

*Laboratório Regional de Engenharia Civil  
Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira  
Câmara Municipal do Funchal*

**PROJECTO ISIS**  
**Sistema Integrado para a Implementação de Sustentabilidade**

**CASO DE ESTUDO SOBRE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA  
FUNCHAL**

**Funchal, Dezembro 1996**

---

**Programa LIFE , CE - DGXI**  
LIFE93/UK/A.1.5.3./UK/3109  
LIFE94/UK/A151/UK/01702/MLTRG

## Índice

<b>1. Introdução.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Enquadramento Geral .....</b>	<b>4</b>
2.1. Alguns Dados Físicos e Demográficos da cidade do Funchal .....	4
2.2. O Plano Director Municipal - Orientações para o Planeamento do Uso do Solo .....	5
2.3. Tráfego .....	6
2.4. Política de Gestão de Tráfego.....	6
2.5. Enquadramento Legal - Legislação Portuguesa sobre Qualidade do Ar .....	7
2.6. Situação Actual da Avaliação da Qualidade do Ar no Funchal .....	8
<b>3. Caso de Estudo.....</b>	<b>9</b>
3.1. Testes com Metodologias de Baixo Custo.....	9
3.1.1. Tubos Difusores.....	9
3.1.1.1. Locais de Amostragem .....	9
3.1.1.2. Programas de Vigilância.....	10
3.1.2. Testes com o “Bonsai” .....	16
3.2. Modelação Matemática.....	16
<b>4. Conclusões.....</b>	<b>18</b>
<b>Bibliografia</b>	

## 1. Introdução

O presente caso de estudo faz parte integrante do projecto ISIS, um projecto de cooperação entre quatro cidades europeias, com o apoio do Programa LIFE. As cidades envolvidas são Funchal, Huddersfield, Berlim e Copenhaga, respectivamente em Portugal, Reino Unido, Alemanha e Dinamarca.

Um dos sectores que mais influencia a qualidade do ambiente urbano e qualidade de vida da população é o dos transportes, pelos impactes que produz aos mais diversos níveis, designadamente na qualidade do ar, ruído, consumo de energia, usos do solo, saúde e segurança das populações. Apesar do avanço da tecnologia no campo da redução das emissões de poluentes para a atmosfera, este sector é ainda responsável pela maior parte das emissões gasosas, nas zonas urbanas.

A introdução de novos catalisadores tem contribuído significativamente para a redução de alguns poluentes, designadamente os óxidos de azoto, hidrocarbonetos e monóxido de carbono. Contudo, esta situação é de alguma forma contrariada pelas tendências evolutivas do parque automóvel.

Apesar das características específicas da R.A.M. (território fechado, sem possibilidade de acesso terrestre), os problemas que se fazem sentir a nível comunitário, não constituem aqui excepção. Registando um desenvolvimento rápido nos últimos 15 anos, a cidade do Funchal tem vindo a assistir a um agravamento das condições de circulação, especialmente no centro da cidade, traduzidos por uma perda de mobilidade e aumento dos níveis de poluição atmosférica.

Orientações recentes da União Europeia têm-se concentrado na necessidade de implementar uma política de desenvolvimento sustentável, com especial realce para as áreas urbanas. O crescente interesse pela integração das componentes ambientais, como factores condicionantes ao seu crescimento e estruturação, por forma a garantir um desenvolvimento sustentável, tem sido acompanhado pela necessidade de desenvolver processos de medição dos parâmetros de qualidade do ambiente urbano.

A escolha, desenvolvimento e implementação de indicadores de sustentabilidade que permitam uma visão global do estado do ambiente e condições de sustentabilidade, reveste-se de particular importância para qualquer comunidade. É ainda de todo o interesse que estas ferramentas possam ser aplicadas em diversas regiões com características distintas e graus de desenvolvimento económico e social também distintos, possibilitando procedimentos harmonizados para efeitos comparativos e desenvolvimento de futuros planos de acção.

Alguns destes indicadores são representados pelos valores guia e valores limite estabelecidos na legislação Nacional e Comunitária, como é o caso da poluição atmosférica, encontrando-se, conseqüentemente, relacionados com sistemas de

medição. Requerem equipamento sofisticado e pessoal especializado, constituindo assim, os programas de vigilância, um trabalho dispendioso.

Quando orçamentos limitados são afectos ao estudo da poluição atmosférica, o que acontece geralmente em pequenas comunidades, torna-se difícil, por vezes, efectuar um estudo detalhado, já que os requisitos mínimos para obter os dados necessários ao seu desenvolvimento, envolvem verbas consideráveis. No Funchal, a existência de uma única estação de medida da qualidade do ar, não tem facilitado o trabalho neste sector.

De acordo com recomendações dadas no “Manual de Poluição Atmosférica”, para uma cidade que pretenda iniciar as medições e/ou que disponha de um orçamento limitado para o efeito, deverá dispor de 3-5 estações situadas perto das vias mais movimentadas e 1-2 estações para determinação dos níveis de fundo urbanos. Estas estações deverão analisar preferencialmente os seguintes parâmetros: dióxido de azoto, benzeno, fumos negros e opcionalmente o carbono elementar, recorrendo para alguns deles, a metodologias de baixo custo, e ainda, opcionalmente, o ozono, em áreas suburbanas. À excepção da determinação das concentrações do dióxido de azoto e ozono, efectuada com analisadores automáticos, nenhum dos outros poluentes referidos, alguma vez foi estudado, na cidade do Funchal.

Nos últimos anos, metodologias de baixo custo têm sido desenvolvidas e sucessivamente melhoradas, para o estudo de alguns poluentes, tentando satisfazer as actuais exigências de fiabilidade por preços mais baixos do que os métodos convencionais.

