Qualidade do Ar

Proteção da Saúde Humana e da Vegetação e Ecossistemas Naturais

Evolução 2015-2019

Região Autónoma da Madeira

Região Autónoma da Madeira
Governo Regional

Secretaria Regional
de Ambiente, Recursos Naturais e Alterações Climáticas
Direção Regional do Ambiente e Alterações Climáticas

QUALIDADE DO AR NA RAM: EVOLUÇÃO 2015 - 2019

PROTEÇÃO DA SAÚDE HUMANA E DA VEGETAÇÃO E ECOSSISTEMAS NATURAIS

Fevereiro 2022

Ficha Técnica

Título do Documento: Qualidade do Ar na RAM; Evolução 2015 - 2019: Proteção da Saúde Humana e da Vegetação e Ecossistemas Naturais

Elaboração: Eng.º Nuno Baptista

Revisão: Eng.º Henrique Rodrigues

Responsabilidade e Entidade Competente:
Direção Regional do Ambiente e Alterações Climáticas
[m]: Rua Dr. Pestana Júnior, nº6-3ºDtº, 9054 – 558 Funchal,
[Tel.]: 351 291 207350, [Fax] 351 291 229438,
[site]: www.madeira.gov.pt/drota
[E- mail]: draac@madeira.gov.pt

Data: fevereiro de 2022

ÍNDICE GERAL

Resumo 8
1. Introdução 9
2. Poluição Atmosférica 10
2.1. Origem dos Poluentes Atmosféricos 11
2.2. Principais Poluentes Atmosféricos 11
2.2.1. Óxidos de Carbono 12
2.2.2. Compostos de Enxofre 12
2.2.3. Óxidos de Azoto 12
2.2.4. Hidrocarbonetos 13
2.2.5. Ozono 13
2.2.6. Poluentes Perigosos 13
2.2.7. Partículas em Suspensão 13
3. Efeitos dos Poluentes Atmosféricos 14
3.1. Efeitos na Atmosfera 14
3.1.1 Efeito de Estufa 15
3.1.2. Nevoeiro Fotoquímico 15
3.2. Efeitos no Homem 16
3.3. Efeitos na Vegetação e Ecossistemas Naturais 17
4. Fatores que influenciam a dispersão dos Poluentes Atmosféricos 17
4.1. Direção e Velocidade do Vento 18
4.2. Estabilidade Atmosférica 18
4.3. Circulação Geral da Atmosfera 19
4.4. Circulação Local da Atmosfera 19
4.5. Topografia 22
5. Avaliação da qualidade do ar ambiente 22
5.1. Delimitação de zonas e aglomerações 22
5.2. Técnicas de avaliação 23
5.3 Número de estações/analisadores e respetivos critérios de localização 24
6. Rede de Qualidade do Ar da RAM 24
7. Indice QUALAR 26
8. Acesso do público à informação 28
9. Análise de resultados 31
9.1 Monóxido de Carbono (CO): Proteção da saúde humana 31
9.2 Dióxido de enxofre (SO2) 33
9.3 Dióxido de azoto e óxidos de azoto 35

9.4 Ozono (O3) 38
9.5 Partículas em suspensão (PM10 / PM2,5) 42
9.5.1 Partículas PM10: Proteção da saúde humana 42
9.5.1.1 PM 10 – Correção NAT 44
9.5.2 Partículas PM 2,5: Proteção da saúde humana 46
9.5.2.1 Proteção da saúde humana 46
9.5.2.2 - Indicador da exposição média (IEM) 47
10. Discussão dos resultados 48
11. Conclusões 48

Resumo

A saúde humana é a principal determinante das políticas públicas relativas à qualidade do ar, já que a mesma é fundamental para a saúde dos seres vivos e para o ambiente em geral. A poluição atmosférica é causa de diversas doenças crónicas do foro respiratório e endócrino, sendo responsável por muitas ausências ao trabalho e hospitalizações, bem como por mortes prematuras. Dela resultam despesas para o sistema de saúde e prejuízos para a economia. A Organização Mundial de Saúde (OMS) aponta como poluentes atmosféricos mais prejudiciais para a saúde humana as partículas em suspensão (PM), o dióxido de azoto, o dióxido de enxofre (SO2) e o ozono troposférico (O3): a exposição a partículas, em especial as de dimensão inferior a 2,5 µm (PM2,5), contribui para o desenvolvimento de doenças cardiovasculares e respiratórias e de cancro dos pulmões; a exposição prolongada ao dióxido de azoto contribui para a redução das funções pulmonares e o desenvolvimento de bronquite asmática; o dióxido de enxofre afeta as funções pulmonares, agravando a asma e bronquite crónica e torna as pessoas mais propensas a infeções do trato respiratório; o ozono é causa de asma e outros problemas respiratórios, reduz as funções pulmonares e causa cancro.

A poluição do ar pode ter causas naturais ou ter origem na intervenção humana. Em Portugal, a poluição por causas naturais verifica-se sobretudo com as partículas em suspensão transportadas por massas de ar provenientes dos desertos do Sahara e do Sahel e as resultantes de incêndios florestais. As atividades humanas passaram a constituir as principais fontes de poluição, tais como a produção de calor e energia, as indústrias, os transportes, com destaque para os veículos automóveis, a deposição de resíduos em aterros sanitários e a queima em centrais de incineração e, nas habitações, a produção de calor com combustíveis poluentes, com destaque para a biomassa.

Considerando a persistência dos problemas de poluição atmosférica, a Comissão Europeia apresentou, em dezembro de 2013, uma estratégia designada «Programa Ar Limpo para a Europa», a qual visou o pleno cumprimento das normas existentes em matéria de qualidade do ar até 2020 e a criação de condições para a União Europeia atingir o objetivo a longo prazo de não exceder os valores-guia para a saúde humana da OMS, nem as cargas e níveis críticos que definem os limites de tolerância dos ecossistemas.

Na RAM, de harmonia com as políticas europeias e para além dos instrumentos normativos sobre limites de emissão, têm sido introduzidos vários planos e programas. A Estratégia Nacional para o Ar (ENAR 2020) visa «melhorar a qualidade do ar, para a proteção da saúde humana, qualidade de vida dos cidadãos e preservação dos ecossistemas», indo ao encontro dos objetivos propostos no Programa da União Europeia «Ar Limpo para a Europa» e integrando políticas, medidas e ações sectoriais dos vários níveis de governação.

No presente relatório procede-se à apresentação e análise das concentrações dos poluentes atmosféricos obtidas no decorrer do período 2015-2019, na Rede de Monitorização da Qualidade do Ar (RMQA) da Região Autónoma da Madeira (RAM), composta pelas estações de São João (Urbana de Tráfego), São Gonçalo (Urbana de Fundo) e Santana (Rural).
Ao longo deste período a referida rede analisou de forma contínua os principais poluentes atmosféricos indicados na legislação referente à qualidade do ar (Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 43/2015 de 27 de março, e posteriormente pelo Decreto-Lei n.º 47/2017 de 27 de março) e alguns parâmetros meteorológicos:

• Óxidos de azoto (NO-NO2-NOx);
• Ozono (O3);
• Monóxido de carbono (CO)
• Dióxido de enxofre (SO2);
• Partículas atmosféricas (PM2,5 e PM10)
• Parâmetros meteorológicos (temperatura, velocidade e direção do vento, humidade relativa e radiação solar).

Para cada poluente medido, foi efetuado um tratamento de dados, tendo em vista a análise comparativa com os valores normativos nacionais e comunitários legislados.

1. Introdução

O Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro, na sua atual redação, estabelece o regime da avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente, fixando os objetivos para a qualidade do ar ambiente tendo em conta as normas, as orientações e os programas da Organização Mundial da Saúde, destinados a evitar, prevenir ou reduzir as emissões de poluentes atmosféricos.

O suprarreferido diploma legal transpõe para a ordem jurídica interna as seguintes diretivas:

a) A Diretiva n.º 2008/50/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 21 de maio, relativa à qualidade do ar ambiente e a um ar mais limpo na Europa;

b) A Diretiva n.º 2004/107/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 15 de dezembro, relativa ao arsénio, ao cádmio, ao mercúrio, ao níquel e aos hidrocarbonetos aromáticos policíclicos no ar ambiente.

O Decreto-lei acima mencionado estabelece medidas destinadas a:

a) Definir e fixar objetivos relativos à qualidade do ar ambiente, destinados a evitar, prevenir ou reduzir os efeitos nocivos para a saúde humana e para o ambiente;

b) Avaliar, com base em métodos e critérios comuns, a qualidade do ar ambiente no território nacional;

c) Obter informação relativa à qualidade do ar ambiente, a fim de contribuir para a redução da poluição atmosférica e dos seus efeitos e acompanhar as tendências a longo prazo, bem como as melhorias obtidas através das medidas implementadas;

d) Garantir que a informação sobre a qualidade do ar ambiente seja disponibilizada ao público;

e) Preservar a qualidade do ar ambiente quando ela seja boa e melhorá-la nos outros casos; e

f) Promover a cooperação com os outros Estados membros de forma a reduzir a poluição atmosférica.

De facto, a qualidade do ar ambiente é uma componente ambiental determinante, em particular para a saúde pública e para a qualidade de vida dos cidadãos. Por isso, o Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro, na sua atual redação, estabelece o regime da avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente, atribuindo particular importância ao combate das emissões de poluentes na origem e à aplicação das medidas mais eficazes de redução de emissões, a nível local e nacional, como formas de proteção da saúde humana e do ambiente.

O diploma supracitado prevê a monitorização da qualidade do ar ambiente, estabelecendo diversos objetivos, sempre que os mesmos não sejam atingidos, devem ser tomadas medidas para dar cumprimento aos valores limite e aos níveis críticos e, sempre que possível, para atingir os valores alvo e os objetivos a longo prazo, encontrando-se previsto, se necessário, a aplicação de medidas da responsabilidade de diversos agentes, as quais podem estar integradas em planos de ação de curto prazo ou em planos de qualidade do ar, estes últimos, concretizados através de programas de execução que caracterizam as medidas a aplicar. Neste sentido, a RAM está dotada de estações de medição fixas para a avaliação da qualidade do ar ambiente, sendo as mesmas geridas pela Direção Regional do Ambiente e Alterações Climáticas (DRAAC).

O Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro, introduz novos elementos relevantes para a avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente, especialmente no que diz respeito à regulamentação e à vigilância das partículas finas (PM2,5), com o estabelecimento de um valor alvo a ser cumprido a partir de 2010, o qual, em 2015 passou a valor limite. É ainda estabelecido, com base num indicador médio de exposição, um limite de concentração de exposição de PM2,5 a cumprir em 2015 e um objetivo de redução nacional a cumprir em 2020.

2. Poluição Atmosférica

Entende-se como poluição do ar, a mudança da sua composição ou das suas propriedades, decorrentes das emissões de poluentes, tornando-o impróprio, nocivo ou inconveniente à saúde, ao bem-estar público, à vida animal e vegetal e, até mesmo, ao estado de conservação de

determinados materiais. A poluição do ar afeta o clima das áreas urbanas de diversas formas. O próprio balanço energético das cidades sofre interferência, pois os poluentes refletem, dispersam e absorvem radiação solar. Muitos poluentes também servem de núcleos de condensação, sendo, portanto, abundantes no ar das cidades, cuja humidade já é substancialmente abastecida através da evaporação, dos processos industriais e dos automóveis, que emitem grandes quantidades de vapor de água. A poluição do ar é um problema complexo devido não somente às dificuldades de identificar os reais efeitos dos contaminantes na saúde da população, mas também ao enorme número de agentes poluentes envolvidos.

2.1. Origem dos Poluentes Atmosféricos

Os poluentes atmosféricos presentes no ar podem ser tanto de origem natural como antropogénica, ou seja, associada a atividades humanas. A monitorização da qualidade do ar analisa o conjunto das duas fontes. Porém não podemos influenciar fenómenos naturais responsáveis pela libertação de grandes quantidades de substâncias para atmosfera. As principais fontes naturais são: vulcanismo, evapotranspiração, decomposição de matéria orgânica, transporte de poeiras e incêndios. A grande diferença entre a poluição de origem natural e a antropogénica é que a natureza adaptou-se e convive em equilíbrio com a quantidade de poluentes naturais, enquanto que, a introdução das atividades antropogénicas causa desequilíbrio.

As atividades industriais, o tráfego automóvel, a pecuária, o setor doméstico, de comércio e serviços são alguns exemplos de fontes antropogénicas de emissões, sendo o tráfego a fonte predominante em todos os grandes centros urbanos de hoje.

