

Guia sobre
**SUSTENTABILIDADE
AEROPORTUÁRIA**
QUALIDADE DO AR LOCAL



GUIA SOBRE SUSTENTABILIDADE AEROPORTUÁRIA – QUALIDADE DO AR LOCAL

Assessoria Internacional e de Meio Ambiente – ASINT

Novembro / 2023

CHEFE DA ASSESSORIA INTERNACIONAL E DE MEIO AMBIENTE – ASINT/ANAC

Marcela Braga Anselmi

COORDENADOR DE MEIO AMBIENTE

Daniel Marcellos Calçado

EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL

Darlan Silva dos Santos

Henrique Costa Tavares

Tiago Cunico Camara

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

Assessoria de Comunicação Social (ASCOM)

DÚVIDAS, SUGESTÕES E CRÍTICAS PODEM SER ENVIADAS PARA O E-MAIL

meioambiente@anac.gov.br

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	4
POLUENTES QUE AFETAM A QUALIDADE DO AR LOCAL	5
MONÓXIDO DE CARBONO – CO	5
MATERIAL PARTICULADO – MP	5
ÓXIDOS DE NITROGÊNIO – NO _x	5
COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS – COVS	6
OZÔNIO – O ₃	6
DIÓXIDO DE ENXOFRE – SO ₂	6
CHUMBO	7
OUTROS POLUENTES DE INTERESSE	7
PADRÕES DE QUALIDADE DO AR	7
FONTES DE EMISSÃO RELACIONADAS À ATIVIDADE AEROPORTUÁRIA	10
AERONAVES	10
EQUIPAMENTOS DE APOIO NO SOLO	10
INFRAESTRUTURA E FONTES ESTACIONÁRIAS	11
VEÍCULOS DE ACESSO TERRESTRE	11
AVALIAÇÃO DAS EMISSÕES DE POLUENTES QUE AFETAM A QUALIDADE DO AR LOCAL	12
INVENTÁRIO DE EMISSÕES	12
MODELAGEM DE DISPERSÃO DE POLUENTES	14
MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR LOCAL	16
MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES	19
REDUÇÃO DAS EMISSÕES NA FONTE	19
OTIMIZAÇÃO DA INFRAESTRUTURA	21
OTIMIZAÇÃO DA OPERAÇÃO	22
CONSIDERAÇÕES FINAIS	23

APRESENTAÇÃO

A Resolução CONAMA nº 491/2018¹ define poluente atmosférico como qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade ou às atividades normais da comunidade. Assim, quando utilizado neste documento, o termo poluente faz referência a espécies que podem potencialmente degradar a saúde humana e o meio ambiente nas proximidades dos aeródromos. Nomeadamente, tratam-se de emissões gasosas ou de particulados oriundas de atividades relacionadas ao setor aéreo e classificadas como *Criteria Air Pollutants*² ou *Hazardous Air Pollutants*³ pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – EPA⁴.

Ressalta-se que Gases de Efeito Estufa – GHG⁵ possuem efeitos primordialmente globais e, portanto, estão fora do escopo deste documento, o qual irá abordar as oportunidades para atuação dos aeroportos brasileiros na redução dos impactos da aviação civil sobre a qualidade do ar local.

1 https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895/do1-2018-11-21-resolucao-n-491-de-19-de-novembro-de-2018-51058603

2 <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants>

3 <https://www.epa.gov/haps>

4 *United States Environmental Protection Agency* – US EPA

5 <https://www.epa.gov/ghgemissions>

POLUENTES QUE AFETAM A QUALIDADE DO AR LOCAL

Poluentes atmosféricos podem ser classificados como primários ou secundários. Poluentes primários são emitidos diretamente pelas fontes de emissão. Já os secundários são formados por meio da reação química entre seus precursores e outros elementos presentes na atmosfera.

Há uma variedade de poluentes atmosféricos associados à aviação que podem afetar a qualidade do ar no entorno aeroportuário. Contudo, alguns são de maior interesse devido a sua ocorrência e potenciais impactos. Esses poluentes são apresentados de maneira mais detalhada a seguir.

MONÓXIDO DE CARBONO – CO

É um gás incolor e inodoro resultante da queima incompleta de hidrocarbonetos. Motores à combustão são responsáveis por emissões significativas de CO.

No corpo humano, o monóxido de carbono inalado interage com a hemoglobina reduzindo a capacidade do sangue em transportar oxigênio. Em ambientes externos, níveis elevados de CO são particularmente prejudiciais a idosos e pessoas com dificuldades respiratórias. Já em ambientes fechados, os efeitos da alta concentração de monóxido de carbono incluem tontura, perda de consciência e morte.

MATERIAL PARTICULADO – MP

É composto por partículas líquidas e sólidas em suspensão no ar. O material particulado pode se originar de fontes naturais ou antropogênicas, tais como incêndios, solo exposto, incineração de resíduos, exaustão de motores a combustão e canteiros de obra. Geralmente são classificados de acordo com seu tamanho em Partículas Inaláveis – MP₁₀ (diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 10 µm) ou Partículas Inaláveis Finas – MP_{2,5} (diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 2,5 µm).