Apesar de não substituírem os analisadores tradicionais, necessários para a produção de dados de curto prazo, elaboração de relatórios diários sobre a poluição atmosférica produzidos em muitos países, e também para testes de comparação com outras metodologias, as suas facilidades de manuseio, bem como o seu reduzido custo, facilitam, contudo, a avaliação do estado do ambiente atmosférico urbano e regional, não de tão fácil execução, especialmente do ponto de vista económico, quando se trata de redes tradicionais de medição. Para além do seu baixo custo, estas metodologias apresentam uma série de vantagens, destacando-se de entre elas, o reduzido espaço que ocupam, a facilidade de deslocação e ainda as poucas exigências de funcionamento e manutenção.

A modelação matemática constitui outro método alternativo, proporcionando ao utilizador uma visão global da qualidade do ar em áreas seleccionadas, bem como o levantamento de eventuais focos de conflito, onde medições mais rigorosas devem ser feitas. A sua aplicação, após efectuados testes e ajustamentos às condições específicas de uma cidade, pode constituir um importante auxiliar para a gestão da qualidade do ar e produção de cenários.

Com este caso de estudo, pretendeu-se aplicar alguns dos objectivos estabelecidos no projecto ISIS, designadamente a utilização de metodologias numa região com

---

características distintas daquelas em que usualmente são aplicadas, e que contribuam para a avaliação do desenvolvimento sustentável do sector dos transportes. Testou-se, para o efeito, alguns métodos alternativos, com vista à obtenção de indicadores da qualidade do ar, designadamente os tubos difusores para a determinação do NO<sub>2</sub>, o “Bonsai” para a determinação do benzeno e carbono elementar e ainda um modelo de dispersão de poluentes. As metodologias aplicadas encontram-se descritas no “Manual de Poluição Atmosférica”.

## 2. Enquadramento Geral

### 2.1. Alguns Dados Físicos e Demográficos da cidade do Funchal

O Funchal é a capital da Região Autónoma da Madeira, um arquipélago composto por duas ilhas habitadas e dois conjuntos de ilhas que constituem áreas protegidas. Situado no Oceano Atlântico, distanciado de cerca de 500 milhas de Portugal Continental, tem uma superfície total de 796,77 km<sup>2</sup>, e 258 134 habitantes.

A capital situa-se na ilha principal (Ilha da Madeira) que representa 92,5% do território e aproximadamente 98 % da população do arquipélago. Cerca de metade da população da Madeira concentra-se no concelho do Funchal, que possui uma superfície de 72,6 km<sup>2</sup> (excluída a área das Ilhas Selvagens) e 115 403 habitantes, apresentando conseqüentemente uma densidade populacional de 1 589 hab/km<sup>2</sup>, com uma distribuição bastante acentuada em redor do centro.

O crescimento da cidade encontra-se fortemente condicionado por obstáculos naturais, que são em parte responsáveis pela forma e estrutura da ocupação do solo, resultando daí oscilações ao nível da distribuição da população e características originais da paisagem urbana.

O rápido desenvolvimento que se tem feito sentir nos últimos anos tem conduzido a uma ocupação das zonas mais altas, especialmente por novas áreas residenciais, contribuindo para a desertificação gradual do centro da cidade. Este êxodo para a periferia conduziu a um aumento das necessidades de deslocação e conseqüentemente a uma perda de mobilidade no centro da cidade.

Sendo o Funchal o principal centro urbano, atrai também um considerável número de população flutuante, contribuindo para a sobrecarga da rede viária e do estacionamento.

Forte contribuição para a expansão da cidade tem dado a indústria hoteleira, uma das principais actividades económicas da Região, cuja contribuição para o PIB regional atingiu os 10%, de acordo com os dados de 1989.

O Funchal absorve cerca de 13 000 das 15 000 camas existentes na RAM, com uma concentração em torno de uma área com boa aptidão para este tipo de serviços, quer em termos orográficos, quer em termos de exposição solar e acessibilidade ao centro da cidade e a alguns pontos de interesse turístico.

A concentração destas infra-estruturas numa área confinada tem levado a uma sobreocupação do solo, em que os espaços verdes nem sempre satisfazem as aspirações de uma “Cidade Jardim”, conduzindo a algumas situações pontuais de dissonância paisagística.

## 2.2. O Plano Director Municipal - Orientações para o Planeamento do Uso do Solo

O Plano Director Municipal, recentemente discutido, considera no seu conteúdo programático três grandes categorias de objectivos:

- Objectivos de desenvolvimento que suportem as políticas económicas e de desenvolvimento social;
- Objectivos de ordenamento para definir e estabelecer os princípios e regras da ocupação do solo e sua transformação;
- Objectivos de intervenção para compatibilizar diferentes níveis de intervenção do ordenamento do território municipal.

No seu documento, “Estudo de Caracterização”, considera que a rede viária constitui um dos sistemas com maior relevância em termos de planeamento urbano e regional, quer pelo seu poder estruturante ao nível de organização do espaço, quer pelas funções vitais que desempenha ao nível do transporte de pessoas e bens.

É reconhecido que a rede viária existente não satisfaz as necessidades actuais, provocando situações de congestionamento, verificando-se ainda a necessidade de reformular a política de estacionamento actualmente praticada, por forma a evitar indesejáveis estrangulamentos ou sobredimensionamentos.

São inventariadas algumas soluções quanto a modos alternativos de transporte, privilegiando o transporte público adaptado às condições orográficas da cidade. A interface com os transportes tradicionais e a sua localização em locais estratégicos para posterior ligação com os veículos particulares, é referido como factor essencial para a estruturação e organização deste sector.

Para o centro da cidade é proposto o uso de mini-autocarros, mais adequados às características da rede viária antiga, efectuando um serviço de transporte aos parques de estacionamento, e aos terminais de transportes públicos urbanos e regionais.

Contudo, as principais linhas de orientação deste plano encontram-se mais direccionadas para a definição e estabelecimento de linhas estratégicas para o ambiente construído e seu futuro desenvolvimento, de forma a controlar a imagem urbana da cidade, em termos estéticos e paisagísticos.

