



Elaboração de uma ferramenta de ajuda à tomada de decisão no
âmbito do
Regulamento de Sistemas Energéticos de Climatização em
Edifícios
no que concerne à apreciação das metodologias de avaliação
da QUALIDADE DO AR INTERIOR

Relatório final de Estágio

Mestrado em Ciências e Tecnologia do Ambiente
Tecnologias de Remediação Ambiental



Ana Luísa Godinho Guimarães

Porto
2007-2008

Elaboração de uma ferramenta de ajuda à tomada de decisão no
âmbito do
Regulamento de Sistemas Energéticos de Climatização em
Edifícios
no que concerne à apreciação das metodologias de avaliação
da QUALIDADE DO AR INTERIOR

Relatório final de Estágio

Mestrado em Ciências e Tecnologia do Ambiente
Tecnologias de Remediação Ambiental

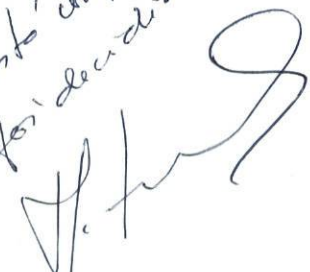
Orientadores

Prof.^a Doutora M. Teresa Vasconcelos da FCUP

Eng.^o Carlos Pedro Ferreira da empresa SONДАР

Ana Luísa Godinho Guimarães

Porto
2007-2008

Este trabalho foi aprovado pelo Yuni


Agradecimentos

À Professora Doutora Maria Teresa Vasconcelos por toda a atenção, disponibilidade e apoio demonstrados ao longo de todo o percurso académico, especialmente na fase final do Mestrado como orientadora deste trabalho final.

Ao meu orientador, o Eng.º Carlos Pedro Ferreira, pela atenção e disponibilidade ao longo de todo o tempo de estágio final de curso de Mestrado em Ciências e Tecnologia do Ambiente. Ao Nuno Rodrigues da Sonda Amostragens e Tecnologias do Ar Lda., pelo apoio demonstrado durante a realização do estágio final e pelas dicas essenciais para a elaboração do relatório.

Às minhas amigas e colegas de curso Patrícia Leitão, “Xana”, Tatiana, Patrícia Reis, Sara e restantes membros de CTA, pela paciência demonstrada, pelo seu acolhimento, pelo óptimo ambiente e sobretudo pelo companheirismo e espírito académico criado.

Um agradecimento especial à Ana Carina pela ajuda fundamental nesta fase final do Mestrado, pelo seu apoio, conselhos e boa disposição.

A todos os meus amigos e família que estiveram sempre presentes quando foi preciso, agradeço a disponibilidade para ajudar e interesse demonstrado. Um agradecimento especial à minha avó por todo o apoio.

Àquelas pessoas especiais sem as quais não teria conseguido ultrapassar todos os obstáculos que foram surgindo, pelo seu apoio e incentivo constante e sobretudo, por me fazerem acreditar que tudo é possível.

«Os dias prósperos não vêm por acaso. São granjeados, como as searas, com muita fadiga e muitos intervalos de desalento.»

Camilo Castelo Branco

«Acreditar em algo e não o viver, é desonesto.»

Gandhi

SUMÁRIO

O mais recente Regulamento de Certificação Energética e Qualidade do Ar visa implementar as condições de conforto térmico, qualidade, renovação e tratamento do ar interior. Estabelece, de acordo com parâmetros de eficiência energética, a qualidade, segurança e respeito pelo meio ambiente, limites máximos de consumos de energia para edifícios, condições de manutenção de sistemas de climatização, monitorização e auditoria e os requisitos a obedecer pelos técnicos responsáveis.

Pretendeu-se com este trabalho complementar a aplicabilidade do Regulamento de Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) nas avaliações de conformidade da qualidade do ar de um edifício, concretamente para os poluentes indicados neste Regulamento (poluentes químicos) e eventualmente outros de importância relevante. Estudaram-se os princípios de medição existentes, as suas incertezas, os equipamentos disponíveis e fabricantes/marcas existentes no mercado (o seu custo, a facilidade de utilização, exactidão, entre outros parâmetros).