Há uma relação próxima entre altas concentrações de MP₁₀ e MP_{2,5} e aumento da mortalidade e morbidade⁶. Quanto menores as partículas, maior a penetração nos pulmões e, conseqüentemente, maiores são os efeitos adversos provocados⁷. Diversos estudos⁸ relacionam a exposição ao material particulado a problemas de saúde como agravamento de asma, dificuldade respiratória, ataques cardíacos não fatais e morte prematura em indivíduos com doenças de coração ou pulmão.

ÓXIDOS DE NITROGÊNIO – NO_x

Óxidos de nitrogênio incluem, entre outros, o óxido nítrico – NO e o dióxido de nitrogênio – NO₂. O óxido nítrico emitido durante processos de combustão rapidamente se oxida na atmosfera gerando

6 [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

7 <https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluente/>

8 <https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm>

dióxido de nitrogênio. Respirar ar com altas concentrações de NO_2 pode levar ao agravamento de doenças respiratórias e irritação das vias aéreas. O dióxido de nitrogênio e outros óxidos de nitrogênio reagem com compostos na atmosfera contribuindo para a geração secundária de material particulado e ozônio. Óxidos de nitrogênio também interagem com água e outras substâncias na atmosfera formando chuva ácida.

COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS – COVs

São compostos químicos orgânicos que são gases ou vapores sob condições normais de temperatura e pressão⁹. Geralmente são emitidos pela queima incompleta ou evaporação de combustível, também resultando do uso e estocagem de uma variedade de itens, tais como tintas, solventes, pesticidas e produtos de limpeza.

Diversos desses compostos são conhecidos por causarem efeitos negativos na saúde humana, incluindo irritação dos olhos, nariz e garganta, náusea, dor de cabeça e danos ao fígado, rins e sistema nervoso central.

OZÔNIO – O_3

Embora ocorra naturalmente na estratosfera onde forma uma camada protetora contra raios ultravioletas, na faixa de ar próxima ao solo o ozônio ocorre como um poluente secundário resultante da reação entre COVs e NO_x na presença de luz solar.

A exposição ao ozônio pode agravar doenças pulmonares e está associada à mortalidade precoce¹⁰. Além disso, o ozônio impacta negativamente na vegetação e ecossistemas¹¹.

DIÓXIDO DE ENXOFRE – SO_2

As emissões de SO_2 decorrem da queima de combustíveis que contém enxofre. O dióxido de enxofre é usado como indicador de outros óxidos de enxofre gasosos, e medidas para redução do SO_2 geralmente levam à redução da exposição das pessoas a todos óxidos de enxofre gasosos¹².

O SO_2 causa irritação nos olhos e pode afetar o sistema respiratório causando tosse, falta de ar, chiado no peito, catarro e crises de asma. O dióxido de enxofre presente na atmosfera também reage com água formando o ácido sulfúrico, que é um dos principais componentes da chuva ácida.

9 <https://www.eea.europa.eu/help/glossary/eea-glossary/volatile-organic-compound-voc>

10 <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/ehp1390>

11 <https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution/ecosystem-effects-ozone-pollution>

12 <https://www.epa.gov/so2-pollution/sulfur-dioxide-basics#what%20is%20so2>

CHUMBO

O chumbo é um tóxico cumulativo que afeta múltiplos sistemas corporais e é particularmente danoso a crianças. No organismo humano ele é distribuído para o cérebro, fígado, rins e ossos. Não há nível conhecido de exposição ao chumbo que seja considerado sem efeitos danosos ao organismo¹³.

Fontes de chumbo incluem fundições, produção e reciclagem de baterias de chumbo-ácido, tintas à base de chumbo, brinquedos e jóias¹⁴. Na aviação, o chumbo tetraetila é usado como aditivo para aumentar a resistência à detonação¹⁵ da gasolina de aviação – AvGas. Contudo, esse combustível é usado apenas por aeronaves equipadas com motores a pistão, que são modelos de pequeno porte geralmente empregados em finalidades diversas como transporte de passageiros, instrução de pilotos, busca e salvamento, recreação, atividades aeroagrícolas e combate a incêndio.

Ao contrário da gasolina automotiva, na qual o chumbo tetraetila foi banido e substituído pelo etanol, até o momento não se encontrou uma alternativa adequada e operacionalmente segura para a gasolina de aviação com chumbo que possa atender às necessidades de toda a frota de aeronaves com motor a pistão¹⁶.

OUTROS POLUENTES DE INTERESSE

Algumas espécies de *Hazardous Air Pollutants* com potencial impacto à saúde humana e ao meio ambiente também podem ser emitidas de fontes encontradas em aeroportos. Contudo, devido ao estágio relativamente recente das pesquisas sobre esses poluentes, a sua quantificação para inclusão em um inventário de emissões muitas vezes não é executável. Dentre essas espécies pode-se citar: 1,3-Butadieno, acetaldeído, benzeno, formaldeído, naftaleno, tolueno e xileno.

PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

A qualidade do ar na região do sítio aeroportuário e seu possível impacto na população, fauna e flora local dependem da distribuição espacial, temporal e intensidade das emissões, da topografia do local, da ocupação do solo, das condições meteorológicas e da pré-existência de poluentes no ar emitidos por outras atividades.

Dessa maneira, A Resolução CONAMA nº 491/2018 estabeleceu o valor de concentração de um poluente específico na atmosfera, associado a um intervalo de tempo de exposição, como instrumento

13 <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>

14 <https://www.cdc.gov/nceh/lead/prevention/sources/consumer-products.htm>

15 Ignição descontrolada do combustível na câmara de combustão, o que pode danificar os componentes do motor e resultar na sua falha.