Para o sector dos transportes, e como já foi anteriormente referido, existem orientações no sentido de dar prioridade aos transportes públicos e implementar interfaces estrategicamente localizadas. Contudo os parâmetros ambientais não são incluídos como factores limitadores ao crescimento e estruturação da cidade e território municipal.

Dado o estágio de desenvolvimento actual, a qualidade de vida dos cidadãos prende-se ainda com a satisfação de necessidades básicas, não se encarando talvez, com a importância desejável, alguns problemas de índole ambiental, cuja importância justificaria outra atitude.

### 2.3. Tráfego

Os dados disponíveis relativos ao parque automóvel encontram-se agregados no “Plano Energético da RAM”. Estes dados referem-se a elementos fornecidos pela Direcção Regional de Transportes e Polícia de Segurança Pública, e pela empresa Horários do Funchal para os transportes colectivos de passageiros. O valor estimado para Dezembro de 1987 foi de 45 204 veículos.

De acordo com elementos fornecidos pela Câmara Municipal do Funchal, entraram na RAM, entre os períodos 1988 - 1992 cerca de 24 512 veículos, estimando-se assim que o total de veículos actualmente em circulação seja de 69 716. Dado que esta estimativa não tem em linha de conta os abates entretanto efectuados, poder-se-á dizer que este valor deverá rondar os 60 000 veículos. A par do aumento do parque automóvel houve um correspondente aumento de deslocações. Da análise comparativa dos resultados das contagens de tráfego efectuadas em 1985 e 1992, verifica-se que o aumento médio de volume de tráfego na cidade foi de 55% nesse período, apesar de não se verificar esta situação em todas as ruas onde foram efectuadas contagens.

Apresentam-se de seguida alguns indicadores relativos a este sector:

- A relação do número de pessoas transportadas em veículos particulares e transportes públicos é de 62:38 ( passageiros x km);
- O número de veículos que circulam na cidade encontra-se estimado em 31 938 veículos de passageiros, 5 536 camiões e 5 110 de outras categorias;
- O número de linhas de transportes públicos é de 47, totalizando 130 km, com 146 autocarros.

### 2.4. Política de Gestão de Tráfego

Medidas de gestão de tráfego têm vindo a ser implementadas na cidade do Funchal no decorrer dos últimos 15 anos. Contudo, elementos respeitantes aos impactes ambientais provenientes deste sector têm ainda uma fraca expressão na elaboração destas políticas, devido essencialmente ao facto de estes dados não se encontrarem ainda disponíveis, de uma forma consistente. Para além disso, elementos como



matrizes Origem-Destino, um trabalho aprofundado sobre a caracterização e quantificação do parque automóvel, factores de emissão de poluentes associados às categorias de veículos mais representativas e contagens de tráfego mais frequentes são fundamentais para o desenvolvimento de um trabalho sustentado neste campo.

Contudo, as iniciativas levadas a cabo pela Câmara Municipal do Funchal, nos últimos anos, para melhorar a mobilidade no centro da cidade, influenciaram certamente a qualidade do ar, apesar de não se conseguir avaliar a eficácia das mesmas, dada a inexistência de dados anteriores às acções desenvolvidas. Destaca-se, como mais relevantes, as seguintes:

- Restrições na circulação de veículos em algumas das ruas mais estreitas, permitindo somente as cargas e descargas, em determinados horários;
- Restrições ao estacionamento gratuito no centro;
- Construção de autosilos de razoável dimensão em locais onde o acesso ao centro é rápido;
- Redução da velocidade máxima permitida, a 40 km/h, em algumas ruas;
- Interdição de circulação de veículos pesados e transportes públicos em algumas ruas da cidade;
- Construção da circular “Cota 40”, já em funcionamento.

Para além destas, foram efectuadas campanhas de sensibilização para a utilização dos transportes públicos, promovidas pela empresa responsável pelo transporte colectivo de passageiros a nível urbano.

A gestão local de tráfego constitui uma tarefa importante para a redução da poluição atmosférica, podendo outros procedimentos, tais como inspecções periódicas aos veículos, contribuir também para uma melhoria da qualidade do ar.

## 2.5. Enquadramento Legal - Legislação Portuguesa sobre Qualidade do Ar

Apesar de a legislação Nacional em matéria de qualidade do ar remontar aos anos 70, foi contudo na década de oitenta que um conjunto de normas específicas foi publicado.

O Decreto-Lei nº 255/80 de 30/07 definiu claramente os objectivos da política Nacional de salvaguarda da qualidade do ar, como sendo “ ...reduzir ou eliminar os

perigos para a saúde das populações e limitar os danos ambientais a um mínimo compatível com o interesse da comunidade, sem menosprezar as implicações económicas que daí resultam”. Foram assim definidas áreas onde a qualidade do ar deveria ser avaliada, designadamente as principais cinturas industriais do país e principais centros urbanos.

Em 1987 foi publicada a Lei de Bases do Ambiente (Lei nº11/87) que define, no seu art. 8º, o princípio básico da defesa da qualidade do ar, através da minimização das emissões de poluentes, recorrendo a processos limpos e tecnologias de controlo, e da fixação de valores limite de emissão. Na sequência da Lei de Bases do Ambiente, um pacote de legislação específica foi publicado, resultante, designadamente, da necessidade de transposição das Directivas Comunitárias para território Nacional. Foram assim estabelecidos os valores guia e valores limite da qualidade do ar, para determinados poluentes.

Na Região, as normas em vigor são o resultado de uma transposição directa das normas em vigor a nível nacional. As adaptações efectuadas referem-se essencialmente aos organismos que tutelam a área do ambiente.