2.2. Principais Poluentes Atmosféricos

É grande a variedade de substâncias presentes na atmosfera o que dificulta a respetiva classificação. No entanto, tendo em vista as fontes emissoras dos poluentes, as mesmas foram divididas em duas categorias:

- **Poluentes Primários:** emitidos diretamente pelas fontes para a atmosfera, como por exemplo, monóxido de carbono (CO), óxidos de azoto (NO_X) constituídos pelo monóxido de azoto (NO) e pelo dióxido de azoto (NO_2), dióxido de enxofre (SO_2) ou as partículas em suspensão (PM).

- **Poluentes Secundários:** resultam de reações químicas que ocorrem na atmosfera e onde participam alguns poluentes primários. Por exemplo, o ozono troposférico (O_3), que resulta de reações fotoquímicas, ou seja, realizadas na presença de luz solar.

2.2.1. Óxidos de Carbono

Os óxidos de carbono, monóxido (CO) e dióxido (CO_2), são produzidos em quantidades significativas tanto por processos naturais como por atividades humanas.

O CO_2 não é considerado um poluente dado ser um constituinte normal da atmosfera. No entanto, a sua concentração tem vindo a aumentar contribuindo para um aumento de temperatura média do planeta.

O CO é um gás tóxico e um dos principais poluentes atmosféricos. Para além de diversos processos naturais (erupções vulcânicas, decomposição da clorofila, fogos florestais, etc.), o CO é produzido em todas as combustões incompletas, seja de combustíveis fósseis ou outros materiais orgânicos.

2.2.2. Compostos de Enxofre

Os compostos de enxofre mais importantes como poluentes atmosféricos são os óxidos de enxofre (SO_X) e o sulfureto de hidrogénio (H_2S).

Os óxidos de enxofre são produzidos na queima de combustível e na calcinação de minerais que contenham enxofre, sendo o dióxido de enxofre (SO_2) o mais abundante.

O SO_2 é um gás incolor, mas pode ser detetado pelo sabor ou, em elevadas concentrações, através do cheiro. O sulfureto de hidrogénio (H_2S) é um gás muito tóxico e que é facilmente identificado pelo seu característico cheiro a ovos podres podendo o mesmo ser detetado em baixas concentrações. Apesar da sua toxicidade, o H_2S aparece na atmosfera em concentrações tão baixas que não chegam a apresentar risco para a saúde.

2.2.3. Óxidos de Azoto

Os compostos de azoto mais relevantes como poluentes são o monóxido de azoto (NO) e dióxido de azoto (NO_2). Dado que estes compostos se interconvertem durante as reações fotoquímicas que ocorrem na atmosfera, são geralmente designados em conjunto como óxidos de azoto (NO_X).

O monóxido de azoto (NO) é um gás incolor, insípido, inodoro e relativamente pouco tóxico e as suas principais fontes são os veículos, as centrais térmicas e as caldeiras industriais. O dióxido de azoto (NO_2) apresenta uma cor amarelo-alaranjada em baixas concentrações e vermelho-acastanhada a concentrações elevadas. Tem um cheiro irritante, é relativamente tóxico e extremamente corrosivo. Provém principalmente das indústrias químicas e forma-se no processo de oxidação fotoquímico. A presença destes compostos reveste-se de importância pela sua participação nos fenómenos fotoquímicos que conduzem à formação do nevoeiro fotoquímico.

2.2.4. Hidrocarbonetos

Os hidrocarbonetos (HC) são um extenso grupo de compostos orgânicos que se caracterizam pela sua constituição, ou seja, apenas ligações entre carbono e hidrogénio, como por exemplo, o metano (CH_4), o etano (C_2H_6) e o etileno (C_2H_4). As emissões de hidrocarbonetos resultantes de atividades humanas devem-se sobretudo às combustões incompletas. As principais fontes de emissão são os transportes, a indústria petroquímica e o uso de solventes orgânicos (COV).

2.2.5. Ozono

O ozono O_3 é o mais importante dos oxidantes fotoquímicos. O mesmo existe em grande quantidade na estratosfera, onde absorve a radiação solar ultravioleta.
O ozono aparece nos níveis mais baixos da atmosfera principalmente, como resultado de reações químicas envolvendo NO_X, oxigénio (O_2) e radiação solar.

As reações infra exemplificam a formação do ozono:

$$NO_2 + hv \rightarrow O + NO$$
$$O + O_2 \rightarrow O_3$$

De salientar que o ozono também aparece devido às atividades agrícolas e pecuárias devido às emissões de compostos de azoto (ex: uso de pesticidas e adubos químicos) que, com a radiação solar, podem contribuir para o aparecimento de ozono.

2.2.6. Poluentes Perigosos

Além dos poluentes supra existem outros que, apesar de existirem em baixas concentrações, são particularmente prejudiciais à saúde e por isso são colocados numa categoria à parte. Entre estes poluentes contam-se os metais pesados como chumbo, cádmio, arsénio e níquel e uma série de compostos orgânicos, como as dioxinas e os furanos (poluentes cancerígenos).

2.2.7. Partículas em Suspensão

As partículas em suspensão ou partículas inaláveis ou finas, com diâmetro médio inferior a 10 microns (PM_{10}) ou 2,5 microns ($PM_{2,5}$), são produzidas em processos naturais e em atividades antropogénicas. De salientar que as partículas em suspensão são perigosas para a saúde humana devido a ser facilmente inaladas e acumularem-se nos pulmões.

3. Efeitos dos Poluentes Atmosféricos

Para se avaliar o efeito de um poluente importa atender a dois fatores essenciais: a sua concentração e tempo durante o qual o mesmo atua. Uma concentração muito alta durante um certo período pode ter efeitos extremos mas, uma concentração menos elevada que se mantenha durante um longo período pode implicar consequências negativas com maior significado. Independentemente do grau de poluição, as emissões de poluentes podem atingir diferentes proporções, desde uma escala local à global, dependendo de vários fatores como as condições meteorológicas e a constituição físico-química do próprio poluente.

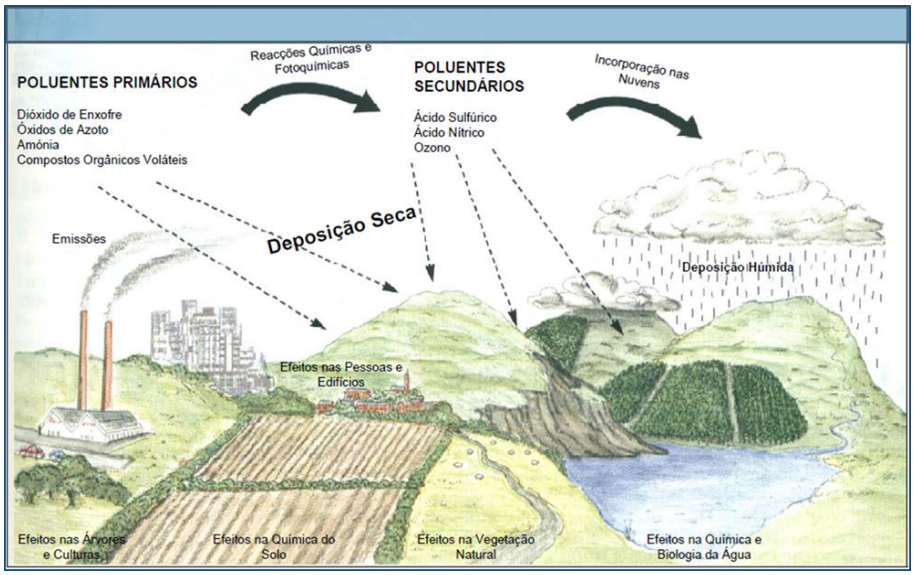


Fig.1 – Poluentes atmosféricos (Fonte: RGAR)

3.1 Efeitos na Atmosfera

Os poluentes podem alterar algumas das características físicas da atmosfera, nomeadamente a visibilidade e a cor. A redução da visibilidade é uma das consequências mais notadas da poluição do ar e deve-se à difusão da luz provocada pela presença de partículas em concentração elevada. O ozono, por exemplo, absorve a luz solar de diversos comprimentos de onda, alterando o espectro de radiação que chega ao solo. O NO_2, devido à sua cor alaranjada e o ácido sulfúrico (H_2SO_4), em tom azul, podem alterar a cor da atmosfera em zonas poluídas.

Fenómenos como o Efeito de Estufa e Nevoeiro Fotoquímico (*smog*) que se devem essencialmente à presença de gases poluentes na camada atmosférica levam ao aquecimento global e à formação de chuvas ácidas.

3.1.1 Efeito de Estufa

Fig. 2 – Processo de Efeito de Estufa

Fonte: http://www.rudzerhost.com/ambiente/estufa.htm

Durante o dia, parte da energia solar é captada e absorvida pela superfície da terra sendo outra parte refletida para a atmosfera. Os gases naturais que existem na atmosfera funcionam como uma capa protetora que impede a dispersão total do calor para o espaço exterior, evitando desta forma a perda de calor no período noturno. Certos gases como o dióxido de carbono (CO_2), criam uma espécie de teto, como o de uma estufa sobre a terra, deixando a luz do sol entrar e não deixando o calor sair. O efeito de estufa gerado pela natureza é, portanto, não apenas benéfico mas imprescindível para a manutenção da vida sobre a terra. No entanto, o aumento da quantidade de gases e outras substâncias poluentes (com destaque para o dióxido de carbono) lançados para a atmosfera pelas diversas atividades humanas tem vindo a aumentar o efeito de estufa com o consequente e indesejável aumento da temperatura na troposfera. Do aumento da temperatura resultam modificações no regime das precipitações e no ciclo natural da água bem como a fusão dos gelos nas zonas polares. As consequências já são sentidas nos ecossistemas terrestres e marinhos, com alterações na fauna e flora, a elevação do nível dos oceanos e a salinização das fontes de água doce.

3.1.2 Nevoeiro Fotoquímico

Nas zonas com elevada poluição, os produtos formam-se por oxidação dos reagentes razão pela qual, apesar de estarem no estado gasoso, atingem rapidamente o ponto de saturação. Neste caso, os compostos gasosos condensam-se para formar um aerossol (partícula em suspensão no ar), composto por partículas líquidas ou sólidas, chamado de *smog*. As partículas de *smog*

contêm ácidos, como o nítrico (HNO_3) e o sulfúrico (H_2SO_4), que se formam por oxidação do dióxido de azoto (NO_2) e de enxofre (SO_2), nitratos, sulfatos, metais, compostos de carbono e água.

Fig. 3 – Nevoeiro Fotoquímico (Fonte: REUTERS)

O *smog* é mais frequente nas zonas em que os seus precursores (compostos orgânicos voláteis e óxidos de azoto), apresentam uma elevada concentração, quer devido a elevadas emissões origem antrópica, quer à existência de condições meteorológicas propícias (exposição solar e inversão térmica). No entanto, o *smog* também é verificado em ambientes naturais, como por exemplo, em áreas cobertas por uma vegetação que origine a formação de uma grande quantidade de hidrocarbonetos. O nevoeiro fotoquímico é responsável pelo halo observado sobre as regiões mais poluídas e quando se verificam condições meteorológicas propícias, nomeadamente o aumento da temperatura, bem como condições topográficas e meteorológicas propícias.

3.2 Efeitos no Homem

O metabolismo dos seres humanos torna-os particularmente sensíveis aos poluentes atmosféricos.

A resposta fisiológica à presença de poluentes varia desde o incómodo e mal estar até graves perturbações nas funções vitais que podem conduzir a doenças crónicas e, eventualmente, à morte.

Quadro 1 – Efeitos dos principais poluentes atmosféricos na Saúde Humana

Poluente	Principal fonte	Efeitos principais para a saúde
Ozono	Transformação de óxidos de azoto e de compostos orgânicos voláteis produzidos pelo tráfego na presença de luz solar	Provoca problemas respiratórios, reduzindo a função pulmonar
		Agrava a asma
		Irrita os olhos e o nariz
		Reduz a resistência a infecções
Partículas	Queima de combustíveis — por exemplo, motores *diesel* e madeira Indústria	Provocam cancro
		Causam problemas cardíacos Estão na origem de doenças respiratórias
	Agricultura — por exemplo, lavoura, queimada de limpeza Reacções químicas secundarias	Aumentam o risco de mortalidade infantil
Dióxido de enxofre	Queima de combustíveis	Provoca problemas respiratórios
Dióxido de azoto	Veículos a motor	Provocam doenças respiratórias
	Outros processos de combustão de combustíveis	Afecta os tecidos
Monóxido de Carbono	Veículos a motor	Reduz a quantidade de oxigénio no sangue.
	Outros processos de combustão de combustíveis	Provoca fenómenos de asfixia

Fonte: Adaptado – "Comissão Europeia: Ar Puro para as Cidades da Europa, 1997".