16 <https://www.faa.gov/newsroom/leaded-aviation-fuel-and-environment>

para avaliação da qualidade do ar. Os padrões de qualidade do ar¹⁷ determinados pela Resolução CONAMA são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Padrões de qualidade do ar

Poluente Atmosférico	Período de Referência	PI-1	PI-2	PI-3	PF	
		µg/m ³	µ/m ³	µg/m ³	µg/m ³	ppm
Material Particulado - MP ₁₀	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ⁽ⁱ⁾	40	35	30	20	-
Material Particulado - MP _{2,5}	24 horas	60	50	37	25	-
	Anual ⁽ⁱ⁾	20	17	15	10	-
Dióxido de Enxofre - SO ₂	24 horas	125	50	30	20	-
	Anual ⁽ⁱ⁾	40	30	20	-	-
Dióxido de Nitrogênio - NO ₂	1 hora ⁽ⁱⁱ⁾	260	240	220	200	-
	Anual ⁽ⁱ⁾	60	50	45	40	-
Ozônio - O ₃	8 horas ⁽ⁱⁱⁱ⁾	140	130	120	100	-
Fumaça	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ⁽ⁱ⁾	40	35	30	20	-
Monóxido de Carbono - CO	8 horas ³	-	-	-	-	9
Partículas Totais em Suspensão - PTS	24 horas	-	-	-	240	-
	Anual ^(iv)	-	-	-	80	-
Chumbo - Pb ^(v)	Anual ⁽ⁱ⁾	-	-	-	0,5	-

Legenda: (i) média aritmética anual; (ii) média horária; (iii) máxima média móvel obtida no dia; (iv) média geométrica anual; (v) medido nas partículas totais em suspensão.

ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR – IQAR

A Resolução CONAMA estabeleceu ainda um índice para classificação da qualidade do ar de uma maneira acessível à população, levando em consideração efeitos à saúde. A aplicação do IQAr é orientada pelo documento Guia Técnico para o Monitoramento e Avaliação da Qualidade do Ar 2020¹⁸. Em linhas gerais, para cada poluente medido é calculado um índice, que é um valor adimensional. Dependendo do índice obtido, o ar recebe uma qualificação, que consiste em uma nota para a qualidade do ar, além de uma cor, conforme apresentado na Tabela 2.

17 Padrões de qualidade do ar intermediários - PI: padrões estabelecidos como valores temporários a serem cumpridos em etapas; padrão de qualidade do ar final - PF: valores guia definidos pela Organização Mundial da Saúde - OMS em 2005.

18 <https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/mma-guia-tecnico-qualidade-do-ar-pdf>

Tabela 2. - Estrutura do índice de qualidade do ar.

Qualidade	Índice	MP ₁₀	MP _{2,5}	O ₃	CO	NO ₂	SO ₂
		(µg/m ³) 24h	(µg/m ³) 24h	(µg/m ³) 8h	(ppm) 8h	(µg/m ³) 1h	(µg/m ³) 24h
N1 – Boa	0 – 40	0 – 50	0 – 25	0 – 100	0 – 9	0 – 200	0 – 20
N2 – Moderada	41 – 80	>50 – 100	>25 – 50	>100 – 130	>9 – 11	>200 – 240	>20 – 40
N3 – Ruim	81 – 120	>100 – 150	>50 – 75	>130 – 160	>11 – 13	>240 – 320	>40 – 365
N4 – Muito Ruim	121 – 200	>150 – 250	>75 – 125	>160 – 200	>13 – 15	>320 – 1130	>365 – 800
N5 – Péssima	>200	>250	>125	>200	>15	>1130	>800

Fonte: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/padroes-de-qualidade-do-ar/>

Para cálculo do IQAr é utilizada a equação abaixo:

$$IQAr = I_{ini} + \frac{I_{fin} - I_{ini}}{C_{fin} - C_{ini}} \times (C - C_{ini})$$

I_{ini} = valor do índice que corresponde à concentração inicial da faixa;

I_{fin} = valor do índice que corresponde à concentração final da faixa;

C_{ini} = concentração inicial da faixa em que se localiza a concentração medida;

C_{fin} = concentração final da faixa em que se localiza a concentração medida;

C = concentração medida do poluente.

FONTES DE EMISSÃO RELACIONADAS À ATIVIDADE AEROPORTUÁRIA

Uma maneira de se classificar as várias fontes existentes em aeroportos é de acordo com os seguintes grupos:

- Aeronaves
- Equipamentos de apoio no solo
- Infraestrutura e fontes estacionárias
- Veículos de acesso terrestre

AERONAVES

Aeronaves são as maiores fontes de emissão de poluentes em aeroportos. Apesar de não estarem diretamente sob controle da autoridade aeroportuária, há várias maneiras de o aeroporto atuar para reduzir o impacto das emissões dessa fonte. Como melhorias estruturais para tornar as operações mais eficientes, por exemplo.

Tipicamente, as emissões das aeronaves decorrem dos motores principais e da Unidade Auxiliar de Potência – APU. Os motores principais são responsáveis por movimentar a aeronave. Os tipos mais comuns são turbofan, turboélice e motor a pistão. Já a APU é um motor contido nas aeronaves e usado para fornecer energia para seus sistemas durante as operações em solo. A APU também funciona como motor de partida para os motores principais.