## 2.6. Situação Actual da Avaliação da Qualidade do Ar no Funchal

A avaliação da qualidade do ar é efectuada em Portugal desde há 20 anos. No seguimento da política de qualidade do ar já enunciada anteriormente, foi criada a Rede Nacional de Medida da Qualidade do Ar, cuja principal finalidade era avaliar a qualidade do ar nas zonas presumivelmente poluídas, por forma a permitir estratégias de redução, e nas zonas rurais avaliar concentrações de fundo. Foi assim inventariado um conjunto de poluentes a medir na Rede Nacional.

No Funchal, a avaliação da qualidade do ar no Funchal é bastante recente, (1989), pertencendo a única estação de medida, à Rede Nacional de Medida da Qualidade do Ar. Somente em 1992 ficou equipada para a determinação das concentrações de alguns dos poluentes mais importantes, tendo percorrido, até à data, algumas das ruas mais movimentadas.

Os procedimentos para a aquisição dos dados são similares aos de diversas estações da Rede Nacional, sendo composto por uma Unidade de Aquisição Local de dados (UAL), existente na estação de medida, onde são recolhidos, calculados e armazenados os valores médios horários. A UAL encontra-se ligada à Unidade de Gestão Regional (UGR) - constituída por um computador pessoal e *software* específico - através da rede telefónica pública e modems, e localizada no edifício principal. Na UGR procede-se à recolha, validação e tratamento estatístico dos dados para posterior comparação com a legislação em vigor.

### 3. Caso de Estudo

#### 3.1. Testes com Metodologias de Baixo Custo

##### 3.1.1. Tubos Difusores

Os tubos difusores foram introduzidos por *Palmer et al*, em 1976, para o estudo de alguns poluentes em ambientes de trabalho. Nos últimos anos as técnicas de difusão foram aperfeiçoadas e testadas para a sua aplicação na monitorização do ambiente exterior, tanto em áreas rurais como urbanas.

A experiência com este método é já larga em alguns países europeus, e diversas alterações têm sido introduzidas, desde então, para melhorar o seu desempenho. As principais características e princípios operacionais encontram-se descritos no “Manual de Poluição Atmosférica”, pelo que não serão aqui abordados.

##### 3.1.1.1. Locais de Amostragem

Três locais distintos são sugeridos para a avaliação das concentrações do NO<sub>2</sub> em zonas urbanas, dado existirem variações espaciais consideráveis, e os níveis tenderem a diminuir para valores mais ou menos constantes, que representam os níveis de fundo urbanos. Estes locais devem ser seleccionados em zonas onde a população usualmente esteja presente:

- Locais próximos a ruas de tráfego intenso;
- Locais para determinação de níveis de fundo urbano - pelo menos a 50 m de ruas de tráfego intenso, e, opcionalmente
- Locais intermédios - 20 a 30 m de ruas de tráfego intenso.

Idealmente, os tubos devem ser colocados à altura de um cidadão normal, mas por razões de ordem técnica, designadamente a perda de tubos, é permitida a sua colocação a uma altura entre 2 - 4 m, mas nunca superior a 5m. Mobiliário urbano tal como candeeiros, postes e sinais de trânsito, e ainda fachadas dos edifícios, são apropriados para a sua fixação.

Especial atenção é necessária para evitar fontes pontuais de NO<sub>2</sub> ou perturbações do fluxo de ar, tais como saídas de ar condicionado, condutas de exaustão, árvores e outra vegetação.

### 3.1.1.2. Programas de Vigilância

Uma primeiro programa foi efectuado no centro da cidade, em Julho de 1994, com a cooperação dos Serviços de Ambiente de Kirklees (Reino Unido), que forneceram os tubos, bem como algumas indicações referentes aos procedimentos de ensaio. A análise dos tubos foi feita por um laboratório inglês (AEA Technology).

A amostragem foi mensal, tendo sido seleccionados 20 locais para a determinação do NO<sub>2</sub>, incluindo o local onde a estação de medida da qualidade do ar estava situada. Para a fixação dos tubos foram utilizados candeeiros e sinais de trânsito.

Dado o elevado número de ruas para os quais não existe conhecimento dos níveis de NO<sub>2</sub>, e à curta duração deste programa de amostragem, para o local onde existe algum conhecimento, o principal objectivo foi colher elementos acerca da variação dos níveis deste poluente em ruas com características físicas e composição de tráfego distintos, mais do que determinar os níveis para os três locais de amostragem, conforme sugere a metodologia atrás descrita, e comparar os resultados obtidos com os valores da estação de medida da qualidade do ar.

Três zonas pedonais e um conjunto de ruas, representativas do centro da cidade, foram seleccionadas. Para simplificação de análise a rede foi classificada em 3 categorias, de acordo com os volumes de tráfego: ruas com mais de 10 000 veic/dia, entre os 5 000 e os 10 000 veic/dia e menos de 5 000 veic/dia.

Os resultados deste programa encontram-se representados do quadro nº1, considerando oportuno salientar alguns pontos:

- Para o local onde a estação de medida da qualidade do ar estava situada (ponto nº3), o valor obtido com os tubos difusores foi superior ao obtido com o analisador automático;
- Para as ruas de tráfego intenso, o valor mais elevado foi obtido no ponto nº18, uma rua estreita, ladeada por prédios, constituindo também o valor mais elevado deste programa. De salientar que, para esta rua, os tubos foram colocados perto dos semáforos, o que poderá ter contribuído para este resultado elevado;
- Para a segunda categoria de ruas, o valor mais elevado foi registado no ponto nº 8. Apesar de não ser uma rua tipo *street canyon*, inclui uma elevada percentagem de veículos pesados, e encontra-se sob a influência de uma rua de tráfego intenso (ponto nº 7), para a qual o segundo valor mais elevado foi registado;
- O único local escolhido para representar ruas de tráfego pouco intenso (ponto nº15), revelou um nível considerável de NO<sub>2</sub>, presumivelmente devido às suas características físicas ( rua estreita ladeada por prédios);