3.3 Efeitos na Vegetação e Ecossistemas Naturais

Os efeitos negativos dos poluentes na vegetação podem ir desde reduções no crescimento ou nos teores de clorofila das folhas até à morte dos tecidos. Geralmente, os rebentos das plantas são extremamente vulneráveis ao SO_2 sobretudo se a humidade relativa for elevada. O pinheiro, as macieiras, o trigo e o algodão estão entre as plantas que são particularmente sensíveis a este poluente. Refira-se no entanto que nos solos pobres em enxofre a presença de SO_2 em baixas concentrações pode ter efeitos benéficos no crescimento das plantas. Outros poluentes com características fitotóxicas são o ozono, o ácido clorídrico e o flúor. O NO_2, por seu lado, raramente aparece em concentrações suscetíveis de causar danos às culturas. As partículas ao depositarem-se nas folhas podem interferir com a fotossíntese e, assim, prejudicar as plantas.

4. Fatores que influenciam a dispersão dos Poluentes Atmosféricos

Existem diversos fatores que influenciam a dispersão dos poluentes atmosféricos. No entanto realçam-se as condições meteorológicas como um dos fatores fundamentais na dispersão dos poluentes atmosféricos, podendo dizer-se que existem duas componentes principais:

- Componente vertical comandada pela turbulência gerada pelo gradiente vertical da temperatura ou Gradiente Térmico entre as camadas da baixa atmosfera;

- Componente horizontal em que o vento é o principal agente tanto no transporte como na mistura.

4.1. Direção e Velocidade do Vento

O vento é uma grandeza vetorial e, como tal, apresenta 3 componentes (x, y, z) sendo que a sua resultante determina a direção do vento em cada instante. A componente vertical do vento (z) é responsável pela turbulência enquanto que as outras componentes determinam essencialmente o transporte e a diluição das plumas de poluição. Em condições de grande estabilidade da atmosfera o transporte das plumas em altura pode ser feito a longas distâncias e levar a situações de concentrações de poluentes a nível do solo em locais onde não há fontes poluentes próximas (poluição transfronteiriça). A direção inicial do transporte de poluentes é determinada pela direção do vento medido no local da fonte, tal como a dispersão é determinada pela sua intensidade. Quanto maior for a sua intensidade do vento maior a dispersão dos poluentes.

4.2. Estabilidade Atmosférica

A estabilidade da atmosfera pode ser definida como a sua capacidade de resistir ou intensificar os movimentos verticais. Quando resiste a estes designa-se atmosfera estável, quando os intensifica designa-se por atmosfera instável e, quando é indiferente a qualquer tipo de movimento vertical é uma atmosfera neutra. Através do perfil de temperatura na vertical, podemos determinar o grau de estabilidade da atmosfera e cada tipo de estabilidade que irá proporcionar uma melhor ou pior dispersão dos poluentes. Condições instáveis ou convectivas ocorrem durante o dia, em dias de forte insolação, e proporcionam uma forte mistura vertical dos poluentes provocada por movimentos convectivos gerados pelo aquecimento solar da superfície. Condições neutras são caracterizadas pela ocorrência de um perfil vertical de temperatura adiabática, isto é, aproximadamente constante com a altura. Estas condições ocorrem durante as transições do dia para a noite e vice-versa, em dias nublados ou com fortes ventos (velocidades superiores a 6 m/s).
Condições estáveis são caraterizadas por um perfil super-adiabático, a temperatura aumenta com a altura. Ao elevar-se na atmosfera, a parcela de ar encontra ar circundante mais quente e tem tendência a descer. Nestas situações, com ventos fracos, qualquer movimento vertical é inibido e o poluente pode viajar até grandes distancias mantendo altas concentrações. Existem ainda situações onde o perfil de temperatura sofre uma inversão com a altura e por consequência a pluma é aprisionada nesta camada de inversão, impossibilitando a sua dispersão para altitudes mais elevadas. Na camada abaixo o perfil é instável e, desta forma, o poluente é dispersado em direção ao solo, o que implica níveis de concentração elevados ao nível deste.

A figura seguinte representa de uma forma esquemática os cenários de dispersão de poluentes em função do gradiente térmico.

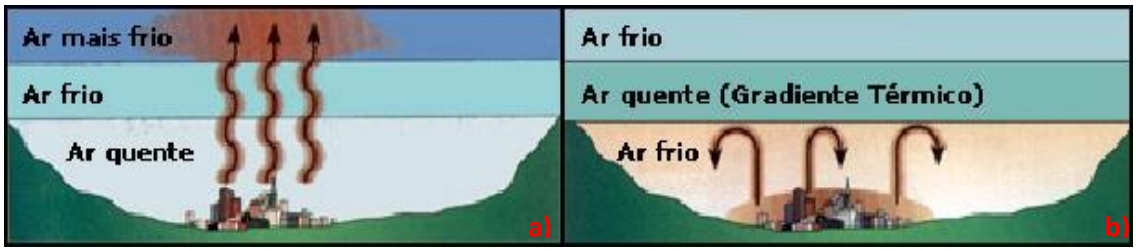


Fig. 4 **a)** Situação normal de dispersão dos poluentes atmosféricos.
b) Situação de dispersão dos poluentes atmosféricos sob o efeito de inversão térmica.

4.3. Circulação Geral da Atmosfera

Os processos atmosféricos e a circulação associadas aos grandes centros de ação determinam e afetam o estado do tempo sobre os continentes e grandes oceanos do globo. Aos centros de altas pressões denominados de anticiclones (representados pela letra A) estão associadas condições de tempo caracterizadas por grande estabilidade com pouca mistura vertical e portanto fraca dispersão dos poluentes. Aos centros de baixa pressão denominados de depressões (representados pela letra B) associam-se condições de instabilidade e de grande turbulência favorecendo a dispersão dos poluentes.

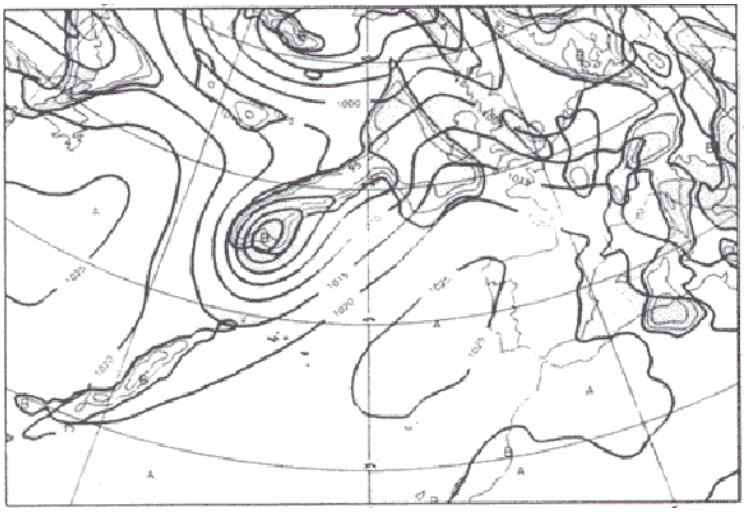


Fig. 5 – Circulação geral da atmosfera.

4.4. Circulação Local da Atmosfera

O aquecimento diferenciado dos solos e dos oceanos pela radiação solar, conduz a um aquecimento diferenciado das camadas de ar em contacto com essas superfícies, com duas consequências sobre o vento. Uma consequência de pequena escala são as brisas, de interesse nas regiões costeiras, e que estão ligadas à variação diurna/noturna da temperatura do ar. A outra consequência de grande escala são as monções, que atuam sobre grandes superfícies

terrestres e estão relacionadas com as variações de temperatura dos continentes e dos oceanos no Verão e no Inverno, nas regiões de monção.

Brisa Marítima

Junto à costa começa frequentemente a fazer-se sentir, no fim da manhã, um vento vindo do mar, que atinge o máximo no princípio da tarde e desaparece ao anoitecer. Este vento é mais forte nos dias quentes e de céu limpo, sendo mais fraco quando o céu está nublado. A causa fundamental do movimento do ar é a diferença de aquecimento entre as superfícies da terra e do mar sendo que, ao princípio da tarde se acentuam fazendo com que o gradiente de pressão local entre o mar e a terra se torne mais intenso, podendo o efeito da brisa marítima, fazer-se sentir segundo uma direção mais próxima da paralela à costa. Na figura seguinte podemos observar como se desenvolve a referida Brisa Marítima.

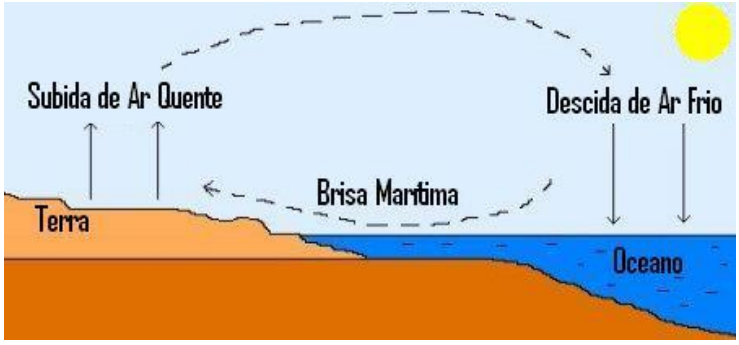


Fig. 6.1 – Representação esquemática de uma brisa marítima.

Brisa Terrestre

Nas regiões costeiras podem fazer-se sentir brisas à noite. Estas brisas sopram da terra para o mar, nas camadas inferiores, resultado de um arrefecimento, por irradiação, mais acentuado na superfície da terra do que nos oceanos adjacentes. As brisas de terra não são, em geral, tão fortes como as marítimas e isto deve-se a diferenças de aquecimento mais baixas, criando um gradiente de pressão local mais fraco. Na figura seguinte, podemos observar uma representação esquemática das brisas terrestres.

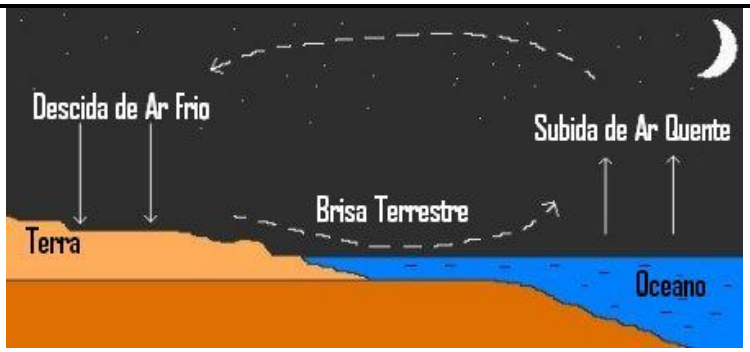


Fig. 6.2 – Representação esquemática de uma brisa terrestre.

Da análise geral das figuras 6.1 e 6.2, verifica-se que as brisas marítimas e terrestres possuem uma grande influência na variação temporal da qualidade do ar das regiões costeiras.

Brisas de Vale e de Montanha

Nas regiões montanhosas verificam-se sistemas de vento particulares. As encostas mais inclinadas e as partes mais estreitas dos vales são aquecidas pelo Sol de forma mais intensa que as vastas superfícies dos vales ou dos picos. Estas condições conduzem a brisas de vale durante o dia e brisas de montanha durante a noite.
Quanto mais estreito for o vale maior a inclinação das encostas e maior é a quantidade de ar em ascensão. O ar em movimento de subida é substituído pelo ar dos vales ou dos planaltos, com menor declive. Assim, o vento durante os dias surge habitualmente das partes mais baixas e sem declive. Como a denominação do vento está associado à sua origem, este denomina-se de brisa de vale.

Durante a noite, as encostas das montanhas arrefecem. Este ar frio desce a montanha por ação da gravidade, formando a brisa de montanha. Assim, ao amanhecer, o ar mais frio pode ser encontrado no vale. Se o ar contiver humidade suficiente, pode ainda formar-se nevoeiro no vale.

Na figura seguinte, podemos observar uma representação esquemática das brisas de vale (Figura 29 – A), bem como, das brisas de montanha (Figura 29 – B).

Fig. 7 **A**: Representação esquemática de uma brisa de vale.
B: Representação esquemática de uma brisa de montanha.

No que se refere às brisas de vale e de montanha, salienta-se que, estes fenómenos podem ser responsáveis pelo transporte de poluentes para zonas remotas onde aparentemente não existe poluição.

4.5. Topografia

A complexidade do terreno provoca grandes mudanças na direção e/ou velocidade do vento e nos fluxos turbulentos. Este fator limita a aplicação de modelos simples como os do tipo gaussiano, uma vez que dificilmente são encontradas condições de homogeneidade e estacionaridade. Terrenos complexos são aqueles onde elevações verticais são significativas a ponto de influenciar o escoamento atmosférico ao seu redor, não gerando recirculação, enquanto que terrenos planos são aqueles sem nenhum tipo de elevação na vertical, ou com elevações que não influenciam significativamente o escoamento, gerando recirculação.
As principais situações que podem contribuir para o aumento das concentrações em terreno complexo são, nomeadamente, o encontro de uma pluma com montanhas, a acumulação de poluentes em vales e o arrasto dos poluentes para centros urbanos por ação do vento.