EQUIPAMENTOS DE APOIO NO SOLO

Engloba uma vasta categoria de veículos e equipamentos que auxiliam as aeronaves durante a operação em solo e o embarque e desembarque de passageiros e carga, como rebocadores, tratores, esteira carregadora, geradores de energia, unidades de ar pré-condicionado, caminhão de comissaria, caminhão-tanque abastecedor, ônibus de embarque e desembarque remoto, carros, vans etc.

As emissões desses equipamentos irão variar consideravelmente de acordo com sua quantidade e tipo, tempo e perfil de uso e fonte de energia. Da mesma maneira, existem diversas alternativas para tornar suas operações menos poluentes, como modificação dos motores, uso de combustíveis alternativos, aquisição de novos equipamentos, otimização do uso etc.

INFRAESTRUTURA E FONTES ESTACIONÁRIAS

Fontes estacionárias de emissão comumente encontrada em aeroportos incluem: armazenamento e distribuição de combustível; atividades de treinamento contra incêndio; geradores à diesel ou gás; manutenção de aeronaves, como pintura, limpeza e teste de motores; e manejo de rejeitos.

Também são fontes de emissão atividades relacionadas à infraestrutura aeroportuária, como obras, reparo de equipamentos, limpeza dos edifícios e manutenção das áreas verdes. É importante que o aeroporto inclua a avaliação das emissões no planejamento de obras e atividades de manutenção e busque soluções para mitigá-las.

VEÍCULOS DE ACESSO TERRESTRE

O transporte terrestre para acesso ao aeroporto é geralmente a maior fonte de emissões do lado terra. Embora não estejam sob controle direto do operador aeroportuário, esse pode contribuir para redução das emissões de carros, ônibus, caminhões e outros veículos que transportam passageiros e carga para o aeroporto. Possíveis ações incluem modificações na infraestrutura e tratativas com autoridades responsáveis pelo transporte público e cessionários.

AVALIAÇÃO DAS EMISSÕES DE POLUENTES QUE AFETAM A QUALIDADE DO AR LOCAL

Para uma abordagem efetiva na questão da qualidade do ar local, é fundamental que o aeroporto disponha de dados confiáveis sobre as emissões de poluentes associadas à sua atividade. Para tal, ele pode se valer de ferramentas como o inventário de emissões, a modelagem matemática de dispersão de poluentes atmosféricos e o monitoramento da qualidade do ar.

Informações técnicas para elaboração de inventário de emissões, como metodologia e fatores de emissão, podem ser encontradas no EMEP/EEA *emission inventory guidebook* 2019¹⁹. A Autoridade de Aviação Civil Americana – FAA²⁰ disponibiliza o *Aviation Emissions and Air Quality Handbook, Version 3*²¹, um guia abrangente para elaboração de inventário de emissões aeroportuárias e condução de modelagem de dispersão de poluentes. Além disso, a Organização da Aviação Civil Internacional – OACI elaborou o *Airport Air Quality Guidance Manual* (Doc 9889)²², o qual fornece informações para desenvolvimento de inventário de emissões, e apresenta métodos para modelagem de dispersão de emissões e medição da concentração de poluentes. O aeroporto ainda pode se basear no já mencionado guia técnico para o monitoramento e avaliação da qualidade do ar para desenvolver seu programa de monitoramento da qualidade do ar. Esse documento foi elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente – MMA, em conjunto com os órgãos ambientais estaduais, com o objetivo de padronizar o monitoramento da qualidade do ar, estabelecendo diretrizes e orientações de atuação dos órgãos ambientais. Adicionalmente, o *ACRP Report 102: Guidance for Estimating Airport Construction Emissions*²³ auxilia os aeroportos na quantificação das emissões relativas a obras.

INVENTÁRIO DE EMISSÕES

Diversos propósitos podem fundamentar a elaboração de um inventário de emissões de poluentes. O operador aeroportuário pode, por exemplo, quantificar suas emissões para fins de reporte às autoridades, gerar dados para condução de modelagem de dispersão e desenvolver estratégias para mitigação das suas emissões. É recomendado que a elaboração de um inventário de emissões siga as etapas descritas a seguir.

DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS GERAIS

Fatores como finalidade do inventário, região abrangida, fontes de emissão contabilizadas, frequência de atualização e nível de acurácia dos dados determinam a estrutura do inventário e são escolhidos de acordo com a necessidade do aeroporto.

19 <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>

20 Federal Aviation Administration

21 https://www.faa.gov/regulations_policies/policy_guidance/envir_policy/airquality_handbook

22 https://www.icao.int/publications/Documents/9889_cons_en.pdf

23 <https://crp.trb.org/acrpwebresource4/acrp-report-102-guidance-for-estimating-airport-construction-emissions/>

DEFINIÇÃO DOS POLUENTES INVENTARIADOS

A inclusão de determinada espécie em um inventário de emissões dependerá de fatores como fontes existentes, relevância das emissões do poluente para a região e disponibilidade de informações para sua quantificação. Usualmente, um inventário de emissões de poluentes que afetam a qualidade do ar local de um aeroporto inclui CO, NO_x, COV, MP e SO₂.