- Os resultados obtidos nas zonas pedonais (pontos n.ºs 9,12 e 20) revelam uma relativa baixa variação entre eles. Apesar destes valores serem mais elevados do que o esperado, representam um primeiro registo dos níveis de fundo urbano, dado que se procurou, sempre que possível, a localização dos tubos a mais de 50 m de uma rua de tráfego intenso;
- O valor mais baixo foi registado na rua mais movimentada. Dado que se situa perto do mar, sofre a influência das brisas marítimas, facilitando assim a dispersão dos poluentes;

Quadro n.º1 - Resultados do 1.º programa de vigilância com tubos difusores

<b>Tubo n.º</b>	<b>Rua</b>	<b>N.º Veículos/24h</b>	<b>Veículos Pesados (%)</b>	<b>NO2 (ug/m<sup>3</sup>)</b>
1	R. Pedro J. Ornelas	5 233	3.0	41
2	Av. Arriaga Norte	12 339	0.6	60
3	Av. Arriaga Sul	12 683	6.0	53
4	Av. Infante	12 210	4.0	71
5	Av. Luís Camões	15 820	7.0	59
6	Av. Mar Sul	16 097	13.0	39
7	R. Brigadeiro Oudinot	14 260	10.0	84
8	R. Visconde Anadia	6 402	17.0	74
9	Praça Colombo	0	0	49
10	R. Alfandega	s/c (*)	s/c	40
11	Av. Mar Norte	12 715	14.0	-
12	R. Murças	0	0	55
13	R. Fernão Ornelas	6 303	0.2	55
14	R. Bom Jesus	12 520	0.3	48
15	R. Carmo	3 746	0	67
16	R. Carreira	7 834	0.2	55
17	R. Ivens	s/c	s/c	-
18	R. do Bettencourt	12 221	0.6	87
19	Largo Colégio	13 206	3.0	53
20	R. João Tavira	0	0	52

(\*) s/c - os volumes de tráfego não se encontram disponíveis

- Comparando os resultados obtidos nas ruas tipo *street canyons* (pontos n°s 13,15,16 e 18), seria de esperar que para características físicas e composição de tráfego semelhantes, quanto mais intenso o tráfego fosse, maior seria o nível de NO<sub>2</sub> encontrado. Tal foi, de facto, o caso dos pontos n° 15 e 18. Os pontos n°s 13 e 16, revelam concentrações idênticas de NO<sub>2</sub>, embora inferiores às registadas no ponto n° 15, com menor volume de tráfego. Esta situação poderá dever-se à localização dos tubos;
- As características dos arruamentos desempenham um papel fundamental no aumento dos níveis de NO<sub>2</sub>. Os valores registados em ruas com volumes de tráfego consideráveis, tais como os pontos n° 2, 3 e 19, por exemplo, são inferiores aos registados no ponto n° 15, situado numa rua com tráfego pouco intenso. O mesmo acontece com o ponto n°18 que, apesar de ter um volume de tráfego idêntico às ruas acima mencionadas, difere nas características físicas, apresentando valores mais elevados;
- Para além das características físicas dos arruamentos, é de registar a influência dos veículos pesados nos níveis de NO<sub>2</sub>. O segundo maior valor obtido foi registado numa rua de tráfego intenso com elevada percentagem de veículos pesados (ponto n°7);
- O local de amostragem desempenha um papel fundamental na representatividade dos valores obtidos, sendo necessário especial cuidado na sua definição, aquando da elaboração dos programas de vigilância.

Dado que com este programa não se pretendeu comparar os resultados obtidos com os tubos difusores e os dados da estação de medida da qualidade do ar, devido à curta duração do mesmo, um segundo programa foi implementado.

Da informação recolhida de amostragens efectuadas noutros países, designadamente na Alemanha, verificou-se também a obtenção de valores superiores aos medidos com analisadores tradicionais, supostamente devido à influência do vento, pelo que foi sugerida a colocação de um filtro no parte final do tubo, aquando da sua amostragem, com a finalidade de minimizar essa influência.

Amostragens semanais, no período de Julho de 1995 a Fevereiro de 1996, foram efectuadas no local onde a estação de medida da qualidade do ar se encontrava, e consistiram de uma amostragem simultânea de 4 tubos: 2 com filtro e dois sem filtro. Um filtro de quartzo foi utilizado para reduzir a influência do vento.

O quadro n° 2 apresenta os resultados obtidos na estação de medida da qualidade do ar, dos tubos com filtro e tubos sem filtro. Foram ainda calculados os desvios entre os valores obtidos com os tubos com e sem filtro e os da estação de medida da qualidade do ar, e os desvios entre os dois tipos de tubos.

Considera-se oportuno salientar alguns aspectos:

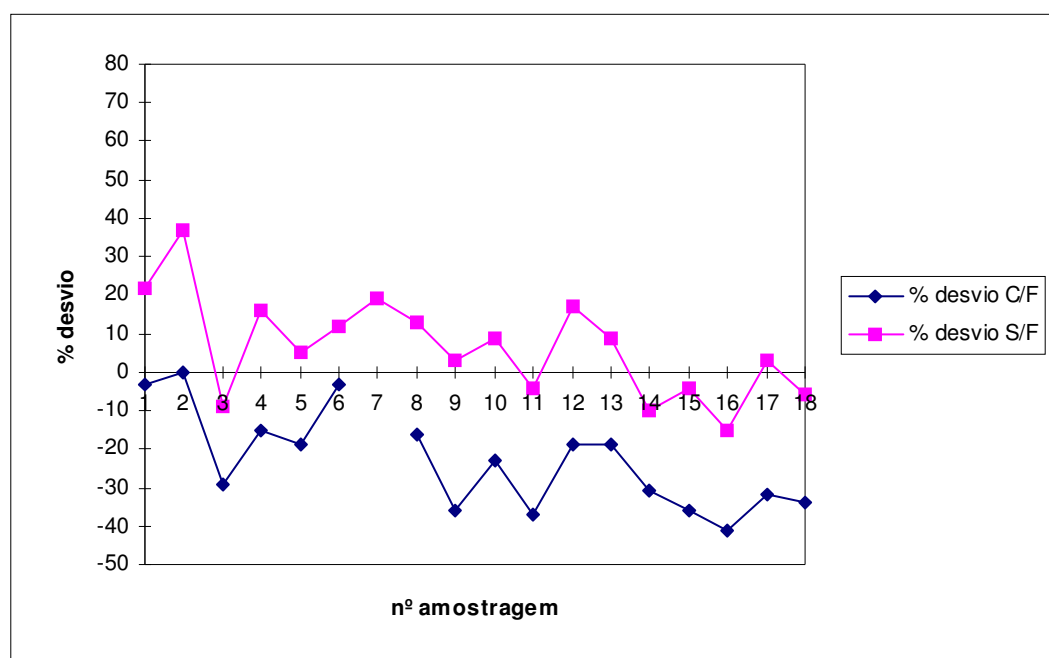
- Seria de esperar que os tubos com filtro demonstrassem um melhor comportamento do que os tubos sem filtro, quando comparados os resultados com os dados do analisador automático. Contudo, e à excepção de três amostragens, os melhores resultados foram obtidos com os tubos sem filtro;