Para tal, tentou-se desenvolver uma metodologia objectiva a fim de permitir escolher, para cada poluente, o equipamento apropriado com vista ao cumprimento dos objectivos do RSECE, no âmbito da Qualidade do Ar Interior (QAI). Os tempos de amostragem, princípios de medição, condições de ensaio, etc. ainda não estão regulamentados e este documento poderá servir para dar algumas indicações do que poderá ser uma “solução equilibrada/ajustada”.

Efectuou-se um estudo de ponderação de modo a encontrar a “melhor opção” dos equipamentos por poluente, tendo em conta um conjunto pré – definido de características específicas e sob que condições a amostragem poderá ser realizada.

Sugerem-se também outros poluentes susceptíveis de serem monitorizados, além dos que se encontram regulamentados no RSECE. Tais poluentes podem provocar, a determinadas concentrações, malefícios para a saúde humana para indivíduos expostos numa atmosfera interior.

Analisando toda a informação e resultados recolhidos, propõem-se metodologias gerais de amostragem e medição para caracterização da QAI.

ABSTRACT

The most recent regulation of Energy Certification and Air Quality tends to implement the conditions of thermal confort, quality, treatment and indoor air renewal. It establishes, according with parameters of energetic efficiency, quality, security and respect for the environment, maximum limits of consumptions of energy for buildings, maintenance conditions of air-conditioning systems, monitoring and auditorship requirements determined by managers (technical responsables).

This work intended to complement the applicability of RSECE (Regulation of Energy Systems and Climatization in Buildings) in the evaluations of assessments of compliance in the building air quality, studing for the pollutants indicated in the regulation (chemical pollutants) and eventually other with relevant importance, mesurement principals that exist, its uncertainties, available equipments and manufacturers/existing marks in the market (the cost of the equipment, the easy use, accurancy and other parameters).

For such, it was tried to develop an objective methodology to choose to each pollutant, the appropriate equipment with the sight to meeting the RSECE objectives, in the scope of the Indoor Air Quality (IAQ) issue. Although it still lacks a regulation for time and duration sampling, mesurement principles, test conditions and others, this document will also serve to be able itself to give some indications of what it could be the “balanced; adjusted solution”. It was made a “ponderation study” in order to find the “best choise” of the equipments for pollutant, considering an amount of pre-established and well described features and under witch conditions that sampling should be held.

Other possible pollutants are suggested to be monitored, that are not regulated in the RSECE and like those, can lead at certain concentrations to serious human health consequences when in exposition in an indoor atmosphere and contact directly with the human beings. Analysing all the collected information and results, sampling and general methodologies of mesurement to characterize the IAQ are considered.

ÍNDICE

SUMÁRIO.....	III
ABSTRACT	IV
ÍNDICE	V
ÍNDICE DE QUADROS	VI
GLOSSÁRIO	VII
LISTA DE ABREVIATURAS.....	X
1º CAPÍTULO – INTRODUÇÃO	1
1.1 - ENQUADRAMENTO	1
1.2 - OBJECTIVOS.....	1
1.3 - ESTADO DA ARTE	3
1.4 - ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO	4
2º CAPÍTULO – METODOLOGIAS E POLUENTES	5
2.1 - METODOLOGIA USADA	5
2.1.1 - ABORGAGEM DE CADA PARÂMETRO	6
Tecnologia utilizada pelo equipamento	6
Portabilidade do equipamento	6
Exactidão do equipamento	7
Possibilidade de ajuste do equipamento na calibração.....	7
Custo do equipamento	7
Tempo de obtenção do resultado de uma medição	8
Assistência ao equipamento em Portugal	8
2.1.2 - PONDERAÇÃO	9
2.2 - POLUENTES EM ESTUDO	14
2.2.1 – POLUENTES ABRANGIDOS PELO RSECE	14
Matéria Particulada (PM ₁₀).....	14
Dióxido de Carbono	15
Monóxido de Carbono	16
Ozono	16
Formaldeído.....	17
COVs Totais.....	18
2.2.2 – POLUENTES NÃO ABRANGIDOS PELO RSECE	19
Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (PAH).....	19
Dióxido de Enxofre (SO ₂).....	19
Dióxido de Azoto (NO ₂).....	20
Asbestos ou Amianto.....	20
Fumo do Tabaco Ambiental	21
Partículas Respiráveis (PM _{2,5}).....	21
2.3 – METODOLOGIA PARA AS CONDIÇÕES DE AMOSTRAGEM	22
3º CAPÍTULO – RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
3.1 - RESULTADOS OBTIDOS NA PONDERAÇÃO POR POLUENTE.....	23
3.1.1 – Equipamentos para medição/determinação de PM ₁₀	23
3.1.2 – Equipamentos para medição/determinação de CO ₂	24
3.1.3 – Equipamentos para medição/determinação de CO.....	24
3.1.4 – Equipamentos para medição/determinação de O ₃	25
3.1.5 – Equipamentos para medição/determinação de formaldeído.....	25
3.1.6 – Equipamentos para medição/determinação de COVs Totais.....	26
3.2 - CONDIÇÕES GERAIS DE AMOSTRAGEM	29
3.2.1 - Condições de Amostragem	29
3.2.2 - Duração de um evento de amostragem.....	29
3.2.3 - Influência dos Factores Sazonais	30
3.2.4 - Condições Espaciais e número de amostras a recolher	30
4º CAPÍTULO – CONCLUSÕES	32