5. Avaliação da qualidade do ar ambiente

5.1 Delimitação de zonas e aglomerações

Para efeitos de avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente na RAM, as zonas e aglomerações (áreas unidas com um número total igual ou superior a 100.000 habitantes e densidade populacional igual ou superior a 500 hab/km2) foram definidas tendo em conta o disposto na Diretiva Ar Ambiente. Esta delimitação pode ser revista de cinco em cinco anos, em

função dos resultados da avaliação da qualidade do ar ambiente e de alterações dos critérios que determinaram a sua delimitação.

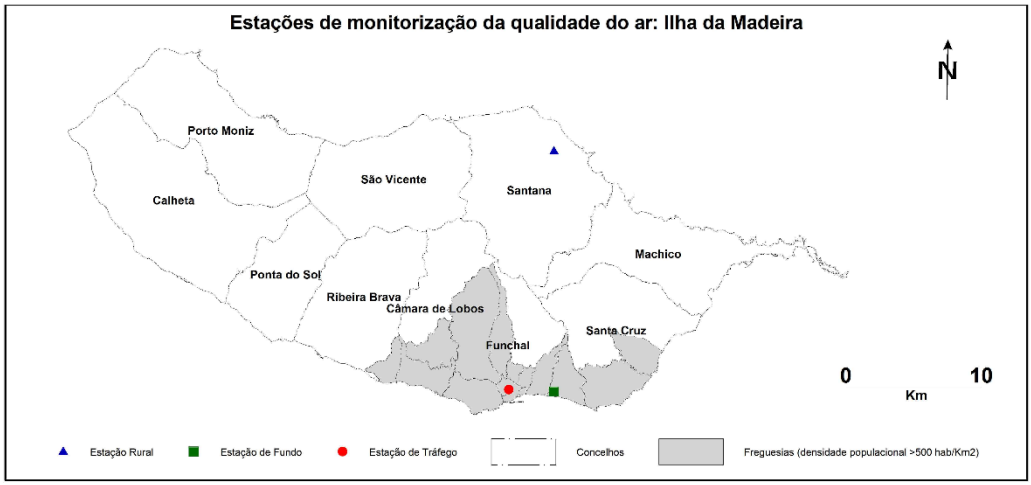


Fig. 8- Zona "Madeira/Porto Santo"/Aglomeração "Funchal".

Fonte: Direção Regional do Ordenamento do Território (DROTe)

As freguesias que constituem a Aglomeração "Funchal" são as infra e na qual foi tido em conta os dados do Censos 2011:

CONCELHOS	FREGUESIAS	DENSIDADE POPULACIONAL (Hab/Km2)	ANO
Câmara de Lobos	Quinta Grande	506,92	2011
Câmara de Lobos	Câmara de Lobos	2324,54	
Câmara de Lobos	Estreito de Câmara de Lobos	1304,92	
Funchal	Santo António	1235,42	
Funchal	São Martinho	3329,59	
Funchal	São Roque	1251,46	
Funchal	São Pedro	4881,7	
Funchal	Sé	694,76	
Funchal	Imaculado Coração de Maria	4569,71	
Funchal	Santa Luzia	4381,67	
Funchal	Santa Maria Maior	2744,79	
Funchal	São Gonçalo	933,25	
Santa Cruz	Caniço	1949,01	
Santa Cruz	Gaula	579,77	

5.2 Técnicas de Avaliação

A avaliação da qualidade do ar ambiente é efetuada usando uma ou mais das seguintes técnicas de avaliação:

a) Medições fixas usando métodos de referência;

b) Medições indicativas;

c) Modelação/Estimativas.

Para se aferir a aplicação dos regimes de avaliação a implementar para a avaliação da qualidade do ar ambiente foram definidos Limiares de Avaliação: Limiar Superior de Avaliação (LSA) e Limiar Inferior de Avaliação (LIA). Assim, os regimes de avaliação da qualidade do ar ambiente têm em consideração os seguintes critérios:

- Nas zonas e aglomerações em que os níveis de um poluente excedam os respetivos limiares superiores de avaliação (LSA), são efetuadas obrigatoriamente medições fixas para esse mesmo poluente;
- Nas zonas e aglomerações com níveis de poluentes situados entre o limiar superior de avaliação (LSA) e o limiar inferior de avaliação (LIA) pode ser efetuada a combinação de medições fixas e de técnicas de modelação e ou medições indicativas para avaliar a qualidade do ar ambiente;
- Nas zonas e aglomerações onde os níveis de poluentes forem inferiores ao limiar inferior de avaliação (LIA) podem ser usadas técnicas de modelação e ou de estimativa objetiva para avaliar a qualidade do ar ambiente.

5.3 Número de estações/analisadores e respetivos critérios de localização

As redes de medição da qualidade do ar ambiente são constituídas por analisadores cujo número e respetivos critérios de localização (micro e macroescala) obedecem ao disposto nos anexos do Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro, alterado e republicado pelo Decreto-Lei n.º 47/2017, de 10 de maio. As entidades gestoras das redes podem ainda complementar a avaliação da qualidade do ar recorrendo a estações móveis desde que as mesmas estejam munidas de analisadores que respeitem os requisitos da legislação.

6. Rede de Qualidade do Ar da RAM

No sentido da prevenção dos efeitos nocivos sobre a saúde humana e sobre o ambiente na sua globalidade, a Rede de Monitorização de Qualidade do Ar (RMQAr) da RAM, tem como objetivos: a avaliação da qualidade do ar, com base em métodos e critérios de medição comuns a todo o território nacional, a obtenção de informação adequada e também a disponibilização da informação ao público. A RMQAr foi criada no ano 2003, dando cumprimento, na altura, ao disposto no Decreto-Lei n.º 276/99, de 23 de julho, que definia as linhas de orientação da política de gestão da qualidade do ar e transponha para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 96/62/CE, do Conselho, de 27 de setembro, relativa à avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente.

Com a publicação da Diretiva 2008/50/CE, transposta pelo Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro, a RAM adequou a Rede por forma a dar cumprimento à Diretiva supra. Para tal, foi instalada a “Estação Rural” em Santana (estações Implantadas em localidades/zonas de pequenas dimensões e que possuam ecossistemas naturais, florestas ou culturas, fora da área de influência imediata de instalações industriais e infra-estruturas rodoviárias) na Zona

Madeira/Porto santo, mantendo-se as "Estação Urbana" em São Gonçalo (estações implantadas, nomeadamente, em zonas residenciais, espaços abertos, locais ventilados, e fora da área de influência das emissões locais devidas ao tráfego, estações de serviço, etc.) e "Estação de Tráfego" em São João (estações orientadas para o tráfego e instaladas a uma distância mínima de 25 m da esquina dos principais cruzamentos e, no máximo, a 10 m da berma da estrada) na Aglomeração Funchal.

Face ao exposto a Rede da RAM ficou munida com as seguintes Estações Fixas:

Figs. 9,10,11- RMQAr da RAM: a) Estação de São João; b) Estação de São Gonçalo; c) Estação de Santana

Com a publicação do Decreto-Lei n.º 47/2017, de 10 de dezembro, a RAM instalou nas estações supra, analisadores de monitorização da nova geração, dando cumprimento ao disposto no novo diploma.

As estações estão equipadas com analisadores que monitorizam em contínuo os poluentes e que são recolhidos por um software específico utilizado a nível nacional pelas entidades gestoras da qualidade do ar ambiente.

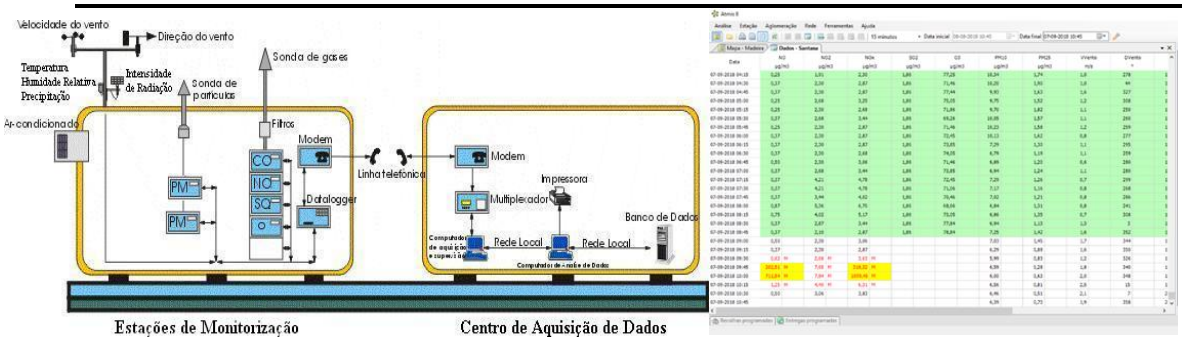


Fig. 12 –Sistema de recolha de dados (Fonte:APA,IP.)

7. Indice QUALAR

- Classes do Índice

O índice de qualidade do ar permite de uma forma fácil e compreensível o conhecimento do estado da qualidade do ar e face aos seus resultados, adequar comportamentos e ações no sentido da proteção da saúde humana, especialmente dos grupos mais sensíveis da população.

Os intervalos de classificação do índice têm sofrido ao longo do tempo algumas alterações, estando alinhados com os valores preconizados na legislação vigente de qualidade do ar, designadamente nos anos compreendidos entre 2001 e 2010, ano em que ficam inalteráveis os valores-limite, por já não haver para os poluentes em causa qualquer margem de tolerância aplicável.

No início de 2019 foi efetuada pela APA,IP. uma revisão da metodologia de cálculo do índice QUALAR, que passou a considerar valores mais restritivos em alguns intervalos das respetivas classes, decorrente do conhecimento mais aprofundado dos efeitos dos poluentes na saúde e da alteração do referencial para os valores recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS).

Quadro 2 – Classificação do Índice Nacional de Qualidade do Ar

Classificação	PM10	PM2.5	NO2	O3	SO2
Muito Bom	0-20	0-10	0-40	0-80	0-100
Bom	21-35	11-20	41-100	81-100	101-200
Médio	36-50	21-25	101-200	101-180	201-350
Fraco	51-100	26-50	201-400	181-240	351-500
Mau	101-1200	51-800	401-1000	241-600	501-1250

Nota: Todos os valores indicados estão em µg/m^3.

Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente (APA,IP)

- Método de cálculo do índice QualAr

O índice QualAr constitui uma classificação baseada nas concentrações de poluentes registadas nas estações de monitorização e representa a pior classificação obtida, traduzida numa escala de cores divididas em cinco classes, de "Muito Bom" a "Mau".

O cálculo é efetuado tendo por base as médias aritméticas dos poluentes medidos nas estações de qualidade do ar de acordo com os seguintes critérios:

Zonas - é obrigatória a medição dos poluentes ozono (O3) e partículas PM10 ou partículas PM2.5 (partículas de diâmetro igual ou inferior a 10 µm e 2.5 µm);

Aglomerações - é obrigatória a medição dos poluentes dióxido de azoto (NO2) e partículas PM10 ou partículas PM2.5 (partículas de diâmetro igual ou inferior a 10 µm e 2.5 µm), podendo incluir, quando disponível, o poluente SO2.

- Indice de qualidade do Ar

A classificação do índice QualAr, é disponibilizado segundo 2 níveis de informação, apresentado ao nível da:

Zona/aglomeração - o índice global numa determinada área resulta do pior resultado obtido em relação aos poluentes monitorizados nas estações existentes em cada área, sendo os poluentes com a concentração mais elevada os responsáveis pelo índice QualAr; ou

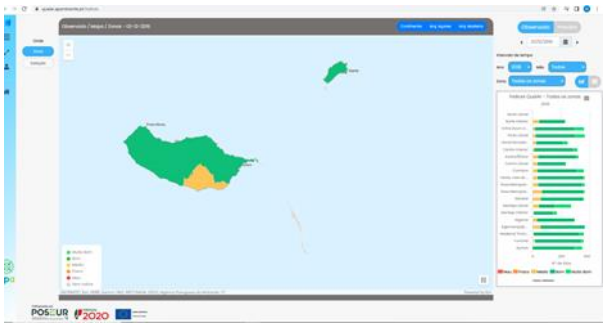


Fig. 13 – Indice Qualar por Zona e/ou Aglomeração (Fonte:APA,IP.)

Estação – é determinado o índice QualAr:

--> Global - resulta do pior resultado obtido em relação aos poluentes monitorizados, sendo os poluentes com a concentração mais elevada os responsáveis pelo índice QualAr;

--> Por Poluente - calculado para o NO2, O3, PM10 e PM2.5, para o próprio dia, resulta da comparação dos valores médios medidos mais recentes, com as gamas de concentrações associadas a uma escala de cores.