Quadro nº 2 - Resultado do 2º programa de vigilância

Nº amostragem	Período	Conc. tubos C/F (ug/m3)	Conc. tubos S/F (ug/m3)	Conc. Estação (ug/m3)	% desvio entre os 2 tubos	% desvio tubos C/F	% desvio tubos S/F
1	4/07- 19/7/95	57	72	59	-21	-3	+22
2	19/7-1/8/95	62	85	62	-27	0	+37
3	1/8-16/8/95	58	75	82	-23	-29	-9
4	30/8-14/9/95	59	80	69	-26	-15	+16
5	14/9-22/9/95	66	85	81	-22	-19	+5
6	22/9-29/9/95	79	91	81	-13	-3	+12
7	29/9-9/10/95	-	76	64	-	-	+19
8	20/11-27/11/95	67	90	80	-26	-16	+13
9	27/11-4/12/95	49	79	77	-38	-36	+3
10	4/12-11/12/95	55	77	71	-29	-23	+9
11	11/12-19/12/95	52	80	83	-35	-37	-4
12	19/12-28/12/95	47	68	58	-31	-19	+17
13	28/12-5/1/96	43	58	53	-26	-19	+9
14	5/1-12/1/96	48	63	70	-24	-31	-10
15	12/1-19/1/96	48	72	75	-33	-36	-4
16	19/1-26/1/96	44	63	74	-30	-41	-15
17	26/1-2/2/96	53	80	78	-34	-32	+3
18	2/2-9/2/96	60	86	91	-30	-34	-6

- Considerando que o vento afecta os resultados, seria de esperar que para os meses de Inverno, onde o vento se faz sentir com maior intensidade, no Funchal, os melhores resultados fossem obtidos com os tubos com filtro. Contudo esta situação não foi registada, pondo-se a questão acerca da velocidade mínima de vento, e características específicas dos locais de amostragem, que poderão provocar alguma influência;
- Os resultados dos tubos com filtro demonstram, na generalidade, valores mais baixos do que os valores obtidos pelo analisador automático, enquanto os valores obtidos com os tubos sem filtro apresentam variações que oscilam entre valores superiores e inferiores aos dados do analisador (Gráfico nº1);
- A diferença obtida entre os tubos com e sem filtro parece ser mais estável do que os respectivos desvios com o analisador automático, podendo esta situação dever-se a problemas com este equipamento;

Gráfico nº 1 - Comparação entre os desvios (%) encontrados



- Os valores médios obtidos para o período considerado foram de 56 ug/m3, 77 ug/m3 e 73 ug/m3, respectivamente para os tubos com filtro, tubos sem filtro e estação de medida da qualidade do ar. Quando comparados com os dados da estação de medida da qualidade do ar, os tubos sem filtro apresentam um desvio global médio, superior em 5,5%, e os tubos com filtro um desvio



global médio inferior em 23,3%, com especial realce para os meses de Inverno.

Para além da influência do vento, foram também referidas, por alguns autores, influências provocadas pela temperatura e humidade.

No que respeita ao primeiro factor, taxas de aumento, variando entre 15,5% e 18%, por cada 10<sup>0</sup> C foram registadas. Apesar de no Funchal a variação das temperaturas médias ao longo do ano não ser grande (15,6<sup>0</sup>C a 21,9<sup>0</sup>C), pode eventualmente ser esperado um aumento dos valores obtidos com os tubos, apesar de o mesmo não ter sido claramente observado. A temperatura afecta a taxa de difusão, provocando um aumento dos valores de NO<sub>2</sub>. Podia ser esperado que no Verão, o efeito do filtro equilibrasse o efeito da temperatura, influenciando a taxa de difusão. Contudo esta suposição só explica alguns resultados, não tendo sido possível observar uma relação entre a temperatura e o efeito do filtro.

Para o segundo factor foi também verificado um aumento dos resultados obtidos, apesar de não se encontrar ainda bem estudada a sua influência. A humidade relativa é bastante elevada no Funchal (o valor mínimo mensal registado, da média de 30 anos, foi de 68%), e valores mais elevados são facilmente atingidos durante o ano, podendo este factor ter alguma influência em regiões com elevados graus de humidade.

