

Adilson Cleômenes Rocha

*ICEA – São José dos Campos
cleomenes@gmail.com

Maria Paulete Pereira Martins

INPE – São José dos Campos
maria.paulete@cptec.inpe.br

Cícero Barbosa dos Santos

UTP – Curitiba
carcarazao@gmail.com

Artigo Publicado nos Anais do XVII
CBMET – Gramado – RS

* Autor para contato

ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DE ÓXIDOS DE NITROGÊNIO PROVENIENTE DA AVIAÇÃO CIVIL REGULAR NOS PRINCIPAIS AEROPORTOS BRASILEIROS, EM UM DIA ESPECÍFICO.

RESUMO: Este trabalho tem por finalidade estimar a quantidade de NO_x emitida pela aviação civil de transporte regular nacional, no dia 31 de agosto 2010. Este dia é considerado representativo da média de voos de uma semana do mês em questão. Os resultados visam a produção de informações sobre emissões por aeronaves bem como para possíveis tomadas de decisões sobre emissões atmosféricas nas proximidades dos 32 principais aeroportos do Brasil. Com base nos dados de voos repetitivos do Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea, foi feito o cálculo do consumo de combustível, para o ciclo LTO, para todos os voos previstos no dia de referência. Este cálculo levou em conta a operação de 19 tipos aeronaves. Para a determinação do consumo foram utilizadas informações presentes no ICAO *Engine Exhaust Emissions Data Bank – Subsonic Engines*. A partir do valor final encontrado e dos índices de emissões das respectivas aeronaves, obtidos de referências acadêmicas, foi possível estimar a quantidade final da emissão de NO_x .

ABSTRACT: This study seeks to estimate the amount of NO_x emitted by regular national civil aviation, on August 31, 2010. This day is considered representative of the average flight a week of the month in question. The results aim to produce information on emissions from aircraft, as well as possible making decisions about air emissions near the top 32 airports in Brazil. Based on flight data repetitive Management Center of Air Navigation, the fuel consumption for the LTO cycle was calculated, for all scheduled flights on the reference. This calculation took into account the operation of 19 aircraft types. For the determination of consumption we used information present in the ICAO Engine Exhaust Emissions Data Bank - Subsonic Engines. From the final amount of fuel consumption and emission index of the respective aircraft, obtained from academic references, if the calculated final amount of emission of NO_x .

1 - INTRODUÇÃO

Mesmo diante das crises econômicas, as projeções para o futuro do tráfego aéreo é continuar crescendo. Dessa forma, a preocupação com a qualidade do ar, nas proximidades de grandes aeroportos, tem sido constante pelas instituições que acompanham o desenvolvimento das emissões atmosféricas, e que têm por objetivo a adoção de ações que mitiguem os possíveis efeitos provocados na saúde. Próximo à superfície, os motores das aeronaves gastam a maioria do tempo no modo espera (idle) ou próximo dele. A operação nesta condição, na qual o motor é menos eficiente, permite a emissão de certos poluentes em maior concentração. Neste caso, considerando o combustível de aviação a jato como a querosene (n-decano – $\text{C}_{10}\text{H}_{22}$), três principais poluentes são considerados pela *International Civil Aviation Organization* (ICAO,

2008): monóxido de carbono (CO); óxidos de nitrogênio (NO_x); e hidrocarbonetos não-queimados (HNQ). A Figura 1 esquematiza o comportamento genérico da formação desses compostos químicos em função do empuxo empregado pelas turbinas das aeronaves.

Nela pode ser visto que as concentrações desses poluentes dependem da temperatura da chama, que é função do nível utilizado no empuxo. No caso do NO_x (NO + NO₂), objeto deste artigo, ele pode ser formado de duas maneiras de acordo com sua fonte: termal ou orgânico (PAVRI e MOORE, 2001). O NO_x formado da oxidação do nitrogênio presente na atmosfera, durante a queima do combustível e do ar é chamado de “termal”. Ele é função principalmente da condição estequiométrica entre essas substâncias e da temperatura da chama. O NO_x orgânico resulta da oxidação do nitrogênio existente no combustível, como composto ligado aos carbonos da cadeia orgânica, que é muito pequeno nos combustíveis das aeronaves a jato. Somente uma pequena parcela de nitrogênio presente na atmosfera é convertida em NO_x, mas a oxidação do nitrogênio orgânico, formando NO_x, é praticamente completa (SWERIDUK et al., 2011).