4.1 – SELECÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE AMOSTRAGEM PARA OS COMPOSTOS PRIORITÁRIOS	32
4.2 – OUTROS COMPONENTES ALÉM DOS PRIORITÁRIOS	32
4.3 – CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
ANEXOS	38
ANEXO 1	39
<i>Tabela 1 – Tecnologias por poluente abrangido pelo RSECE</i>	39
ANEXO 2	40
<i>Tabela 2.1 – Equipamentos de análise e medição dos poluentes em estudo</i>	40
<i>Tabela 2.2 – Tecnologias por equipamentos de análise</i>	41
ANEXO 3	42
<i>Tabela 3.1 – Portabilidade dos Equipamentos</i>	42
<i>Tabela 3.2 – Exactidão dos equipamentos</i>	43
<i>Tabela 3.4 – Limites de detecção (gama de medição) dos equipamentos</i>	45
<i>Tabela 3.5 – Custos dos equipamentos (preços meramente indicativos, em EUROS)</i>	46
<i>Tabela 3.6 – Existência de assistência aos equipamentos em Portugal</i>	47
<i>Tabela 3.7 – Tempo total estimado por análise (medição “in situ” e, se for o caso, tempo estimado para toda a logística de amostragem) para obtenção dos resultados finais das medições</i>	48
ANEXO 4	49
OUTROS COMPOSTOS QUE INTERESSA ESTUDAR	49
PAH ou Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos	49
SO ₂ ou Dióxido de Enxofre	50
NO ₂ ou Dióxido de Azoto	51
Asbestos ou Amianto	51
Fumo do Tabaco Ambiental	53
Partículas Respiráveis (PM _{2,5}).....	54
ANEXO 5	55
QUESTIONÁRIO SOBRE A QUALIDADE DO AR INTERIOR EM EDIFÍCIOS	55
ANEXO 6	62
CRITÉRIOS PARA UM AMBIENTE INTERIOR (RESIDENCIAL) SAUDÁVEL	62

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro (1) – Exemplo de comparação entre a exactidão e a portabilidade de equipamentos para um mesmo poluente	9
Quadro (2) – Contabilização por parâmetros em estudo	14
Quadro (3) – Resultado da ponderação para as PM ₁₀	23
Quadro (4) – Resultado da ponderação para o CO ₂	24
Quadro (5) – Resultado da ponderação para o CO	24
Quadro (6) – Resultado da ponderação para o O ₃	25
Quadro (7) – Resultado da ponderação para o formaldeído	25
Quadro (8) – Resultado da ponderação para os COVs Totais	26
Quadro (9) – Quadro resumo dos resultados obtidos na ponderação	26
Quadro (10) – Dados dos equipamentos B5, C1, BC3, BC6 e D5	27
Quadro (11) – Comparação entre os equipamentos com melhor resultado na ponderação, com o equipamento D5 associado ao mais adequado para formaldeído	28

GLOSSÁRIO

Afinação de um equipamento – O mesmo que ajuste de um equipamento; operação destinada a levar um instrumento de medição a um funcionamento adequado à sua utilização. Pode ser automática, semi-automática ou manual.