Os resultados obtidos no Funchal foram discutidos pelos parceiros do projecto ISIS, tendo sido realçados alguns pontos interessantes:

- Se o filtro ficar molhado pela chuva, pode haver um efeito redutor significativo. De facto os tubos não foram protegidos, e esta poderá ser uma razão para os baixos valores registados neste período, para os tubos com filtro;
- Filtros de fibra de vidro ou de papel produzem um efeito redutor significativo. No caso do Funchal foram utilizados filtros de quartzo, sendo assim de desprezar este efeito;
- Em Berlim, após diversas experiências, chegaram à conclusão que a existência de grandes desvios muitas vezes se devia, não a um mau comportamento dos tubos, mas aos analisadores automáticos, que necessitavam de calibrações mais rigorosas. Para o efeito, os procedimentos de calibração foram comparados com os efectuados noutras cidades alemãs, e o gás de calibração, calibrado em laboratório, após o que melhores resultados foram atingidos. Torna-se assim necessário dedicar especial atenção aos analisadores automáticos. Apesar de no Funchal não ser possível executar estes procedimentos, calibrações mais frequentes podem contudo ser efectuadas.

### 3.1.2. Testes com o “Bonsai”

Outro equipamento de baixo custo, é o “Bonsai”, um protótipo desenvolvido por Berlim, para a determinação das concentrações do carbono elementar e benzeno. Os princípios operacionais encontram-se descritos no “Manual de Poluição Atmosférica”.

Amostragens semanais, foram realizadas com dois aparelhos, para o local onde a estação de medida da qualidade do ar se situa. Os resultados deste programa encontram-se no “Manual de Poluição Atmosférica”. Dado que os poluentes atrás mencionados nunca foram medidos no Funchal, a inexistência de informação sobre os possíveis níveis existentes, impede o comentário dos resultados obtidos.

As amostragens tiveram de ser interrompidas por diversas vezes, dado terem ocorrido alguns contratemplos. Um dos “Bonsai” tinha um tubo no interior que se soltava sistematicamente, produzindo uma diminuição significativa do fluxo de ar, e por vezes a sua completa ausência. Após várias tentativas para resolver esta situação um fluxo de ar menor do que o indicado, mas estável, foi conseguido, e as medições puderam prosseguir.

Por altura das primeiras chuvas, e dado que não foi mencionada especial atenção para esta situação, os amostradores ficaram completamente encharcados no seu interior, não sendo possível a amostragem. Tiveram de ser abertos para proceder à sua secagem, e posteriormente protegidos da chuva.

Instruções mal interpretadas, resultaram numa amostragem incorrecta de alguns dos tubos de carvão activado, que não puderam ser analisados, e conseqüentemente alguns resultados não se encontram disponíveis.

Deficiências em algumas das tampas resultaram numa vedação ineficaz dos tubos, e aquando do seu envio para Berlim, para análise, alguns deles chegaram abertos. Estas deficiências não foram detectadas desde o início, embora aquando da sua verificação, alguns reforços tivessem sido feitos para evitar esta situação .

Contudo algumas conclusões puderam ser tiradas, referindo, o relatório produzido por Berlim, que os maiores níveis de carbono elementar alguma vez medidos com estes amostradores foram encontrados no Funchal. No que diz respeito ao benzeno, os resultados obtidos são comparáveis aos encontrados nas cidades dos parceiros envolvidos neste projecto.

## 3.2. Modelação Matemática

A modelação matemática em zonas urbanas é considerada uma metodologia eficaz na obtenção de uma perspectiva geral dos níveis de poluição atmosférica da rede viária, e no despiste de eventuais pontos de conflito, onde medições mais rigorosas são

necessárias. Para além da economia de tempo e de dinheiro, as possibilidades de avaliar os níveis de poluição em novas auto-estradas e vias rápidas e simular cenários, e a colaboração na gestão do tráfego constituem as suas principais vantagens.

Contudo a fiabilidade dos seus resultados, depende, em larga escala, do conhecimento já existente dos níveis de poluição atmosférica, e da disponibilidade dos dados necessários à sua aplicação. Para estas situações, muito trabalho foi já desenvolvido, assim como verbas dispendidas para obter esse conhecimento. A experiência adquirida neste campo seria benéfica para as comunidades onde a produção de dados é ainda insuficiente, no sentido de direccionar o seu trabalho para o estudo e produção daqueles, dos quais um bom comportamento dos modelos pode depender.

No âmbito do projecto ISIS foram executados os primeiros testes com o modelo matemático “CAR INTERNATIONAL”. O modelo encontra-se descrito no “Manual de Poluição Atmosférica”.

Dado que alguns dados necessários ao modelo, não se encontram ainda disponíveis no Funchal, os testes efectuados foram realizados com os valores dados por defeito. É assim esperado que os resultados obtidos revelem desvios superiores aos encontrados em algumas cidades da Holanda, onde este foi desenvolvido. O modelo foi experimentado no Funchal, para o local onde a estação de medida da qualidade do ar se encontra, a fim de possibilitar a comparação entre os resultados medidos e calculados. O local em causa não se enquadrava devidamente em nenhum dos tipos de rua dados pelo modelo, nem representa uma *street canyon*, dado que é composto por duas ruas, onde numa delas, existia uma abertura nos edifícios, resultante da construção de um prédio, e na outra, os edifícios tem início mais acima do local onde a estação de medida da qualidade do ar se encontra. Contudo, por aproximação, o tipo 3b foi aplicado.

O modelo considera que, caso as faixas de rodagem se encontrem separadas por uma berma com largura superior a 3 m, os cálculos têm de ser efectuados separadamente para cada faixa de rodagem, como se as mesmas fossem ruas distintas. Dado que a estação se situa numa berma com largura superior a 3 m, que separa duas ruas, para a aplicação do modelo, considerou-se somente a influência da rua mais próxima da estação.

Os resultados obtidos, nas condições acima descritas, para a concentração média anual dos parâmetros CO e NO<sub>2</sub>, revelam valores menores do que os registados na estação de medida da qualidade do ar. Para o CO, o valor calculado foi inferior ao medido, em 16% e para o NO<sub>2</sub>, em 6%.

## 4. Conclusões

O principal objectivo deste caso de estudo foi testar algumas metodologias de baixo custo, que permitam a obtenção de indicadores de qualidade do ar por menores custos e exigências de manutenção, dois elementos importantes quando se trata de comunidades pequenas e distantes.