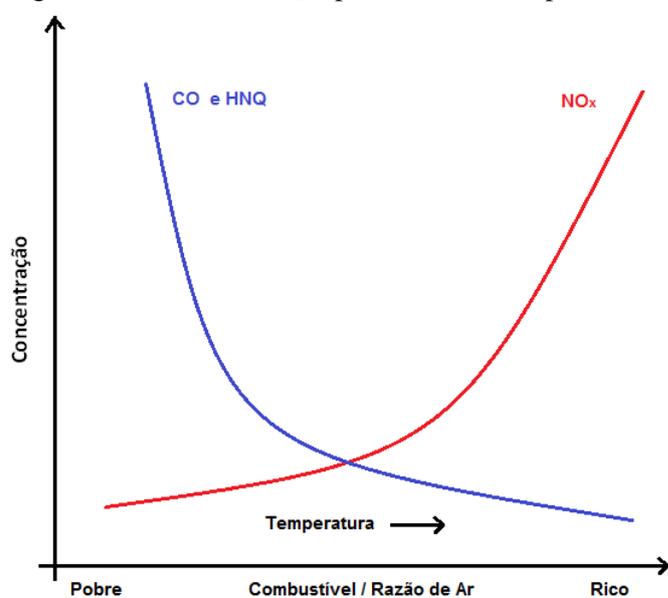


Figura 1 – Esquema da emissão de poluente como função do empuxo/temperatura das turbinas.³

Juntamente com o SO₂, o NO_x é responsável pelos efeitos das chuvas ácidas, além de participar como componente do smog fotoquímico. Óxidos de nitrogênio são importantes na formação de ozônio, em determinadas condições atmosféricas, e podem afetar os ecossistemas aquáticos e terrestres. O dióxido de nitrogênio pode irritar os pulmões e baixar a resistência do sistema respiratório, provocando infecções (SWERIDUK et al., 2011).

2 - MATERIAL E MÉTODOS

Os dados sobre os voos nacionais e internacionais realizados no dia de interesse e nos aeroportos descritos na Tabela 1, por empresas aéreas brasileiras, foram retirados de uma planilha de voos repetitivos do CGNA (2010). Essas informações são necessárias para a determinação do consumo de combustível, nas seguintes fases do ciclo LTO: descida/aproximação do topo médio da camada de mistura (aprox. 3.000 pés) até o solo (Approach); toque no solo, rolamento no pouso, taxi após o pouso, condição neutra, e desligamento dos motores (taxi/idle in); partida e condição neutra, verificação para a saída, e taxi para a decolagem (Taxi/idle out); decolagem (Takeoff); e subida até o topo médio (aprox.

3.000 pés) da camada de mistura (Climb out). O consumo de combustível foi determinado utilizando como referência o *ICAO Engine Exhaust Emissions Data Bank – Subsonic Engines* (ICAO, 2010). Com este dado mais os índices de emissão das aeronaves, mostrados na Tabela 2, foi estimada a quantidade de emissão de NO_x nos 32 principais aeroportos nacionais (ROCHA, 2012).

Tabela 1 – Aeroportos escolhidos para o cálculo das emissões.

Indicador	Aeroporto	Indicador	Aeroporto	Indicador	Aeroporto
SBAR	Aracaju - SE	SBFL	Florianópolis - SC	SBPJ	Palmas - TO
SBBE	Belém - PA	SBFZ	Fortaleza - CE	SBPV	Porto Velho - RO
SBBH	Belo Horizonte - MG	SBGL	Galeão/Rio - RJ	SBRB	Rio Branco - AC
SBBR	Brasília - DF	SBGO	Goiânia - GO	SBRF	Recife - PE
SBBV	Boa Vista - RR	SBGR	Guarulhos - SP	SBRJ	Rio de Janeiro/Santos Dumont - RJ
SBCF	Confins - MG	SBJP	João Pessoa - PB	SBSL	São Luis - MA
SBCG	Campo Grande - MS	SBKP	Campinas - SP	S BSP	São Paulo - SP
SBCT	Curitiba - PR	SBMQ	Macapá - AP	SBSV	Salvador - BA
SBCY	Cuiabá - MT	SBMO	Maceió - AL	SBTE	Teresina - PI
SBEG	Eduardo Gomes/Manaus - AM	SBNT	Natal - RN	SBVT	Vitória - ES
SBFI	Foz do Iguaçu - PR	SBPA	Porto Alegre - RS		

Tabela 2 - Índices de emissões médios por tipo de motor, para o Ciclo LTO, em g/Kg de combustível consumido.