Amplitude de medição – Módulo da diferença entre os dois limites da gama nominal (gama de indicação obtida para uma posição particular dos comandos de um instrumento de medição).

Amostras pontuais ou “grab samples” – Amostras realizadas na avaliação de exposições a poluentes interiores consideradas agudas e respectivos efeitos na saúde. São as amostras que se conseguem no período de tempo mais curto realizável pelos métodos de colheita (usualmente em amostragens de uma hora de duração). São normalmente usadas para a caracterização da fonte contaminante ou localização da(s) mesma(s).

Calibração – Conjunto de operações que estabelecem, em condições específicas, a relação entre valores de grandezas indicados por um instrumento de medição (sistema de medição), ou valores representados por uma medida materializada ou ainda um material de referência e os correspondentes valores realizados por padrões.

Correcção – Valor acrescentado algebricamente ao resultado bruto da medição, para compensar o erro sistemático (é igual e de sinal contrário ao erro sistemático estimado).

Desvio – Valor (em módulo) subtraído do seu valor de referência.

Erro de medição – Diferença algébrica entre o resultado da medição e o valor (convencionalmente) verdadeiro da mensuranda (resultado de uma medição).

Erro aleatório – Resultado da medição subtraído da média que resultaria de um número infinito de medições da mesma mensuranda em condições de repetibilidade.

Erro relativo – Quociente do erro de medição pelo valor verdadeiro da mensuranda (valor convencionalmente verdadeiro).

Erro sistemático – Média que resultaria de um número infinito de medições da mesma mensuranda em condições de repetibilidade subtraída do valor verdadeiro da mensuranda (erro subtraído do erro aleatório).

Exactidão de uma medição – Conceito qualitativo que diz respeito à aproximação entre o resultado da medição e o valor verdadeiro da mensuranda.

Exactidão de um equipamento ou instrumento de medição – Aptidão de um instrumento (equipamento) para dar indicações próximas do verdadeiro valor da grandeza medida. Trata-se de um conceito qualitativo.

Incerteza de medição – Parâmetro associado ao resultado da medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser razoavelmente atribuídos à mensuranda (o parâmetro pode ser por exemplo o desvio-padrão ou metade de um intervalo para um dado nível de confiança).

Limite de detecção – É a menor quantidade de analito que pode ser detectada, não necessariamente quantificada, numa amostra, sob condições experimentais estabelecidas.

Limite de quantificação – É a menor quantidade de analito numa amostra que pode ser determinada quantitativamente com precisão e exactidão aceitáveis, sob as condições experimentais estabelecidas (este valor obtido é um valor com um grau de confiança elevado).

Linearidade – Habilidade de um método analítico em produzir resultados que sejam directamente proporcionais à concentração do analito nas amostras, num dado intervalo de concentração. A quantificação requer que se conheça a dependência entre a resposta medida e a concentração do analito.

A linearidade é obtida por padronização interna ou externa e formulada numa expressão matemática usada para o cálculo da concentração do analito a ser determinado na amostra real.

Medição – Conjunto de operações que têm por objectivo determinar o valor de uma grandeza.

Mensuranda – Grandeza particular submetida à medição.

Método de medição – Sequência de operações lógicas, descritas genericamente, utilizadas na execução de medições.

Parâmetros em estudo – Os seis poluentes referidos no Regulamento de Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios: Partículas PM₁₀, Dióxido de Carbono (CO₂), Monóxido de Carbono (CO), Ozono (O₃), Formaldeído (CH₂O) e Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COV totais).

Precisão – Grau de reprodutibilidade dos valores obtidos em medições sucessivas da mesma grandeza, efectuadas nas mesmas condições de operação.

Procedimento de medição – Conjunto de operações descritas pormenorizadamente, envolvidas na execução de uma medição em particular, segundo um dado método.

Rastreabilidade – Propriedade do resultado de uma medição ou o valor de um padrão que consiste em poder relacionar-se a referências determinadas, geralmente padrões nacionais ou internacionais, por intermédio de uma cadeia ininterrupta de comparações, tendo todas as incertezas determinadas.

Regulação – Ajuste agindo apenas nos meios postos à disposição do utilizador.