DETERMINAÇÃO DAS FONTES DE EMISSÃO

Uma vez definidos os poluentes que serão inventariados, parte-se para o levantamento das fontes de emissão desses poluentes presentes na região englobada pelo inventário do aeroporto. Tipicamente, aeronaves, veículos terrestres e outros equipamentos que utilizam combustíveis são as principais fontes de emissão de poluentes que afetam a qualidade do ar local em aeroportos. Embora a inclusão de uma fonte em específico dependa dos poluentes avaliados, atividades que resultam em emissões fugitivas como construção civil e armazenamento e transporte de derivados de petróleo também são fontes comum de poluentes.

QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES

O cômputo das emissões pode ser feito com diferentes níveis de detalhamento. No caso das emissões resultantes do processo de combustão, por exemplo, estimativas mais simples levam em conta apenas o tipo e a quantidade de combustível consumido, já cálculos mais complexos incluem informações adicionais como o regime de operação e sua duração. A escolha por determinado nível de complexidade dependerá da disponibilidade de recursos financeiros, humanos e de dados sobre os equipamentos avaliados.

Em se tratando de aeronaves, as emissões com potencial impacto sobre a qualidade do ar nas proximidades dos aeroportos são aquelas que ocorrem durante as fases de voo englobadas pelo ciclo LTO²⁴. Tipicamente, essas fases consistem em táxi, decolagem, início da subida para cruzeiro, aproximação final e toque e corrida de desaceleração. Para Aeronaves equipadas com motores a jato, recomenda-se consultar os fatores de emissão catalogados pela OACI no seu *Engine Emissions Databank*²⁵ disponibilizado na página da *European Aviation Safety Agency – EASA*. Outra fonte de informações é o documento Metodologia de Cálculo - Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil²⁶ elaborado pela ANAC.

Quanto à frota de veículos terrestres que opera no aeroporto, os documentos produzidos pela CETESB²⁷ norteiam a elaboração de um inventário de suas emissões. A Companhia também disponibiliza fatores de emissão dos principais poluentes emitidos por diferentes categorias de veículos de acordo com o combustível utilizado.

24 *Landing and Take-off*. Contempla todas as etapas de voo próximas ao aeródromo realizadas pelas aeronaves até 914 metros acima do nível do solo. Esse valor é definido pelo *Airport Air Quality Guidance Manual* (Doc 9889) como a altura de mistura atmosférica, abaixo da qual os poluentes emitidos podem potencialmente afetar as concentrações ao nível do solo.

25 <https://www.easa.europa.eu/en/domains/environment/icao-aircraft-engine-emissions-databank>

26 https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/meio-ambiente/arquivos/metodologia-de-calculo_v8.pdf

27 <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/relatorios-e-publicacoes/>

MODELAGEM DE DISPERSÃO DE POLUENTES

A dispersão do poluente na atmosfera ocorre com o deslocamento na direção do vento, a mistura pela turbulência atmosférica e a difusão devido a diferentes gradientes de concentração. A simulação matemática desse fenômeno é chamada modelagem de dispersão de poluentes.

Os reais impactos de determinado poluente são mais bem avaliados pela sua concentração, uma vez que não dependem apenas da quantidade emitida, mas da forma com eles são lançados e se dispersam no ar da região, e da sua interação com poluentes pré-existentes na atmosfera. A medição dessa concentração tende a ser onerosa e permite apenas avaliar a concentração em pontos específicos. Neste sentido, a modelagem de dispersão se prova bastante útil ao permitir analisar a contribuição de diferentes fontes para os níveis de concentração encontrados em regiões extensas a um custo razoável. Além disso, também possibilita a simulação de cenários com diferentes fontes emissoras e condições atmosféricas, auxiliando a tomada de decisão relativa à qualidade do ar local por parte dos operadores aeroportuários.

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DAS EMISSÕES

As emissões na região do sítio aeroportuário ocorrem em diferentes locais e períodos. É possível que uma mesma fonte lance poluentes na atmosfera de maneira intermitente e até mesmo em vários pontos do aeroporto, com intensidade e duração variadas. Embora a distribuição espacial e temporal das emissões não seja essencial para elaboração do inventário de emissões, é necessário que o aeroporto considere essas informações em seu inventário caso pretenda conduzir um estudo de modelagem de dispersão. O grau de detalhamento dos dados dependerá da análise e do software considerados na modelagem.

A análise espacial das emissões permite estimar a densidade de emissões das áreas avaliadas, enquanto a análise temporal fornece informações sobre a variabilidade dessas emissões. No primeiro caso, é necessário primeiro definir as células ou zonas às quais as emissões serão atribuídas. A divisão da região de interesse pode seguir diferentes critérios de acordo com a necessidade do operador aeroportuário. É possível que a área do aeroporto seja dividida em células de igual tamanho, em zonas por tipo de atividade, ou em zonas relacionadas as medidas de mitigação que podem ser empregadas, por exemplo. A atribuição espacial de fontes estacionárias é uma tarefa relativamente simples de ser executada, porém, fontes móveis requerem cuidado especial a fim de evitar dupla contagem ou omissão de emissões. A menos que a zona delimite a fonte móvel, é preciso definir diretrizes para a contabilização das suas emissões, como a fração de tempo em que a fonte emite poluentes em uma determinada zona.