Como já foi anteriormente mencionado, a avaliação da qualidade do ar é um trabalho complexo, envolvendo verbas consideráveis e pessoal devidamente especializado, revestindo-se de grande interesse todos os métodos que permitam reduzir estes requisitos.

Como conclusões deste caso de estudo, realçam-se as seguintes:

- Existem factores que influenciam o comportamento dos tubos difusores para o estudo do NO<sub>2</sub>, de entre os quais se destaca o vento como mais significativo. É opinião generalizada que o vento provoca um aumento nos resultados obtidos, apesar desta influência não ter sido claramente detectada no Funchal, dado que os melhores resultados foram obtidos com os tubos sem filtro. Alguns factores podem ter influenciado esta situação, designadamente o efeito das chuvas nos filtros, provocando uma influência redutora significativa. Os resultados dos tubos com o filtro poderão ter demonstrado um desvio superior ao esperado, não sendo assim representativos do desempenho dos mesmos;
- A amostragem com os tubos difusores levou à conclusão que serão necessários mais testes para despistar estas influências, após os quais se poderão tirar conclusões mais fiáveis, designadamente se os desvios encontrados com os tubos com filtro são efectivamente inferiores ou não, aos desvios encontrados com os tubos sem filtro;
- Torna-se necessário implementar procedimentos de calibração mais rigorosos para garantir um melhor funcionamento dos analisadores tradicionais. Estes procedimentos contribuirão também, certamente, para uma melhor comparação com outras metodologias;
- Os testes com os “Bonsai”, revelaram níveis elevados para o carbono elementar, e da mesma ordem de grandeza aos encontrados em cidades como Berlim, Copenhaga e Huddersfield, para o benzeno. Torna-se assim importante estudar estes poluentes no Funchal. Estes amostradores são de grande facilidade de manuseio e pouco exigentes em termos de requisitos de funcionamento, representando um método alternativo para a determinação dos poluentes acima referidos. Contudo não excluem a necessidade de existência de equipamento de laboratório, para efectuar

análises às amostras colhidas, e obter dados comparativos para validação dos resultados;

- No que diz respeito ao modelo matemático “CAR INTERNATIONAL”, existiram algumas dificuldades na sua aplicação, designadamente na validação do tipo de rua. Para além disso este modelo foi aplicado usando os valores dados por defeito, já que alguns dos dados não se encontram disponíveis para o Funchal. Contudo e dadas as suas facilidades de operação, e possibilidades de, com relativa simplicidade, poder ser integrado num Sistema de Informação Geográfica, é de todo o interesse continuar os testes, noutros locais de mais fácil identificação com os tipos de rua dados pelo modelo, e verificar o seu comportamento;
- O “Manual de Poluição Atmosférica” sugere, para uma cidade que inicie o seu programa de monitorização de qualidade do ar e/ou que disponha de um orçamento limitado para o efeito, a adopção de metodologias de baixo custo, dado que permitem a obtenção, por preços acessíveis, de dados indicativos dos níveis existentes. Para as situações acima descritas, recomenda, entre 3 a 5 estações localizadas perto das ruas mais movimentadas e, entre 1 a 2 estações, para determinar os níveis de fundo urbanos, para alguns poluentes. Torna-se assim necessária a implementação, no Funchal, de uma rede mais alargada de estações para o estudo da qualidade do ar, recorrendo a essas metodologias;
- Pensa-se que as metodologias testadas podem efectivamente ser aplicadas em regiões distintas daquelas em que foram desenvolvidas e normalmente utilizadas, requerendo contudo outras técnicas que permitam comparar resultados, e especialmente, uma troca contínua de informação com outros países, acerca do seu comportamento em situações diferentes. Esta troca de informação reveste-se de particular importância para a adaptação dos métodos.

## Bibliografia

Baar H.P., Huygen C., Eerens H.C., Sliggers C.J., Boers C.J., den Boef J., de Wijs-Christenson, R.E. : **CAR INTERNATIONAL, Manual**, 1994

Campbell G.W., Stedman J.R., Stevenson K. : **A Survey of Nitrogen Dioxide Concentrations in the United Kingdom Using Diffusion Tubes, July - December 1991**; Environment Vol. 28, no3, pp447 - 486, 1994

CEEETA: **Plano Energético da RAM - Relatório Base**, 1989  
Direcção Regional de Planeamento

**Diesel Vehicle Emissions and Urban Air Quality**; Second Report for the Quality of Urban Air Review Group, December 1993

Direcção Regional de Estatística, 1991 **Census/1991 - Resultados Definitivos**

Direcção Regional de Planeamento e Niperam/CEEETA, Câmara Municipal do Funchal, Horários do Funchal, Laboratório Regional de Engenharia Civil: **Transportes, Energia e Qualidade de Vida no Funchal - Relatório Final, 1993**  
Direcção Regional de Planeamento

European Community Council Directive 93/C138/01: **Fifth Environment Action Programme "Towards a Sustainable Development"**

Hewitt, C. Nicholas: **Spatial Variations in Nitrogen Dioxide Concentrations in an Urban Area**, 1991

Krochmal Darlusz, Gorski Ludwik: **Determination of Nitrogen Dioxide in Ambient Air, by use of a Passive Sampling Technique and Triethanolamine as Absorbent**, Environ. Sci. Technol., Vol25, no3, 1991

Laxen Ducan P.H., Noordally E.: **Nitrogen Dioxide Distribution in Street Canyons**, Atmospheric Environment Vol.21, n°9, pp1899-1903, 1987

Plano Director Municipal do Funchal: **Elementos Regulamentares - Relatório**

Plano Director Municipal do Funchal: **Estudos de Caracterização**

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz : **Air Manual - Draft Version**, ISIS Project, 1995

Warren Springs Laboratory: **UK Nitrogen Dioxide Survey Instruction Manual**

Warren Springs Laboratory: **UK Nitrogen Dioxide Survey Instruction Manual**