Tempo de resposta – Tempo que decorre após uma variação repentina do sinal de entrada até que o sinal de saída atinja, dentro de limites especificados, o seu valor final em regime estável e nele se mantenha.

Tempo de obtenção do resultado ou tempo de amostragem – Nos equipamentos que fazem a medição num determinado intervalo de tempo e disponibilizam de imediato o resultado, o tempo de amostragem a considerar é apenas esse intervalo de tempo. No caso de equipamentos que não funcionam “in situ”, o tempo de amostragem terá de ser acrescido do necessário para a entrega final dos resultados da amostragem, sendo esse o tempo de obtenção do resultado a considerar.

Valor nominal – Valor arredondado ou aproximado de uma característica de um instrumento de medição, para auxiliar a sua utilização.

Valor convencionalmente verdadeiro (de uma grandeza) – Valor atribuído a uma grandeza particular e aceite, por vezes por convenção, como tendo uma incerteza apropriada a um determinado objectivo (por exemplo, valor atribuído à grandeza realizada por um padrão de referência).

Valores limite de exposição (VLE) – Concentração de agentes químicos à qual se considera que praticamente todas as pessoas possam estar expostas, dia após dia, sem efeitos adversos para a saúde.

Valor limite de exposição – média ponderada ou tempo médio ponderado (VLE – MP ou VLE TWA) – Concentração média ponderada para um dia de trabalho de 8 horas e uma semana de 40 horas, à qual se considera que praticamente todos os trabalhadores possam estar expostos, dia após dia, sem efeitos adversos para a saúde.

Valor verdadeiro (de uma grandeza) – Valor consistente com a definição de uma dada grandeza em particular (é um valor que seria obtido numa medição perfeita).

LISTA DE ABREVIATURAS

ACGIH – Industrial Hygiene, Environmental, Occupational Health & Safety Resource – American Conference of Governmental Industrial Hygienists

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

CMDEP – Commonwealth of Massachusetts Executive Office of Environmental Affairs – Department of Environmental Protection

COVs T – Compostos Orgânicos Voláteis Totais

FTA ou ETS – Fumo do Tabaco Ambiental ou *Environmental Tobacco Smoke*

IARC – International Agency for Research on Cancer

MADEP – Massachusetts Department of Environmental Protection

MAK ou *Maximum Concentrations at the Workplace* – Valor máximo de concentração de uma substância química em local de trabalho de acordo com a norma alemã, sem provocar dano para os ocupantes em ambientes ocupacionais. Regra geral este valor é uma média da concentração num período que vai até um dia de trabalho ou turno.

NIOSH – National Institute for Occupational Safety and Health

OMS ou WHO – Organização Mundial de Saúde ou *World Health Organization*

PAH – Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos

QAI ou IAQ – Qualidade do Ar Interior ou *Indoor Air Quality*

RSECE – Regulamento de Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

TWA (ou MP) – *Time – Weighted Average* ou Média Ponderada

U.S. EPA - NAAQS – United States Environmental Protection Agency – National Ambient Air Quality Standards

VLE – Valor(s) Limite de Exposição

1º CAPÍTULO – INTRODUÇÃO

1.1 - ENQUADRAMENTO

A Qualidade do Ar Interior (QAI) dos edifícios tem vindo a ser considerada uma questão ambiental de consequências problemáticas. Apesar da QAI afectar todos aqueles que passam a maior parte do seu tempo num ambiente confinado (seja de trabalho ou residencial), poucos têm a consciência de que realmente a questão incide fundamentalmente na “fraca” qualidade do ar que aí respiram. Com o crescente aumento de queixas de indivíduos «por razões aparentemente desconhecidas», que se deverão «à falta de qualidade das atmosferas interiores onde passam uma significativa parte das suas vidas» [3], surgiu em Portugal uma nova legislação sobre a QAI. Actualmente e de acordo com a Organização Mundial de Saúde, os problemas causados pela poluição do ar interior são responsáveis por aproximadamente 2,7% de doenças a nível mundial e por aproximadamente 37% das baixas de trabalhadores, pelo que a sua gestão é de extrema importância [4].