A distribuição temporal das emissões pode se provar uma tarefa árdua. Muitas das fontes presentes no aeroporto possuem uma operação irregular, com variações não apenas nos dias e horários em que as emissões ocorrem, mas também na duração e intensidade dessas emissões. Para fontes móveis, além do tempo em cada zona, é importante dispor de informações sobre o trajeto dessas fontes para maior acurácia das análises.

PARÂMETROS AMBIENTAIS

Além dos parâmetros da fonte emissora, como localização, quantidade de poluentes emitidos, forma da pluma e velocidade de exaustão dos poluentes, características geográficas e meteorológicas influenciam a dispersão dos poluentes na atmosfera. Superfícies distintas implicam em terrenos com rugosidades diferentes e obstáculos diversos, afetando a maneira como o ar se desloca no aeroporto.

Já as principais condições meteorológicas que influenciam a dispersão de poluentes na atmosfera são nebulosidade, pluviosidade, altura da camada de mistura da atmosfera, temperatura, pressão atmosférica, estabilidade atmosférica e direção e velocidade predominante dos ventos²⁸. Sem os dados meteorológicos não é possível a condução de uma modelagem de dispersão contundente. Esses dados podem ser coletados em estações meteorológicas próximas ao sítio aeroportuário bem como redes de estações oficiais e dados de satélite fornecidos pelo INMET²⁹ e CPTEC/INPE³⁰. Uma alternativa é o *Weather Research and Forecasting Model – WRF*³¹, o qual consiste em um sistema numérico de simulação e previsão do tempo.

A composição química do ar ambiente também é um fator relevante a ser considerado. A concentração de determinado poluente em um ponto específico será a combinação da concentração determinada pela modelagem com aquela já existente na região. A concentração de poluentes pré-existentes na região pode ser obtida por meio de medições de longo prazo, uma vez que resultam de fontes geralmente muito numerosas e diversas para serem incluídas na modelagem, como indústrias, áreas residenciais, transporte terrestre e queimadas próximas ao sítio aeroportuário. Adicionalmente, os componentes presentes na atmosfera podem reagir com os poluentes emitidos no aeroporto levando a formação de poluentes secundários.

CÁLCULO DE DISPERSÃO

Tipicamente, a modelagem de dispersão pode ser classificada de acordo com o nível de complexidade em simples, avançada e sofisticada. Uma abordagem mais complexa, embora produza resultados mais realistas, irá consumir maiores recursos financeiros e humanos e exigir dados de entrada mais detalhados e precisos, os quais nem sempre estarão à disposição do operador aeroportuário.

Em uma abordagem simples adotam-se premissas conservadoras que levariam ao pior cenário possível. Dessa maneira, se as estimativas calculadas dessa forma não excederem os padrões de qualidade do ar, entende-se que o valor real também estará abaixo do limite. Nessa abordagem as fontes de emissão são sintetizadas em uma única localização em cada zona, a atmosfera é considerada bastante estável com ventos constantes, e a rugosidade da superfície e a concentração prévia de poluentes têm um único valor para todo o aeroporto. Modelos computadorizados não são obrigatoriamente necessários nesse caso.

28 EAGLEMEN, J. *Air Pollution Meteorology*. Lenexa: Trimedia Publishing Company, 1991. 255 p.

29 <https://portal.inmet.gov.br/>

30 <https://www.cptec.inpe.br/>

31 <https://www.mmm.ucar.edu/models/wrf>

Por outro lado, a abordagem avançada demanda o uso de modelos computadorizados para os cálculos. Esses incluem programas como AERMOD³², AEDT³³, CALPUFF³⁴, ADMS-Airport³⁵, Open-ALAQS³⁶ e LASPORT³⁷, entre outros. Essa abordagem utiliza resoluções espaciais e temporais mais refinadas, leva em consideração múltiplos parâmetros meteorológicos e os aspectos topográficos mais relevantes e ainda considera a proporção histórica de poluentes na região.

Já a abordagem sofisticada requer dados meteorológicos e operacionais abrangentes. Geralmente são utilizados os mesmos modelos computacionais da abordagem avançada, porém com o uso de dados reais em substituição aos valores padrão e melhor resolução espacial e temporal. Além disso, leva em conta a concentração de espécies reagentes na atmosfera e os diferentes edifícios e superfícies presentes no aeroporto. Dependendo dos dados disponíveis e da necessidade, uma abordagem híbrida pode ser executada.

Os resultados são geralmente comparados a valores padrão para determinação do nível de qualidade do ar e avaliação dos impactos ambientais da operação aeroportuária. Esses valores também podem ser comparados com aqueles obtidos para pontos específicos por meio de estações de monitoramento da qualidade do ar, a fim de verificar a qualidade dos dados gerados pela modelagem.

MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR LOCAL

O monitoramento permite especificar a concentração de um dado poluente em um determinado local e momento, sendo útil no acompanhamento da qualidade do ar em locais de interesse. Geralmente o monitoramento é realizado por estações de monitoramento que fornecem dados em tempo real ou por meio da coleta de amostras, podendo ser fixas ou móveis. Como exemplo, a CETESB possui uma ampla rede de estações de monitoramento³⁸ medindo a qualidade do ar no estado de São Paulo com relação a presença de diversos tipos de poluentes. Já a Plataforma da Qualidade do Ar³⁹ do Instituto de Energia e Meio Ambiente – IEMA compila dados de estações de monitoramento espalhadas pelo território nacional.