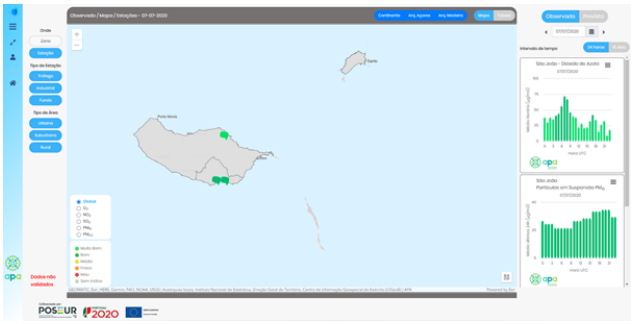


Fig. 14 – Indice Qualar por Estação (Fonte:APA,IP.)

Os 'balões' no mapa representam as localizações das estações de qualidade do ar. A cor atribuída corresponde ao índice QualAr observado, permitindo identificar o estado da qualidade do ar ao nível da estação.

8. Acesso do público à informação

- Informação Diária

Todas as estações efetuam a recolha dos dados de qualidade do ar e os mesmos são comunicados diariamente ao público através do Índice de Qualidade do Ar e que podem ser aferidos, nomeadamente, através ds link infra:

https://qualar.apambiente.pt/indices

- A informação relativa à qualidade do ar é recolhida, coordenada e amplamente divulgada, designadamente através de uma plataforma on line (gerida pela APA,IP). com dados diários por aglomerações/zonas.

Fig. 15 – Divulgação de informação ao público (Fonte: APA,IP)

- Informação Anual

Todos os anos a Agência Portuguesa do Ambiente (APA,IP) publica os dados relativos a todas as estações a nível nacional e a DRAAC publica os Relatórios relativos à Qualidade do Ar na RAM tendo como referência os limites de qualidade do ar definidos pela União Europeia. Os resultados são publicados nos sites das entidades supra e é dado conhecimento dos mesmos e respetivas conclusões, para efeitos de divulgação ao público.

Fig. 16 – Divulgação Anual de Informação ao Público sobre Qualidade do Ar

Fonte: https://qualar.apambiente.pt/estatisticas

- Previsão da Qualidade do ar:

Todos os dias a APA disponibiliza o Índice de Qualidade do Ar para o próprio dia e também a previsão da Qualidade do Ar para o dia seguinte que pode ser consultada através d link: https://qualar.apambiente.pt/indices

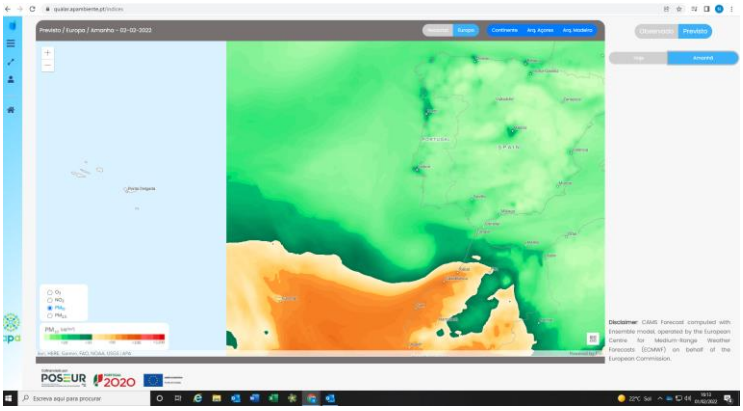


Fig. 17 – Previsão da Qualidade do Ar.

Qualidade do Ar na RAM

Evolução 2015-2019

Região Autónoma da Madeira
Governo Regional

Secretaria Regional
de Ambiente, Recursos Naturais
e Alterações Climáticas
Direção Regional do Ambiente
e Alterações Climáticas

9. Análise de resultados

O Decreto-lei n.º 102/2010, de 23 de setembro, com as respetivas alterações, define:

- Valores limite para a proteção da saúde humana para os poluentes dióxido de enxofre, dióxido de azoto, monóxido de carbono, e PM10;
- Limite Superior de Avaliação (LSA) e Limite Inferior de Avaliação (LIA) para a avaliação das concentrações de dióxido de enxofre, dióxido de azoto, óxidos de azoto, partículas em suspensão (PM10 e PM2,5) e monóxido de carbono no ar ambiente, no interior de uma zona ou aglomeração;
- Limiar de informação para o ozono e limiares de alerta para o dióxido de enxofre, dióxido de azoto e ozono;
- Níveis críticos para a proteção da vegetação para o dióxido de enxofre e óxidos de azoto;
- Valores alvo e objetivos a longo prazo para o ozono;
- Objetivo nacional de redução da exposição, o valor alvo e o valor limite para PM2,5.

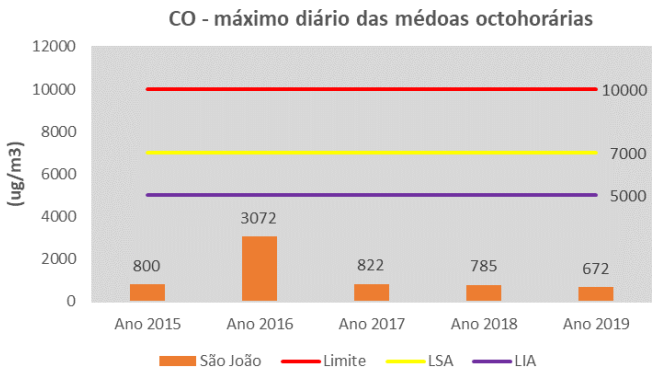
Neste sentido, foram comparadas as concentrações obtidas durante o período 2015 - 2019 com o supra descrito.

9.1. Monóxido de Carbono (CO): Proteção da saúde humana

O quadro seguinte indica o valor limite diário previsto para o poluente monóxido de carbono tendo em vista a proteção da saúde humana e os respetivos limiares de avaliação definidos no diploma supra. Este poluente é monitorizado apenas nas estações de tráfego atendendo a que foi aferido durante os últimos 20 anos concentrações de CO no ar ambiente muito baixas, facto pelo qual a CE pondera no futuro a desobrigação da monitorização em contínuo deste poluente, sendo apenas efetuada a modelação do mesmo.

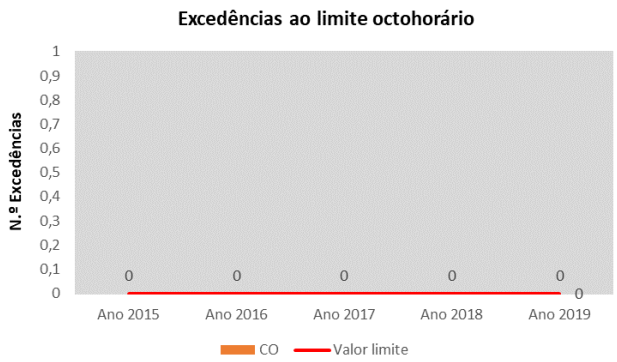
Quadro 3 – Monóxido de carbono (CO)

Período de referência	Limite EU (ug/m3)	Limiar superior de avaliação	Limiar inferior de avaliação
Máximo diário das médias de oito horas	10000		
Média horária por períodos de oito horas		7000	5000



Graf. 1– Monóxido de Carbono (CO)

Pela análise do gráfico supra verifica-se o cumprimento do valor limite definido para o poluente CO em todos os anos. Tendo em conta que nos cinco anos as concentrações máximas octo-horárias foram inferiores ao LIA, no futuro a monitorização em contínuo do poluente CO poderá ser substituída por modelação ou estimativas indicativas.



Graf. 2– CO: Excedências ao limte octohorário

A média octohorária mais elevada foi observada no ano 2016 e tal deve-se ao facto da ocorrência de incêndios no mês de agosto desse ano.

Fig. 18 – Fogos na RAM: agosto de 2016 (Fonte: NASA Goddard Rapid Response Team)

9.2. Dióxido de enxofre (SO2)

Os quadros seguintes indicam os limites para o poluente SO2 tendo em vista a proteção da saúde humana e ainda os níveis críticos para proteção da vegetação e ecossistemas naturais e respetivos limiares de avaliação definidos no diploma supra. De salientar que por as concentrações deste poluente serem muito baixas no ar ambiente, dá-se prioridade à monitorização deste poluente às estações urbanas/rurais por forma a se aferir o cumprimento dos limites para a proteção da saúde humana e níveis críticos de proteção da vegetação e ecossistemas naturais.

Quadro 4 – Dióxido de enxofre (SO2)

	Proteção da saúde humana			
Período de referência	Valor limite (ug/m3)	Limiar de alerta (ug/m3)	LSA - H (ug/m3)	LIA - H (ug/m3)
Uma hora	350 (*)	500 (***)		
Um dia	125 (**)		75 (i)	50 (ii)

Nota: (*) a não exceder mais de 24 vezes por ano civil.
(**) a não exceder mais de três vezes por ano civil.
(***) a medir em três horas consecutivas.
(i) a não exceder mais de três vezes em cada ano civil.
(ii) a não exceder mais de três vezes em cada ano civil.

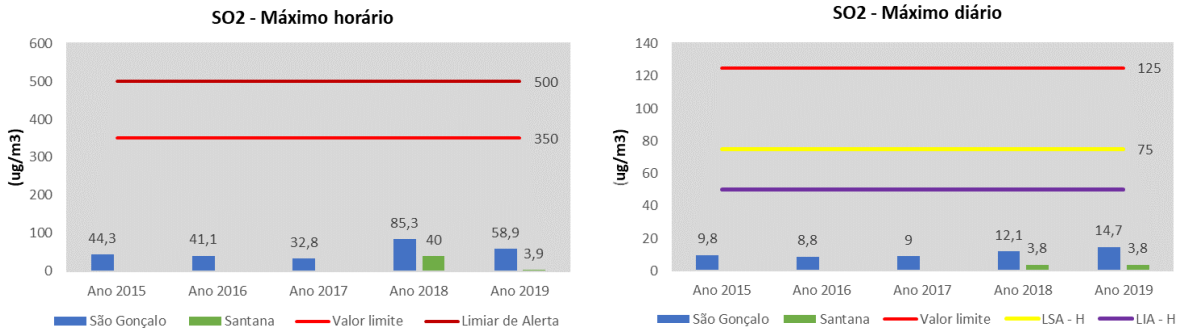
Quadro 5 – Dióxido de enxofre (SO2)

	Proteção da vegetação e ecossistemas naturais		
Período de referência	Nível Crítico (ug/m3)	LSA - V (ug/m3)	LIA - V (ug/m3)
Ano Civil	20		
Inverno (*)	20	12	8

Nota: (*) De 1 de outubro a 31 de março

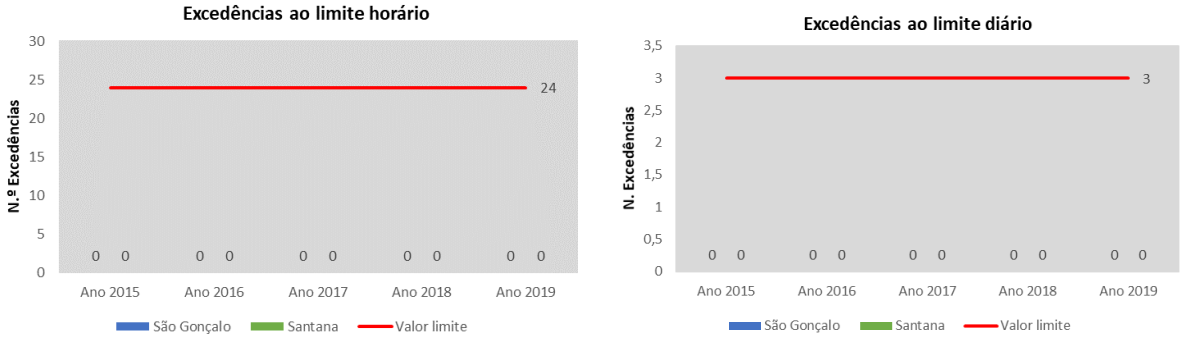
Nos gráficos infra apresentam-se os resultados do poluente SO2, comparando com os respetivos valores limite e limiares de avaliação definidos para a proteção da saúde humana e níveis críticos definidos para a proteção da vegetação e ecossistemas.

9.2.1 Proteção da saúde humana



Grafs. 3,4 – SO2: Máximos horários e diários no período 2015-2019.

Pela análise dos gráficos supra verifica-se em todos os anos o cumprimento dos limites definidos para o poluente SO2, relativos à proteção da saúde humana. Mais se verifica que todas as médias diárias encontram-se abaixo dos limiares (superior e inferior) diários de avaliação pelo que a monitorização em contínuo do poluente SO2 poderá ser substituída por modelação ou estimativas indicativas.