Em 2006, o Regulamento de Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (*Decreto – Lei nº 79/2006 de 4 de Abril*), vulgo RSECE [5], veio regular questões como as condições de conforto térmico, qualidade, renovação e tratamento do ar interior. Estabelece, de acordo com parâmetros de eficiência energética, qualidade, segurança e respeito pelo meio ambiente, limites máximos de consumos de energia nos edifícios, condições de manutenção de sistemas de climatização, monitorização e auditoria e os requisitos a obedecer pelos técnicos responsáveis (*requisitos energéticos, para manutenção da QAI e para concepção das instalações mecânicas de climatização*). Este trabalho pretendeu complementar a aplicabilidade desse Regulamento, dado que até ao momento se constata a inexistência de regulamentação no que diz respeito às metodologias que podem ser utilizadas, ao tipo de equipamentos envolvidos e incertezas subjacentes aos mesmos no âmbito das avaliações de conformidade da QAI de um edifício.

1.2 - OBJECTIVOS

Este trabalho assentou na necessidade de criar uma ferramenta de ajuda à tomada de decisão que suporte e complemente a forma de avaliação da QAI, por meio das tecnologias e equipamentos (de diferentes tipos e com diferentes características) mais adequados, com uma metodologia de análise bem definida, sustentada por uma avaliação crítica apropriada. Como tal, pretendeu-se analisar, para cada um dos poluentes abrangidos pelo RSECE, um conjunto de parâmetros (a seguir mencionados) fazendo um estudo comparativo de todos eles.

As Tecnologias – Existem diferentes formas de medir/analisar/avaliar/quantificar um mesmo poluente;

Os Equipamentos – Os mais adequados de acordo com as diferentes tecnologias existentes, por poluente;

A Portabilidade – Adequação ao uso; o facto de um equipamento ser mais ou menos prático; ser ou não transportável, de forma a medir directamente numa atmosfera interior a existência e concentração de cada poluente;

Custo do Equipamento – Por fabricante/marca no mercado;

Exactidão permitida pelos Equipamentos – Exactidão/linearidade dos dados (ou sinais) fornecidos pelos aparelhos de medida na gama em que se pretende trabalhar;

Calibração dos Equipamentos – Possibilidade de calibrar/ajustar o equipamento;

Sensibilidade do Equipamento – Limite de detecção, resolução, limites de quantificação. Gama de medição;

Custo da Análise – Resposta imediata e directa do equipamento ou alternativamente, necessidade de recorrer a um laboratório de análise com custos inerentes;

Assistência no caso de Reparação ou Manutenção – Existência ou não de representantes em Portugal que efectuem estas tarefas de forma a reduzir o tempo de paragem;

Tempo de obtenção do resultado (incluindo o tempo de resposta do laboratório) – Toda a logística desde a amostragem até à obtenção do resultado final.

A partir da pesquisa realizada a diversos equipamentos de acordo com as tecnologias existentes, analisaram-se os prós e os contras de cada um e procurou-se elaborar um quadro comparativo global. Tendo em conta os parâmetros estudados, concluiu-se que era adequado realizar a análise para cada um dos poluentes referidos no RSECE.

Foram tidos em consideração os seguintes aspectos, que poderão influenciar a QAI [6]:

- A qualidade do ar exterior;
- A proporção do ar trocado com o exterior (taxas de renovação);
- Os materiais usados na construção e mobiliário do interior dos edifícios;
- As actividades (especialmente as que envolvem combustão), taxa de ocupação, tipo de utilização dos edifícios.

Foram igualmente considerados os compostos que, não estando abrangidos pelo RSECE, poderão ser igualmente importantes e para os quais interessa definir como proceder caso existam.

Pretendeu-se ainda formular regras, incluindo a definição dos períodos (*horários*) a que devem ser efectuados os ensaios, dependendo da tipologia dos edifícios e sua utilização; definição das condições de ocupação em que se devem fazer as medições; quanto tempo deverão estas durar e em que condições uma medição deve ser considerada válida.

1.3 - ESTADO DA ARTE

A QAI é um tema relativamente recente, que surgiu como “novidade” sob a forma de Regulamento (RSECE) a 4 de Abril de 2006 e que veio despertar consciências para a necessidade de obter uma sustentabilidade energética certificada e devidamente instalada (primeiro nos novos edifícios e, numa segunda fase, a partir do ano de 2009, alargando a todo o tipo de edificações existentes) e uma manutenção/controlo da QAI, enunciando para isso diversos requisitos.