Aeronave		Motor	NO _x	Aeronave		Motor	NO _x
Alenia ATR 42-300	AT43	PWC PW120	7,55	Embraer 145	E145	AE-3007A1	8,68
Alenia ATR 72-500	AT72	PWC PW124B	9,10	Embraer 175	E175	ALF502_R5_1	7,14
Airbus 319	A319	CFM56-5A5	12,00	Embraer 190	E190	CFM56_3B1	9,22
Airbus 320	A320	CFM56-5A1	11,70	Boeing 727-200	B722	P&W JT8D-15 1PW9	8,20
Airbus 321	A321	CFM56-5B3_P	17,41	Boeing 737-300	B733	CFM56-3B1	9,22
Airbus 330-200	A332	RR Trent 772	15,95	Boeing 737-700	B737	CFM56-7B22	11,70
Airbus 340-500	A345	RR Trent 556-61	19,12	Boeing 737-800	B738	CFM56-7B26	14,00
Turbolet 410	L410	PT6A-42	4,29	Boeing 767-300	B763	P&W PW4060	2,75
Fokker 100	F100	RR Tay Mk 650-15	7,57	Boeing 777-300	B773	RR Trent 892	20,63
Embraer 120	E120	PWC PW 120	7,55				

Fonte: Adaptado de IPCC (2006).

No desenvolvimento do cálculo do combustível foram feitas as seguintes simplificações sobre as condições nas quais as aeronaves operaram durante o ciclo LTO, e que produzem incertezas no resultado final; a) os procedimentos de pouso e decolagem seguem os tempos gastos em cada fase de voo durante o ciclo LTO, definidos pela AFCEE (2009), b) os desempenhos das aeronaves e seus respectivos motores são considerados como se esses fossem equipamentos novos; c) durante o cálculo não foram considerados os atrasos nos voos decorrentes de procedimentos operacionais, possíveis mudanças nos tipos de aeronaves, em função de opções das empresas aéreas, ou cancelamentos dos voos previstos; d) o cálculo de combustível durante o ciclo LTO foi feito considerando o padrão estabelecido pela ICAO, independentemente da configuração dos aeroportos e da variação diária/sazonal da altura da Camada Limite Planetária; e) os motores reais utilizados nas aeronaves não foram efetivamente identificados e sim pré-definidos, por simples escolha, dentre daqueles que normalmente existem nesses equipamentos

ou ainda por similaridade; f) a carga nominal embarcada considerada para os voos foi de 70% daquela máxima prevista em cada tipo de aeronave (SUTKUS et al., 2001).

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos podem ser vistos na Tabela 3, a seguir.

Tabela 3 – Estimativa das emissões de NO_x, para o ciclo LTO, em 32 (trinta e dois) dos principais aeroportos nacionais (em g/dia).

Principais Aeroportos Nacionais	SBSP	2.438.576	SBPA	899.688	SBSV	1.129.806	SBSL	226.552
	SBGR	2.883.078	SBFL	403.113	SBRF	740.974	SBBE	381.903
	SBKP	710.235	SBCT	1.055.138	SBFZ	614.022	SBEG	347.553
	SBGL	1.596.534	SBFI	140.607	SBMO	200.343	SBPV	120.689
	SBRJ	1.391.243	SBBR	1.965.194	SBAR	125.085	SBBV	21.592
	SBCF	1.177.566	SBCG	271.192	SBJP	95.510	SBPJ	39.338
	SBBH	53.501	SBCY	351.195	SBNT	277.312	SBRB	41.510
	SBVT	376.668	SBGO	291.408	SBTE	127.912	SBMQ	70.659