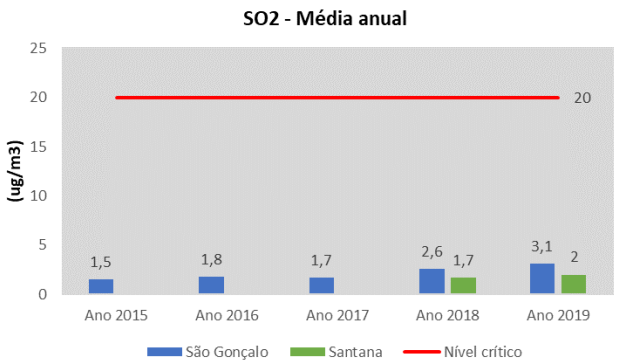


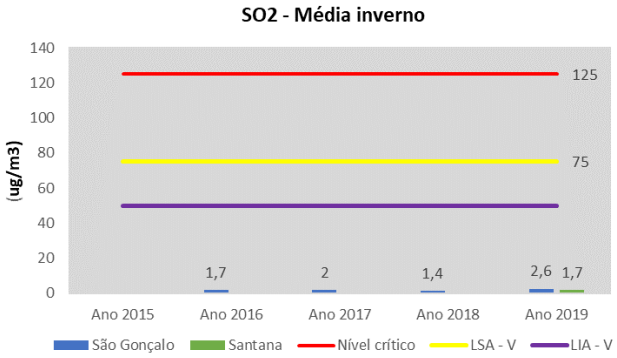
Grafs. 5,6 – SO2: Excedências aos limites horário e diário.

Verifica-se que no período em análise que não houve excedências aos limites horário e diário definidos no diploma.

9.2.2 Proteção da vegetação e ecossistemas naturais

O poluente SO2 possui dois níveis críticos (limites) para a proteção da vegetação e ecossistemas naturais: nível crítico anual e nível crítico de inverno, compreendido entre o período 1 de outubro do ano antecedente a 31 de março do ano em análise. Encontram-se igualmente definidos limiares Inverno de avaliação para a proteção de vegetação e ecossistemas naturais.





Grafs. 7,8– SO2: níveis críticos e limiares de avaliação (inverno) para proteção da vegetação e ecossistemas naturais no período 2015-2019

Pela análise dos gráficos e da tabela supra verifica-se o cumprimento dos níveis críticos definidos para o poluente SO2, relativo à proteção da vegetação e ecossistemas. Mais se verifica que a média de inverno encontra-se abaixo dos limiares (superior e inferior) de avaliação em todos os anos pelo que no futuro poderá ser ponderada a modelação ou estimativa indicativa do SO2.

9.3 Dióxido de azoto e óxidos de azoto

Os quadros seguintes indicam os limites para proteção da saúde humana, níveis críticos para proteção da vegetação e ecossistemas naturais e ainda respetivos limiares de avaliação para os poluentes NO2/NOx.

Quadro 6 –Dióxido de azoto (NO2)

	Proteção da saúde humana			
Período de referência	Valor limite (ug/m3)	Limiar de alerta (ug/m3)	LSA - H (ug/m3)	LIA - H (ug/m3)
Uma hora	200 (*)	400 (**)	140 (i)	100 (ii)
Ano civil	40		32	26

Nota: (*) a não exceder mais de 18 vezes por ano civil.
(**) a medir em três horas consecutivas.
(i) a não exceder mais de 18 vezes em cada ano civil.
(ii) a não exceder mais de 18 vezes em cada ano civil.

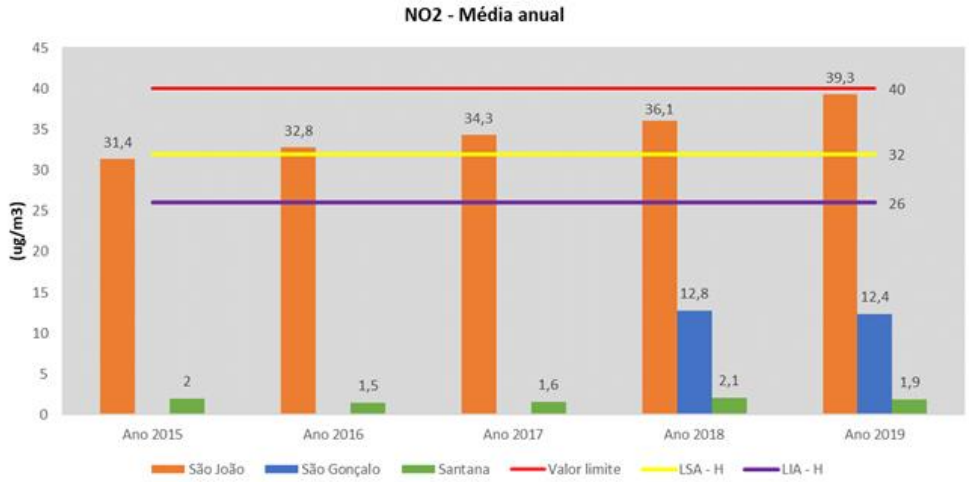
Quadro 7 –Óxidos de azoto (NOx)

	NOX - Proteção da vegetação		
Período de referência	Nível crítico (EU) (ug/m3)	LSA - V (ug/m3)	LIA - V (ug/m3)
Ano Civil	30	24	19,5

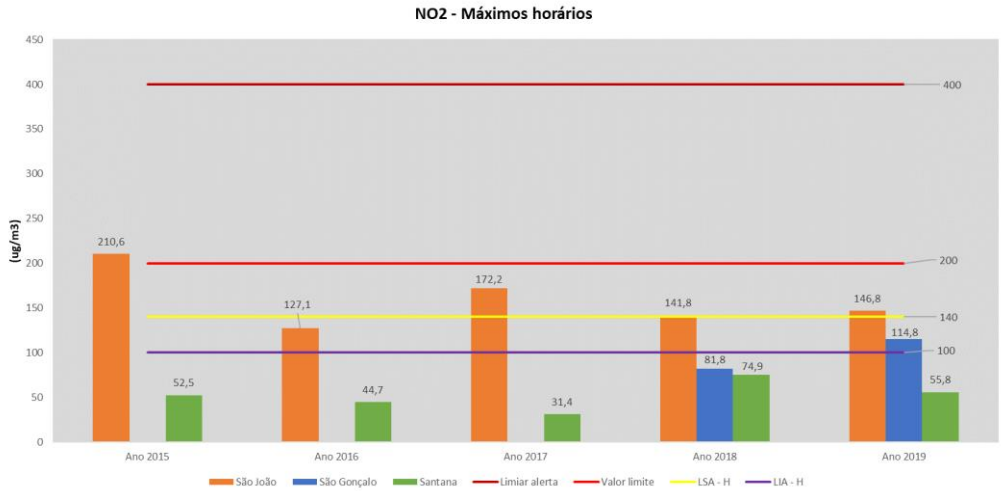
Nos gráficos infra apresentam-se os resultados, para os anos 2015-2019, dos poluentes NO2 e NOX, comparando com os respetivos valores limite e limiares de avaliação definidos para a proteção da saúde humana e da vegetação e ecossistemas naturais.

9.3.1 Dióxido de azoto (NO2): Proteção da saúde humana

O poluente NO2 possui dois limites para a proteção da saúde humana: um limite horário e um limite anual. De salientar que, em relação à proteção da saúde humana, encontra-se também definido para este poluente um limiar de alerta. Encontram-se igualmente definidos limiares horários e anuais de avaliação.



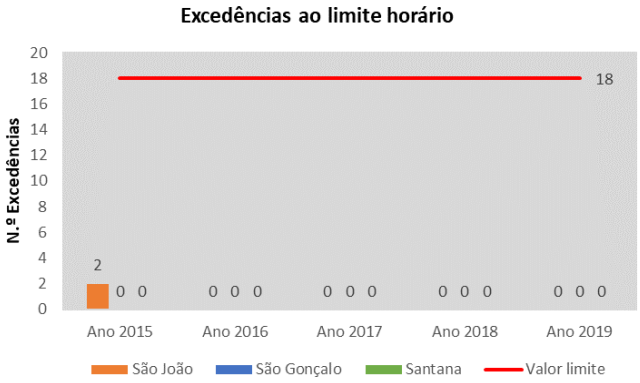
Graf. 9– NO2: limite anual e limares de avaliação para proteção da saúde humana para os anos 2015-2019



Graf. 10– NO2: limites horários e limares de avaliação e alerta para proteção da saúde humana para os anos 2015-2019

Pela análise dos gráficos supra verifica-se, em todas as estações da RAM o cumprimento dos limites anuais definidos para o poluente NO2, relativo à proteção da saúde humana. Verifica-se ainda no período 2015-2019 o aumento da média anual de NO2 na Estação de São João e um valor quase constante na Estação de Santana. Na Estação de São Gonçalo é prematura qualquer conclusão atendendo a que o analisador foi apenas instalado no ano 2018.

Em relação aos limiares de avaliação para proteção da saúde humana constata-se que a Estação de Santana encontra-se com concentrações inferiores aos LIA pelo que no futuro poderá ser ponderada a estimativa indicativa ou a modelação na mesma. O mesmo não se aplica à estação de São João atendendo a que a mesma obtém concentrações superiores ao LSA anual e horário, o que implica a obrigação de monitorização em contínuo.



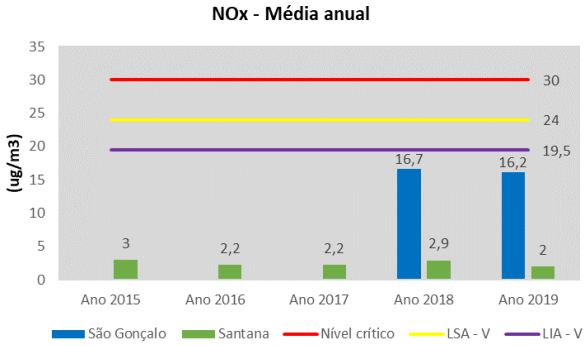
Graf. 11– NO2: Excedências ao limite horário

De salientar que no ano 2015 ocorreu a violação na Estação de São João em duas horas do limite horário definido para o NO2, sendo no entanto de salientar que a legislação permite, por ano, a violação do limite horário em 18 horas.

.

9.3.2 Óxidos de azoto (NOx): Proteção da vegetação e ecossistemas naturais

O poluente NOx, utilizado como referência para proteção da vegetação e ecossistemas naturais, possui um nível crítico (limite) anual e limiares anuais de avaliação. De salientar que tratando-se de proteção de vegetação e de ecossistemas, são aferidas as concentrações dos poluentes existentes nas estações de fundo, pelo que a análise é apenas efetuada nas estações de São Gonçalo e Santana.



Graf. 12– NOx: nível crítico e limiares de avaliação para proteção da vegetação e ecossistemas naturais no período 2015-2019

Pela análise do gráfico supra verifica-se o cumprimento no ano período 2015-2019 dos níveis críticos tendo em vista a proteção da vegetação e ecossistemas naturais. Em relação aos limiares de avaliação constata-se que as Estações de São Gonçalo e Santana encontram-se com concentrações inferiores aos LIA. Assim e em relação à Estação de Santana poderá ser ponderada a estimativa indicativa ou a modelação do poluente NOx.

9.4 Ozono (O3)

Os quadros seguintes indicam o Valor Alvo, Objetivo a Longo Prazo e limiares de informação/alerta para o poluente O3 tendo em vista a proteção da saúde humana e da vegetação e ecossistemas naturais.

Quadro 8 –Ozono (O3)

	Proteção da saúde humana			
ríodo de referê	Valor Alvo (ug/m3)	Obj. Longo prazo (ug/m3)	Limiar de informação (ug/m3)	Limiar de alerta (ug/m3)
Máximo diário média octoho	120 (i)	120 (*)		
Uma hora			180	240 (ii)

(*) prazo não definido.
(i) a não exceder mais de 25 dias, em média, por ano civil, num período de três anos.
(ii) a excedência do limiar deve ser medida ou estimada durante três horas consecutivas.

Quadro 9 – Ozono (O3)

	O3 - Proteção da vegetação	
Período de referência	Valor Alvo AOT40 (ug/m3.h)	Obj. Longo prazo (*) AOT40 (ug/m3.h)
De maio a julho	18000 (i)	6000

Nota: (*) prazo não definido.
(i) em média, num período de cinco anos.

Sobre os quadros supra salienta-se que, para a verificação dos valores alvo para proteção da saúde humana e da vegetação e ecossistemas naturais, se não for possível determinar a médias de períodos de três ou cinco anos com base num conjunto completo e consecutivo de dados anuais, os dados anuais mínimos necessários à verificação da observância dos valores alvo são os seguintes:

- Valor alvo para a proteção da saúde humana: dados válidos respeitantes a um ano;
- Valor alvo para a proteção da vegetação: dados válidos respeitantes a três anos.