A poluição/contaminação do ar interior coloca muitos desafios à saúde. Nos países industrializados, por norma, as pessoas passam mais de 90 por cento do seu tempo em ambientes interiores. As crianças, idosos, doentes crónicos e a maioria dos habitantes das zonas urbanas de qualquer idade, sentem com mais intensidade as consequências da reduzida QAI. As concentrações de muitos poluentes do Ar Interior, muitas vezes excedem as concentrações exteriores. Os locais de maior preocupação são aqueles que envolvem exposições contínuas e prolongadas, como as residências, as escolas e os locais de trabalho (ambientes ocupacionais).

Actualmente na Europa não existe uma legislação similar no âmbito da QAI, pelo que Portugal foi de certo modo “inovador” na tentativa de elaboração de um conjunto de regras que devem ser implementadas e cumpridas.

Como suporte e elemento de comparação, o RSECE tem por base regulamentações americanas de instituições como a *Environmental Protection Agency* (U.S. EPA) [7] e a *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) [8] com as normas 62-2001 e a 62.1-2004 [9]. A Organização Mundial de Saúde também serviu de base, no passado, na orientação de alguns valores limite de exposição para o nosso país.

Em Portugal, apenas se registava antes do RSECE uma Norma com preocupações no âmbito da Qualidade do Ar, especificamente na Higiene e Segurança no Trabalho, a NP 1796 de 1988 que tem sido sucessivamente actualizada (a mais recente é de 2007) que estabelece os Valores Limite de Exposição (VLE) para substâncias nocivas existentes no ar dos locais de trabalho.

Ainda se encontra em elaboração a portaria que irá regulamentar a legislação sobre QAI e definir a forma como deverão ser cumpridas as regras ditadas pelo Decreto-Lei nº 79/2006. Este trabalho visou a elaboração de uma ferramenta de ajuda na tomada de decisão para a aplicação deste regulamento, nomeadamente em relação às metodologias de análise e formas de encarar esta obrigatoriedade.

1.4 - ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

Este relatório encontra-se organizado em quatro capítulos. No primeiro de introdução inclui-se o enquadramento, os objectivos, o estado da arte em relação à QAI e a organização do relatório.

No segundo descreve-se as metodologias utilizadas no trabalho realizado, bem como os poluentes objecto de estudo.

Num terceiro serão apresentados os resultados deste trabalho e faz-se a discussão dos mesmos.

Por fim, num último capítulo, serão apresentadas as conclusões finais do trabalho.

Em anexo, encontram-se, entre outros esclarecimentos, as tabelas com as informações encontradas relativas aos equipamentos em estudo e as respectivas características e parâmetros de análise.

2º CAPÍTULO – METODOLOGIAS E POLUENTES

2.1 - METODOLOGIA USADA

Foi efectuada uma pesquisa de informação sobre empresas que comercializam equipamentos de medição, amostragem, análise e/ou monitorização dos seis poluentes referidos no RSECE: Partículas com diâmetro aerodinâmico de 10 μm (PM_{10}), Dióxido de Carbono (CO_2), Monóxido de Carbono (CO), Ozono (O_3), Formaldeído (CH_2O) e Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COV Totais).

De acordo com os parâmetros em estudo, foram reunidos os dados em forma de tabelas (apresentadas nos anexos 1, 2 e 3) para cada tipo de poluente.

Procedeu-se à adequação dos elementos encontrados com os critérios do anexo VII do RSECE (concentração máxima de referência do poluentes no interior dos edifícios existentes em mg/m^3) [5].

Os limites referidos no RSECE são:

- Partículas PM_{10} : 0,15 mg/m^3
- CO_2 : 1800 mg/m^3 ou 999 ppm
- CO : 12,5 mg/m^3 ou 11 ppm
- O_3 : 0,2 mg/m^3 ou 0,1 ppm
- Formaldeído: 0,1 mg/m^3 ou 0,08 ppm
- COVs Totais: 0,6 mg/m^3

Há défice de informação disponibilizada pelos fabricantes e fornecedores dos equipamentos e quando existe, não é informação homogénea e não são apresentadas as mesmas especificações técnicas em equipamentos diferentes com a mesma finalidade. Por forma a complementar esta informação, foi feita uma abordagem (e-mail e telefone) junto dessas entidades para compilação de dados.