Na Tabela acima é possível identificar os cinco principais aeroportos em quantidades de emissões. São eles: de Guarulhos – SP (SBGR), Congonhas – SP (SBSP), Brasília (SBBR); Galeão – RJ (SBGL), e Santos Dumont – RJ (SBRJ). Quando se considera a quantidade de emissão produzida pela aviação regular nacional nos dois principais aeroportos existentes nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro (quatro no total), verifica-se que a soma das emissões representam um valor aproximado de 40% das emissões totais. Já quando se avalia somente os dois principais aeroportos, ou seja, Guarulhos e Congonhas, tendo como base o número de voos, eles representam uma emissão de aproximadamente 26% do total. Isso representa uma emissão conjunta desses dois aeroportos de mais de 5,3 ton/dia de NO_x. Considerando a possibilidade de este valor ser a média diária anual, estima-se um total de emissão de óxidos de nitrogênio de aproximadamente 2.000 ton/ano, para os dois principais aeroportos existentes em São Paulo. O aeroporto de Brasília (SBBR) destaca-se por ser o terceiro em emissões nacionais de NO_x com quase 2,0 ton/dia e, também, por ser o único, entre os cinco primeiros, fora da região sudeste. Cabe registrar que as simplificações levadas a termos neste estudo aplicado ao NO_x dificultam a validação ou a comparação com possíveis resultados obtidos por outros pesquisadores, mas não invalidam o objetivo do trabalho. Metodologia de trabalho semelhante aplicada por Rocha (2012) para o CO₂ sugere tal validação.

4 - CONCLUSÕES

Considerando as limitações e incertezas advindas deste tipo de pesquisa, este trabalho procurou estimar as emissões de NO_x advindas de aeronaves nas proximidades dos principais aeroportos nacionais, pois as emissões deste tipo de transporte vem se tornando significativamente importante, em função do crescimento gradativo e constante no volume de tráfego aéreo, no

Brasil. Nos resultados é possível identificar cinco aeroportos onde as emissões de NO_x ultrapassam a marca de 1 ton/dia desse composto, sendo que o aeroporto de Guarulhos atinge um valor superior a 3,3 ton/dia. Neste contexto, e diante desses valores, caberá aos órgãos responsáveis pelas ações de regulamentação e de controle adotarem medidas de acompanhamento sobre possíveis impactos ambientais e de saúde relativos às emissões de NO_x pelas aeronaves, associadas às emissões de outras fontes antrópicas próximas a esses aeroportos.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIR FORCE CENTER FOR ENGINEERING AND THE ENVIRONMENT (AFCEE). **Air emissions factor guide to air force mobile sources**. Methods for estimating emissions of air pollutants for mobile sources at U.S. Air Force installations. Environmental Consulting Division. San Antonio: HQ AFCEE/TDNQ, 2009. Texas. USA. Disponível em: <<http://www.aqhelp.com/files/AF%20Mobile%20Guide%202010.pdf>>. Acesso em 18 dez. 2011.

CENTRO DE GERENCIAMENTO DA NAVEGAÇÃO AÉREA (CGNA). Planos de voo repetitivo. Disponível em: <http://www.cgna.gov.br/?page_id=148>. Acesso em 02 set. 2010.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). **Environmental protection – aircraft engine emissions**. vol 2. 3. ed. Quebec: ICAO, 2008. Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation.

_____. **ICAO engine emissions databank - aircraft engine emissions**. Quebec: ICAO, 2010. Disponível em <<http://www.caa.co.uk/default.aspx?catid=702>>. Acesso: 25 jan. 2012.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. vol 2: energy. Geneva: IPCC, 2006. Task Force on National Greenhouse Gas Inventories. Disponível em <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol1.html>>. Acesso em 17 jan. 2012.

PAVRI, R e MOORE, G, D., **Gás Turbine Emissions and Control**. GE Power System, GER-4211, Atlanta, GA, March, 2001.

ROCHA, A. C. **Estimativa Simulada das Emissões Atmosféricas Diárias da Aviação Civil Regular no Brasil em um Dia Específico**. São José dos Campos: INPE, 2012. Dissertação de Mestrado.

SUTKUS, D. J. et al. **Scheduled civil aircraft emission inventories for 1999**: database development and analysis. Washington, D.C.: NASA. 2001. Tech. Rep. NASA/CR-2001-211216. Disponível em: <<http://ntrs.nasa.gov/>>.

SWERIDUK, G. D. et al. Models for Aircraft Surface Operations Environmental Analysis. In: AIAA AVIATION TECHNOLOGY, INTEGRATION, AND OPERATIONS (ATIO) CONFERENCE, 11., 2011, Virginia Beach. **Proceedings...** [S.l]: AIAA, 2011. VA. USA. Disponível em: < <http://human-factors.arc.nasa.gov/publications/ATIO-2011-OSI.pdf>>. Acesso em 05 fev. 2012.