De salientar ainda que a determinação do parâmetro AOT40 encontra-se definida no diploma. Nos casos em que não se encontrem disponíveis todos os dados possíveis de medir, deve utilizar-se o seguinte fator para o cálculo dos valores AOT40:

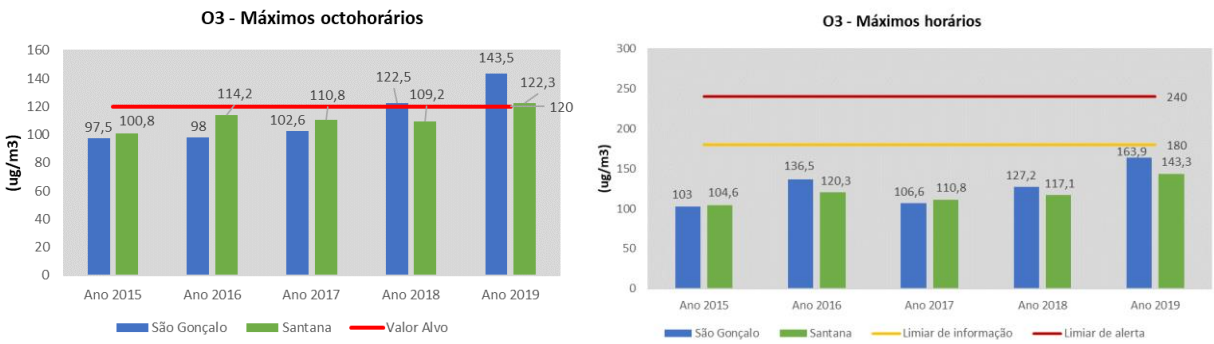
$$AOT40_{estimado} = AOT40_{medido} * (n.^{o}\ total\ horas\ possível(*)/n.^{o}\ de\ valores\ horários\ medidos)$$

(*) Número de horas do período de definição do parâmetro AOT40 (das 8 às 20 horas TEC de 1 de maio a 31 de julho, para proteção da vegetação, e de 1 de abril a 30 de setembro, para proteção das florestas).

Nos gráficos infra apresentam-se os resultados, para o período 2015-2019 do poluente O3, comparando com os respetivos valores alvo/objetivos a longo prazo, limiares de informação e de alerta definidos para a proteção da saúde humana e da vegetação e ecossistemas naturais.

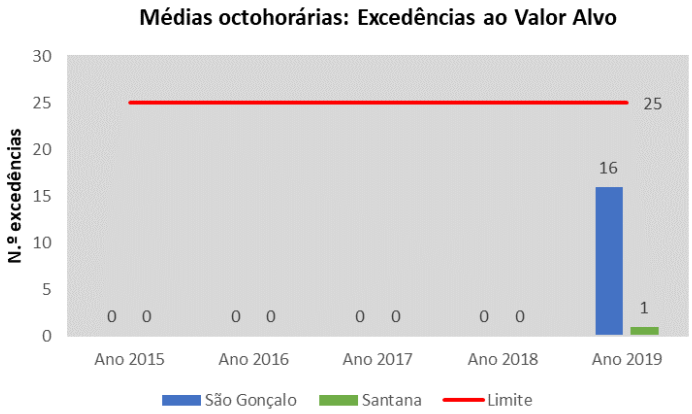
9.4.1. Proteção da saúde humana

De seguida apesentam-se os gráficos com os resultados obtidos no período 2015-2019:



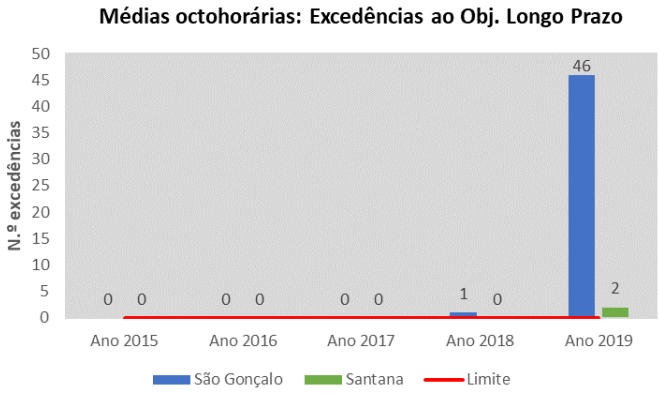
Grafs. 13,14– O3: Valor Alvo e limares de informação e alerta para proteção da saúde humana no período 2015-2019

i) Valor Alvo definido desde 2010:



Graf. 15– O3: Excedências ao Valor Alvo no período 2015-2019

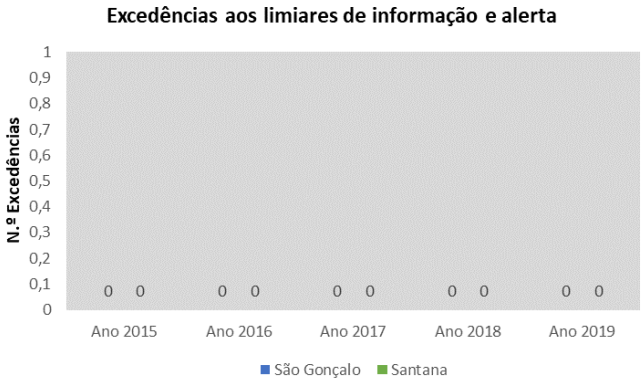
Ii) Objetivo a Longo Prazo (prazo não definido):



Graf. 16– O3: Excedências ao Objetivo de Longo Prazo no período 2015-2019

Dos gráficos acima apresentados verifica-se o cumprimento do número de excedências definidas para o Valor Alvo (VA) definido para o poluente ozono. Em relação ao Objetivo ao Longo Prazo (OLP) verifica-se ainda que nos anos 2018 e 2019 foi ultrapassado na Estação de São Gonçalo o número de excedências definido para este poluente. No ano 2019 foi ultrapassado na Estação de Santana o número de excedências definido para este poluente. No entanto é de salientar que o OLP não tem prazo definido para cumprimento do mesmo.

Mais se verifica que nos cinco anos não foi atingido o Limiar de Informação e o Limiar de Alerta para o poluente ozono.

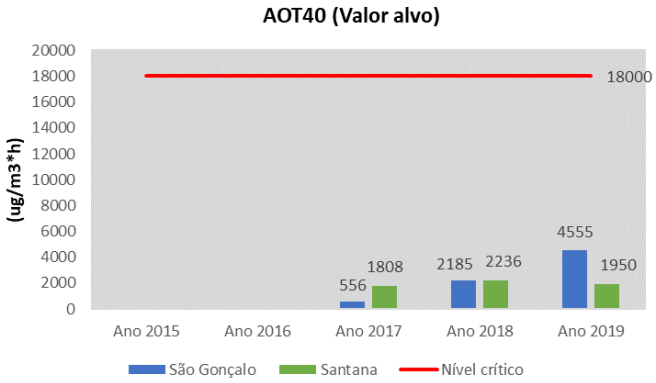


Graf. 17– O3: Excedências aos Limiares de Informação e Alerta no período 2015-2019

9.4.2 Proteção da vegetação e ecossistemas naturais

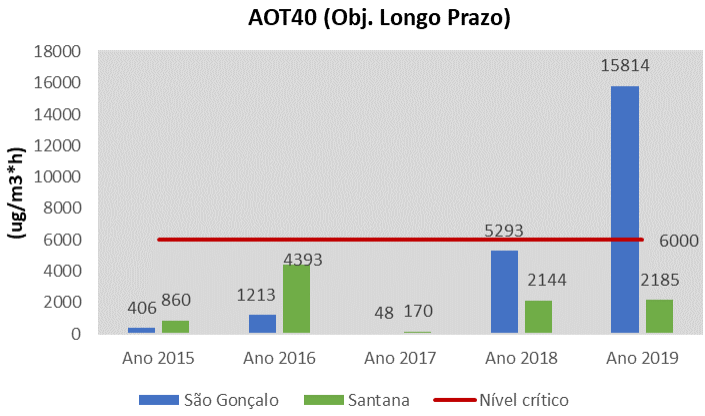
Para a proteção da vegetação e dos ecossistemas utiliza-se o denominado «AOT40» expresso em (µg/m3)·horas, que designa a soma da diferença entre as concentrações horárias superiores a 80 µg/m3 (40 partes por bilião) e o valor 80 µg/m3 num determinado período, utilizando apenas os valores horários medidos diariamente entre as 8 e as 20 horas, tempo da Europa Central (TEC).

i) Valor Alvo definido desde 2010:



Graf. 18– O3: Valor Alvo (VA) para proteção da vegetação e ecossistemas naturais.

Ii) Objetivo a Longo Prazo (prazo não definido):



Graf. 19– O3: Objetivo a Longo Prazo (OLP) para proteção da vegetação e ecossistemas naturais.

Dos gráficos supra verifica-se o cumprimento do Valor Alvo (VA) para a proteção da vegetação e ecossistemas naturais. Verifica-se ainda a violação do Objetivo a Longo Prazo (OLP), na Estação de São Gonçalo, no ano 2019. No entanto é de salientar que o OLP não tem prazo definido para cumprimento do mesmo.

9.5 Partículas em suspensão (PM10 / PM2,5)

9.5.1 Partículas PM10: Proteção da saúde humana

O Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro, alterado e republicado pelo Decreto-Lei n.º 47/2017, de 10 de maio, foi transposto tendo em conta critérios de eficiência e de simplificação incluindo vários elementos chave. Nele encontram-se, nomeadamente, vários objetivos ambientais em termos das concentrações de material particulado (partículas PM10 e PM2,5) na atmosfera, incluindo a possibilidade de se efetuarem descontos, devido a fontes naturais de poluição, aquando da avaliação de conformidade em relação aos valores limite. O valor limite corresponde ao nível de poluentes na atmosfera cujo valor não pode ser excedido, durante períodos previamente determinados, com o objetivo de evitar, prevenir ou reduzir os efeitos nocivos na saúde humana e/ou no meio ambiente.

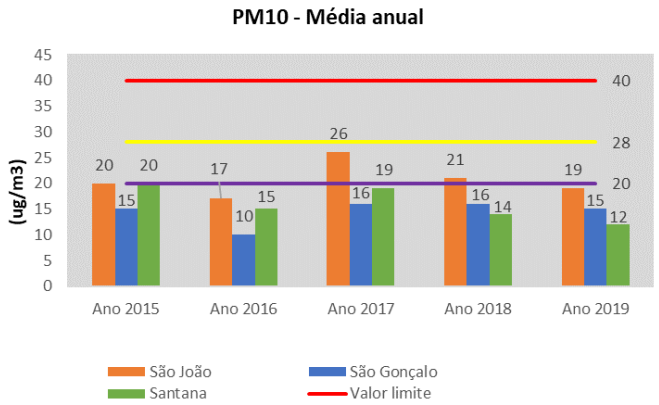
O quadro infra apresenta os limites e limiares de avaliação para o poluente PM10 tendo em vista a proteção da saúde humana.

Quadro 10 – PM10: proteção da saúde humana

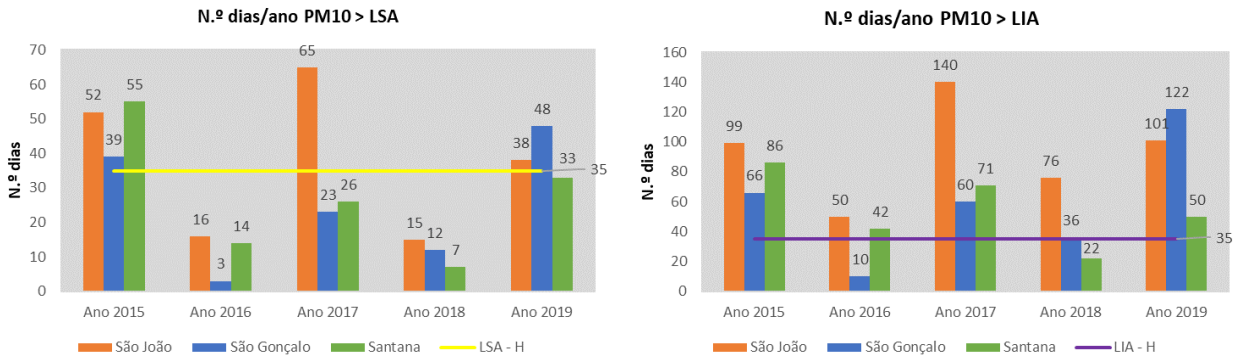
	PM10 - Proteção da saúde humana		
Período de referência	Valor limite (ug/m3)	LSA - H (ug/m3)	LIA - H (ug/m3)
Um dia	50 (*)	35 (*)	25 (*)
Ano civil	40	28	20

Nota: (*) a não exceder mais de 35 vezes por ano civil.

Os resultados para o poluente PM10 tendo em vista a proteção da saúde humana são infra apresentados.