PLANEJAMENTO DE MONITORAMENTO

Devido aos custos envolvidos e a limitação espacial das medições, é importante que os objetivos do monitoramento estejam bem estabelecidos. A medição pode ser motivada por diversos fatores, como determinação legal, cumprimento de normas, validação de modelos de emissão, endereçamento

32 <https://www.epa.gov/scram/air-quality-dispersion-modeling-preferred-and-recommended-models>

33 <https://aedt.faa.gov/>

34 <http://www.src.com/>

35 <https://www.cerc.co.uk/environmental-software/ADMS-Airport-model.html>

36 <https://www.eurocontrol.int/online-tool/airport-local-air-quality-studies>

37 <https://www.janicke.de/en/lasport.html>

38 <https://cetesb.sp.gov.br/ar/redes-de-monitoramento/>

39 <https://energiaambiente.org.br/qualidadedoar/>

de preocupações da sociedade e prevenção de impactos. Além das motivações, o conhecimento prévio do perfil de emissões do aeroporto pode ajudar a delimitar a escolha por locais de medição, poluentes avaliados e tipos de equipamento utilizados. Nesse sentido o inventário e modelagem de emissões se provam bastante úteis.

Com relação a localização das medições, regiões com intensa atividade de equipamentos que emitem poluentes, como pistas e pátios de aeronaves, vias de acesso terrestre, estacionamentos, centros de manutenção e centrais de tratamento de resíduos são de especial interesse para avaliação do impacto do aeroporto na qualidade do ar. Idealmente, as medições devem ser realizadas na direção do vento antes e após as fontes do aeroporto, e em locais que são mais provavelmente dominados pela emissão de uma fonte específica. Áreas em que os efeitos dos poluentes são potencialmente mais danosos, como bairros residenciais, terminais de passageiros, escolas e hospitais também são bastante relevantes para realização de medições.

Quanto a seleção dos poluentes cuja concentração se pretende mensurar, o aeroporto pode se basear nas estimativas do inventário e da modelagem para determinação daqueles com emissões mais significativas, ou, se for o caso, nos efeitos adversos percebidos na população e no meio ambiente e sua correlação com as espécies usualmente emitidas nos aeroportos. Definidos os poluentes, parte-se para a escolha do equipamento de acordo com as necessidades do aeroporto.

ANÁLISE DOS DADOS

Os sistemas de medição podem ser classificados em ativos ou passivos. Sistemas passivos geralmente são capazes de medir a concentração de apenas um poluente por meio de amostras analisadas em laboratório. Eles requerem locais com livre fluxo de ar e os métodos de medição incluem gravimétrico, refletância, e tubos colorimétricos. A estrutura de instalação e a necessidade de manutenção são mínimos, o que se reflete em baixos custos de operação.

Por sua vez, os sistemas ativos permitem a obtenção de resultados mais acurados e em intervalos curtos de tempo. Naturalmente, há maiores custos envolvidos, necessidade de manutenção e calibração regulares e uma infraestrutura mais complexa. Por outro lado, esses sistemas podem medir a concentração de diversos poluentes e realizar as análises diretamente na estação. Exemplos de métodos de medição são radiação beta, fluorescência de pulso, quimiluminescência, infravermelho não dispersivo e cromatografia.

A duração do monitoramento dependerá da finalidade da medição. Conforme demonstrado na Tabela 1, os períodos de referência dos padrões de qualidade do ar podem ser de apenas algumas horas ou anuais. Além disso, o operador aeroportuário pode estar interessado em investigar os efeitos de variações sazonais na demanda por transporte aéreo ou a variação na qualidade do ar em horários de pico das movimentações aéreas.

A localização e identificação de fontes de emissão de um determinado poluente pode ser feita com a realização de medições em diversos locais conjuntamente com a análise do perfil dos ventos na região. Dados da modelagem de emissões também podem ser usados para auxiliar na determinação das fontes. Adicionalmente, o monitoramento permite conhecer o padrão de evolução da concentração do poluente com o tempo, fornecendo uma ferramenta valiosa para o desenvolvimento de estratégias para sua mitigação.

MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES

Tipicamente, as aeronaves são responsáveis pela maior parcela das emissões em um aeroporto. As soluções mais viáveis atualmente para redução das emissões das aeronaves são medidas relacionadas a otimização da operação das aeronaves, melhorias tecnológicas nas aeronaves e seus equipamentos e o uso de combustíveis sustentáveis de aviação.

Contudo, há amplo espaço para atuação do operador aeroportuário na mitigação das emissões de poluentes provenientes das mais diversas fontes relacionadas a sua operação, inclusive, aquelas sob administração de terceiros, como operadores aéreos. A seguir serão apresentadas algumas medidas normalmente adotadas em aeroportos, todavia, é importante ressaltar que essa listagem não é exaustiva, e o emprego de determinada medida deve levar em conta as características do aeroporto e a capacidade de investimento do operador aeroportuário.

REDUÇÃO DAS EMISSÕES NA FONTE

Há uma miríade de fontes de emissão de poluentes em operação em um aeroporto. Elas vão desde fontes estacionárias como geradores, incineradores e canteiros de obra, até equipamentos móveis como carros, ônibus e tratores e aeronaves. No caso de atividades que provoquem emissões evaporativas ou suspensão de partículas no ar, a atenuação das emissões pode ser alcançada com o uso de produtos menos poluentes e adoção de práticas para controle da poeira em obras, como instalação de quebra-vento, cobertura dos materiais e irrigação das superfícies.

