental	2	1	3	0	6
GLEX - Global Express	2	3	3	2	10
GLF2 - Gulfstream II	1	0	1	0	2
GLF4 - Gulfstream IV	6	5	6	5	22
GLF5 - Gulfstream V	7	4	7	4	22
GURI - AMT600	7	0	6	1	14
H25B - Hawker 800XP	9	1	9	1	20
H269 - 269C	68	23	67	25	183
H500 - HU50	50	19	50	19	138
HA4T - Hawker 4000	1	0	1	0	2
HS25 - Hawker 125-700/800	40	17	43	14	114
HU30 - Hughes 269/300	9	3	7	4	23

L410 - Let 410	1301	521	1328	491	3.641
LJ31 - Learjet 31	16	6	15	8	45
LJ35 - Learjet 35	14	5	13	5	37
LJ40 - Learjet40	28	7	29	6	70
LJ45 - Larjet 45	23	3	21	4	51
LJ60 - Learjet 60	23	8	21	9	61
LR25 - Learjet - 25	2	2	3	1	8
LR31 - Learjet - 31A	16	6	16	6	44
LR35 - Learjet - 35A	25	8	24	11	68
LR40 - learjet - 40	9	2	8	3	22
LR45 - Learjet - 45	7	2	6	3	18
LR55 - Learjet - 55C	4	1	4	1	10
LR60 - Learjet - 60	3	3	4	2	12
M20J - Mooney	3	1	3	1	8
M20P - M20P	8	2	8	2	20
MD83 - MacDonald Douglas	0	1	0	1	2
MD88 - McDonald Douglas	0	1	0	1	2
MU2 - Mitsubishi - 200	5	2	5	2	14
P28A - Embraer - 712	772	266	784	253	2.075
P28B - EMB-710C	300	112	299	110	821
P28R - EMB-711C	294	77	272	98	741
P28T - Embraer - Corisco	54	25	49	29	157
P32R - EMB-721D	20	13	18	14	65
P68C - P68C	16	3	17	2	38
PA27 - Embraer - Sêneca	42	20	42	20	124
PA28 - Piper - Series	31	7	27	12	77
PA30 - Piper	42	8	40	10	100
PA31 - Piper - Cheyenne	180	84	172	91	527
PA32 - EMB.720C	12	5	11	6	34
PA34 - Piper - Seneca III	1192	395	1162	419	3.168
PA46 - Piper - MalibuMirage	6	3	8	1	18
PAT4 - EMB-820C CARAJA	163	96	178	80	517
PAY1 - PAY1	2	0	2	0	4
PAY2 - PAY2	19	8	19	8	54
PAY3 - PAY3	3	1	2	2	8
PAY4 - PAY4	7	2	7	2	18
PC12 - Pilatos	16	7	17	6	46
PRM1 - Raytheon - Premier I	34	13	36	11	94
R22 - R22BETA	117	41	119	39	316
R44 - R 44	174	49	183	39	445
RF10 - AMT200	19	15	24	11	69
RH22 - Robinson R22	3	1	3	0	7
RH44 - Robinson R44	8	0	7	0	15
RV10 - Vans Aircraft	2	0	0	2	4
RV9A - Vans Aircraft	4	1	3	2	10
SR20 - SR-20	6	2	6	2	16
SR22 - SR 22	92	50	96	44	282
SW4 - Fairchild Merlin IV	2	1	2	1	6
T6 - Harvard mk 4	0	2	0	2	4
TBM 7 - TBM 7	15	6	16	5	42
UH12 - Mil - H350 - Esquilo	0	0	0	1	1
UH50 - Helibrás - Esquilo	36	17	37	16	106
WW25 - I.Aircraft Astra1125	2	1	3	0	6
TOTAL	33.617	11.642	33.329	11.512	90.100