Graf. 20 - PM10: médias anuais e limiares anuais de avaliação para a proteção da saúde humana no período 2015-2019

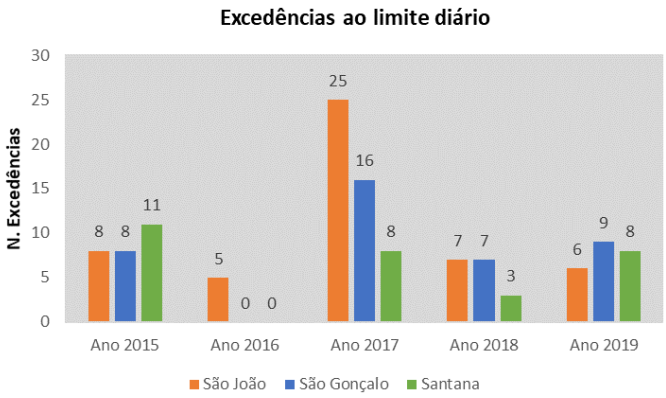


Grafs. 21,22 - PM10: n.º anual de violações aos limiares de avaliação (inferior e superior) para a proteção da saúde humana no período 2015-2019

Dos gráficos supra verifica-se que na Estação de São João deverá ser efectuada a monitorização em contínuo atendendo a que em três dos cinco anos, é ultrapassado em mais de 35 vezes o n.º de dias em que as médias diárias são superiores ao LSA. Na Estação de São Gonçalo, em três dos cinco anos verifica-se um número inferior a 35 vezes o n.º de dias em que as médias diárias situam-se entre os LSA e o LIA pelo que pode ser efetuada a combinação de medições fixas e

de técnicas de modelação e/ou medições indicativas para avaliar a qualidade do ar ambiente. Na Estação de Santana, em quatro dos cinco anos verifica-se um número inferior a 35 vezes o n.º de dias em que as médias diárias situam-se entre os LSA e o LIA pelo que pode ser efetuada a combinação de medições fixas e de técnicas de modelação e ou medições indicativas para avaliar a qualidade do ar ambiente.

Em relação às médias anuais verifica-se que nas Estações de São Gonçalo e Santana as mesmas são muito baixas, atingindo valores inferiores ao LIA.



Graf. 23– Número de violações total ao limite diário de PM10 (fonte UNL)

Do gráfico supra observa-se o número total de violações ao limite diário de PM10. No entanto nestas violações encontra-se incluída a fração natural (ventos de leste) pelo que para a comparação com o respetivo limite legal deve ser efetuada a respetiva "Correção NAT", ou seja, efetuar a análise da fração natural e da fração antropogénica no valor total das concentrações quando é verificada a ocorrência de um evento natural.

9.5.1.1 PM 10 – Correção NAT

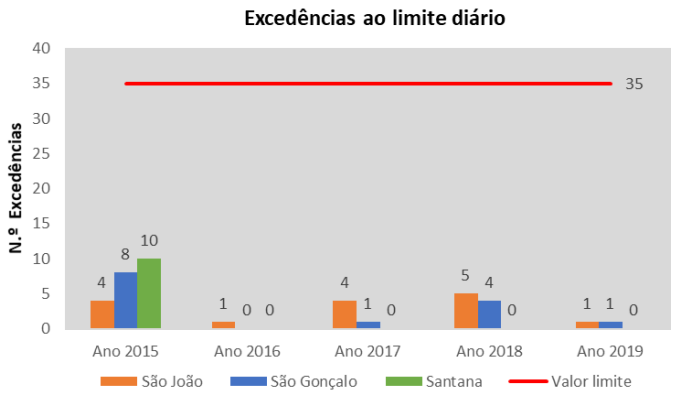
A avaliação da contribuição de poluentes provenientes de fontes naturais, nos níveis de qualidade do ar, está prevista pelo enquadramento legal nacional e comunitário. O Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro, estabelece que *"as contribuições provenientes de fontes naturais poderão ser avaliadas, mas não evitadas. Por conseguinte, aquando da avaliação do respeito dos valores limite relativos à qualidade do ar, é permitido deduzir as contribuições naturais de poluentes para o ar ambiente, caso estas possam ser determinadas com um grau de certeza suficiente e as excedências sejam devidas total ou parcialmente a estas contribuições naturais."* Consideram-se, segundo o mesmo diploma legal, contribuições provenientes de fontes naturais as *"emissões de poluentes que não são causadas direta nem indiretamente por atividades humanas, onde se incluem catástrofes naturais como erupções vulcânicas, atividade sísmica, atividade geotérmica, incêndios florestais incontrolados, ventos de grande intensidade*

ou a ressuspensão ou transporte atmosférico de partículas naturais provenientes de regiões secas."

No âmbito do reporte anual à Comissão Europeia (Decisão 2011/850/CE), os Estados-Membros indicam as causas das excedências ao valor limite de PM10, identificando a contribuição devida a fontes de emissão naturais. Quando a Comissão Europeia é informada da existência de uma excedência ao valor limite imputável a fontes naturais, essa excedência não é considerada como tal para efeitos de avaliação de conformidade legal. A DRAAC elabora a lista onde as excedências aos valores limite de um determinado poluente são imputáveis a fontes naturais, em conformidade com determinadas metodologias, e reporta essa informação à APA. Esta, por sua vez, transmite essa informação à Comissão Europeia, incluindo os elementos relativos à dedução da contribuição de fontes naturais com as respetivas evidências que demonstrem a sua atribuição a fontes naturais.

O Conselho da União Europeia disponibilizou em 2011 (CUE, 2011) uma publicação onde se estabelecem diretrizes para a demonstração e dedução de excedências atribuídas a fontes naturais no âmbito da Diretiva 2008/50/CE. Relativamente à avaliação dos eventos com origem nos desertos Norte Africanos tem vindo a ser aplicada uma metodologia conjunta desenvolvida e coordenada pela equipa do *Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera* (CSIC, Barcelona) com a participação do Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da FCT/UNL, resultando de um convénio Luso-Espanhol de colaboração entre os respetivos ministérios que tutelam a pasta do Ambiente. Esta metodologia permite identificar as violações por fatores naturais e as violações por fatores antropogénicos.

- Excedências diárias por fatores antropogénicos



Graf. 24– Número de excedências ao limite diário de PM10 por fatores antropogénicos (fonte FCT/UNL)

Do gráfico supra verifica-se que em todos os anos e em todas as Estações é cumprido o número de excedências diárias previsto no diploma (35 vezes por ano).

9.5.2 Partículas PM 2,5: Proteção da saúde humana

As PM 2,5 são provenientes da combustão incompleta em atividades industriais, transportes e setores de comércio/serviços, doméstico e fogos florestais, cujas partículas podem ser transportadas até centenas de quilómetros das regiões de ocorrência do fogo. Especialistas em saúde têm vindo a alertar para as partículas PM2,5 atendendo a que este poluente foi o quinto fator de causa de morte no mundo em 2015, com cerca de 4,1 milhões de mortes anuais. Pesquisas científicas referem que o poluente PM2,5 causa mais mortes e doenças do que todas as outras exposições ambientais juntas.

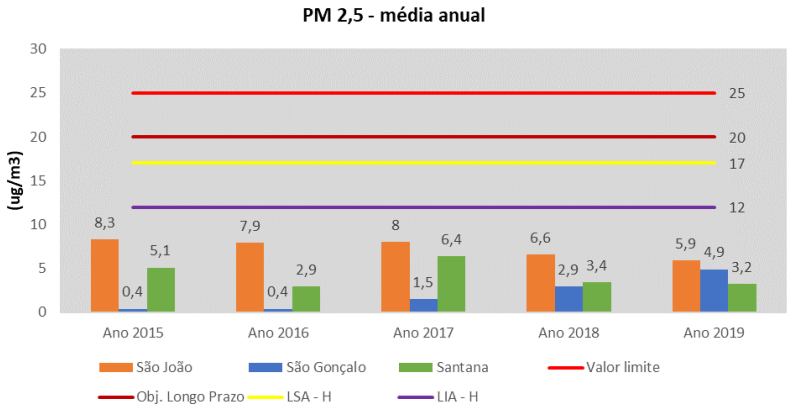
O quadro infra apresenta os limites e limiares de avaliação para o poluente PM2,5 tendo em vista a proteção da saúde humana.

Quadro 11 – PM 2,5: proteção da saúde humana

	PM2,5 - Proteção da saúde humana			
Período de referência	Valor limite (ug/m3)	Obj. Longo Prazo (ug/m3)	LSA - H (ug/m3)	LIA - H (ug/m3)
Ano civil	25	20 (*)	17	12

Nota: (*) ano civil 2020

9.5.2.1 Proteção da saúde humana



Graf. 25– PM 2,5: médias diárias/anuais e limiares (superior e inferior) de avaliação para a proteção da saúde humana no período 2015-2019

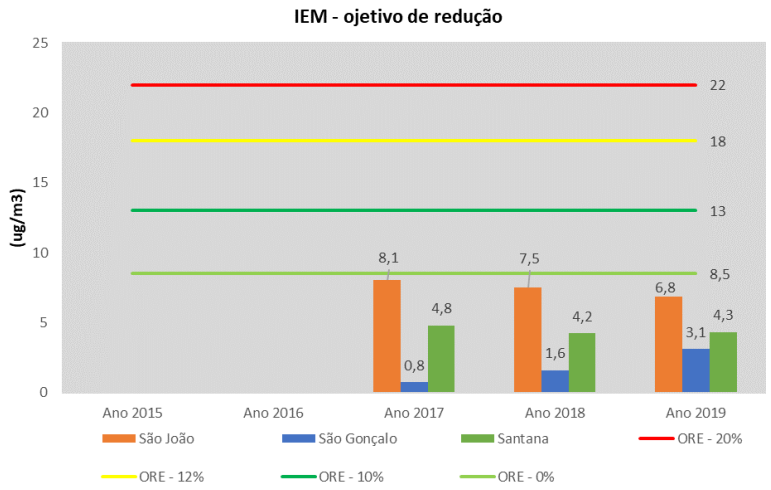
Do gráfico e quadro supra verifica-se, em relação ao poluente PM 2,5, o cumprimento em todas as estações e em todos os anos do limite anual e do objetivo a longo prazo (OLP) para a proteção da saúde humana. Mais se verifica que a média anual em todas as Estações é inferior ao LIA pelo que a monitorização deste poluente poderá ser substituída por modelação ou estimativas indicativas.

9.5.2.2 Indicador da exposição média (IEM)

O indicador (IEM) é avaliado anualmente como uma concentração média deslizante trianual de todos os pontos de amostragem estabelecidos nos termos da parte B do anexo VI do diploma. Assim, como exemplo, o IEM para o ano de 2019 corresponde à concentração média de três anos civis consecutivos, determinada em relação a todos os pontos de amostragem para os anos de 2017, 2018 e 2019.

Quadro 12 – PM 2,5: IEM

IEM - objetivo de redução		
Concentrações iniciais (ug/m3)	Objectivo de redução (%)	Ano Alvo
< = 8,5	0	2020
> 8,5 e < 13	10	
13 e < 18	12	
18 e < 22	20	
≥ 22	Todas as medidas para alcançar os 18 ug/m3	



Graf. 26 – PM2,5: objetivo de redução para proteção da saúde humana

Do gráfico e quadro supra verifica-se, em relação ao poluente PM 2,5, que em todas as Estações obtém-se concentrações anuais inferiores a 8,5 ug/m3. Face ao exposto a percentagem de redução para o poluente PM2,5 é de 0%.

10. Discussão dos resultados

O presente relatório visou avaliar e caracterizar a qualidade do ar na Região Autónoma da Madeira no período 2015-2019, tendo em vista a proteção da saúde humana e da vegetação e ecossistemas naturais.

Todos os dados utilizados foram recolhidos através de medições em contínuo efetuadas pelos analisadores existentes nas três estações que fazem parte da RMQAR. O tratamento e a análise de dados foram efetuados de acordo com os parâmetros definidos na legislação em vigor.

Da análise dos dados verifica-se, no período em análise:

- o cumprimento dos limites horários, octo-horários, diários e anuais definidos para os poluentes tendo em vista a proteção da saúde humana;
- o cumprimento dos níveis críticos, definidos para a proteção da vegetação e ecossistemas naturais;
- o cumprimento dos valor alvo tendo em vista a proteção da saúde humana e da vegetação e ecossistemas naturais.

11. Conclusão

No decorrer do período 2015- 2019 foram cumpridos os valores limite para todos os poluentes em todas as estações da RAM.

Este facto não é impeditivo de que se continue a trabalhar para diminuir ou manter essas concentrações em níveis baixos, atendendo sempre aos valores-alvo e objetivos a longo prazo.

A qualidade do ar, cada vez mais assume um papel de importância no bem estar e na qualidade de vida da população em geral, e é cada vez mais tida em conta por turistas na escolha dos seus destinos de férias, pelo que, a divulgação dos resultados apurados poderá contribuir para elucidar os cidadãos e os turistas da boa qualidade do ar regional.