Já os equipamentos movidos a combustão podem ser abastecidos com combustíveis menos poluentes, ou serem substituídos por modelos mais eficientes ou que utilizem outra fonte de energia, como a elétrica. No caso das aeronaves em solo, o fornecimento de energia elétrica e ar-condicionado pelo aeroporto em substituição ao uso da APU ou geradores movidos a combustíveis fósseis representa uma redução considerável das emissões aeroportuárias. Outra medida interessante é a substituição por outro tipo de equipamento que desempenhe as mesmas funções com níveis equivalentes de segurança, porém com ganhos consideráveis em eficiência energética. Por exemplo, a troca dos automóveis utilizados para patrulha do sítio aeroportuário ou inspeção das pistas por motocicletas ou drones.



Figura 1. Aeronave alimentada com eletricidade fornecida pelo Aeroporto Internacional de Confins – Cortesia: BH Airport



Figura 2. Aeronave acoplada a rebocador elétrico no São Paulo Catarina Aeroporto Executivo Internacional – Cortesia: JHSF



Figura 3. Veículo de patrulha movido a biocombustível do Aeroporto Internacional de Salvador – Cortesia: VINCI Airports



Figura 4. Protótipo de ônibus elétrico do Aeroporto Internacional do Recife – Cortesia: AENA Brasil



Figura 5. Diciclos elétricos para patrulhamento do Aeroporto Santos Dumont – Cortesia: Infraero

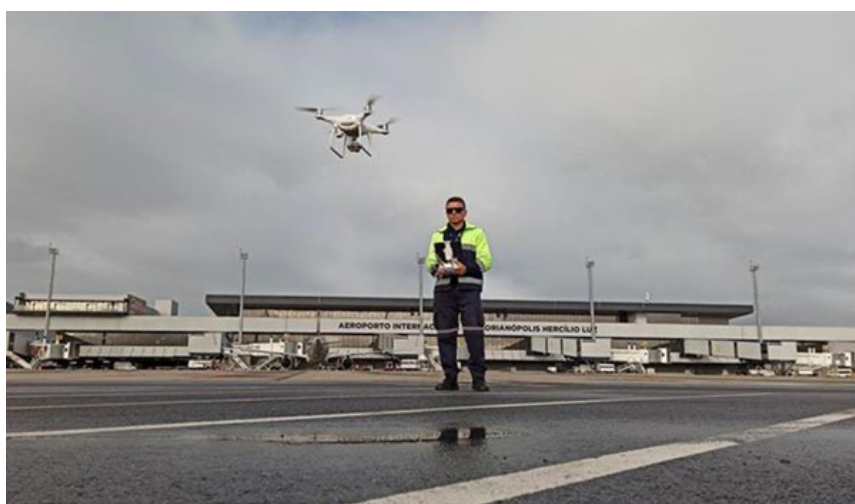


Figura 6. Drone para inspeção do Aeroporto Internacional de Florianópolis – Cortesia: Zurich Airport Brasil

OTIMIZAÇÃO DA INFRAESTRUTURA

Uma vez que há um grande volume de veículos se deslocando em direção ao aeroporto ou dentro deste, alterações da infraestrutura que minimizem os trajetos e o tempo de espera desses veículos, e promovam o uso do transporte coletivo e de veículos menos poluentes têm potencial para gerar reduções significativas nas emissões. Medidas comuns incluem adoção de pistas de saída rápida para aeronaves, redução dos trajetos percorridos pelos veículos que operam no lado ar, alterações viárias no acesso ao aeroporto, vagas e pistas preferenciais para transporte coletivo e disponibilização de carregadores para veículos elétricos.



Figura 7. Trajeto otimizado dos ônibus para traslado de passageiros – Cortesia: BH Airport



Figura 8. Área destinada a veículos de aplicativos de transporte construída no Aeroporto Internacional de Brasília – Cortesia: Inframerica

OTIMIZAÇÃO DA OPERAÇÃO

As emissões aeroportuárias também podem ser mitigadas por meio de medidas operacionais, como a alocação planejada e eficiente dos equipamentos de apoio no solo, evitando congestionamentos e atrasos no atendimento às aeronaves. Neste sentido, o *Airport Collaborative Decision Making – A-CDM*⁴⁰ é uma ferramenta poderosa para melhoria da eficiência operacional, o que se reflete em redução do tempo de taxiamento e espera das aeronaves e, conseqüentemente, das suas emissões de poluentes. Em obras, o aeroporto pode estabelecer diretrizes para realização das atividades em períodos e locais que resultem em menores impactos para qualidade do ar local, o que pode ser determinado com ajuda do monitoramento e modelagem das emissões aeroportuárias.

40 <https://acdm.com.br/>

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este guia busca reunir informações e melhores práticas que auxiliem os operadores aeroportuários na melhoria da gestão da sustentabilidade dos aeroportos brasileiros. As ações aqui apresentadas são meramente exemplificativas e pretende-se que o documento seja atualizado constantemente com vistas a incluir avanços na matéria. Dessa maneira, os aeroportos nacionais que tenham implementado iniciativas de sustentabilidade relacionadas ao conteúdo deste guia e desejem que essas façam parte do documento podem encaminhar sugestões para avaliação da ANAC por meio do e-mail meioambiente@anac.gov.br.