Foram comparados os resultados obtidos tendo em conta o tipo de equipamento e as respectivas características (parâmetros de análise no presente estudo), de forma a seleccionar aqueles que se enquadravam nos objectivos pré estabelecidos.

Em cada tabela dos anexos 1, 2 e 3 encontram-se os seis poluentes designados por letras (*de A a F*) dispostos em colunas, e em cada linha os parâmetros/características (*tecnologia utilizada, portabilidade, exactidão, possibilidade de ajuste, custos, tempo de obtenção de resultados e assistência*) a serem avaliados para cada equipamento diferente capaz de medir cada poluente (*numeração algébrica para os equipamentos por poluente*).

O objectivo deste estudo é essencialmente a ponderação dos parâmetros/características para cada equipamento para posterior classificação dos mesmos e assim poder ser feita uma escolha mais acertada daqueles capazes de analisar determinados poluentes existentes no ar interior de um espaço confinado.

Como critério de selecção atribuíram-se valores ponderados mais elevados aos parâmetros/características consideradas de maior relevância e determinantes na escolha do equipamento, e valores mais baixos naquelas que não se adequam da mesma forma para a selecção mais acertada desse mesmo equipamento.

Definiu-se uma escala de 1 a 5 para a classificação dos equipamentos e as características consideradas foram:

- ✓ Tecnologia utilizada pelo equipamento (princípio de medição);
- ✓ A portabilidade do equipamento;
- ✓ A exactidão do equipamento (tendo sempre em conta o limite de quantificação ou sensibilidade do mesmo);
- ✓ A possibilidade de ajuste do equipamento na calibração ou posterior a esta;
- ✓ O custo do equipamento e/ou custo da análise global associado a cada poluente;
- ✓ O tempo de obtenção do resultado (medição; análise);
- ✓ A existência de assistência técnica ao equipamento em território nacional.

2.1.1 - ABORGAGEM DE CADA PARÂMETRO

Tecnologia utilizada pelo equipamento

É importante salientar que existem diversos princípios de medição para a quantificação de um poluente. Por isso, a escolha dos melhores equipamentos deve passar sempre pela selecção da tecnologia utilizada que mais se adequa a cada um dos poluentes a serem medidos e deverão estar de acordo com as normas europeias, sempre que possível e seja relevante.

Os métodos utilizados deverão ter uma elevada correlação aos métodos de referência, de forma a garantir maior exactidão dos resultados [4].

Os equipamentos a ser seleccionados terão de garantir esta “validação” para que possam ser utilizados e, por isso, ser incluídos neste estudo. No entanto, este parâmetro não foi utilizado na ponderação efectuada no presente estudo.

Portabilidade do equipamento

A portabilidade de um equipamento diz respeito à maior ou menor facilidade em deslocar o mesmo para a realização de uma medição no local a amostrar, o que torna as amostragens mais eficazes do ponto de vista do utilizador.

Há equipamentos que permitem a obtenção de resultados de forma imediata, no próprio local de análise. Existem porém outros que apesar da amostragem “*in situ*”, apenas revelam o resultado num posterior tratamento dos dados.

A generalidade dos equipamentos portáteis dispõe da possibilidade de serem realizadas várias amostragens no mesmo espaço de tempo (de forma programável ou não), ganhando deste

modo eficácia competitiva no mercado. Isto revela-se uma vantagem principalmente em relação àqueles equipamentos que, mesmo sendo portáteis, não possuem esta opção de realização de amostragens.

Dada a multiplicidade de espaços interiores existentes e que poderão ser objecto de análise num estudo de QAI, a utilização de amostradores mais pequenos, de fácil transporte, favorecerá a sua utilização em espaços com tamanho reduzido [4].

Exactidão do equipamento

Quanto maior for a exactidão do equipamento, em princípio mais fiáveis serão os seus resultados. É portanto necessário que, para haver maior credibilidade num determinado estudo, o resultado de uma medição tenha de ser o mais rigoroso possível.

O maior ou menor erro de medição permitido pelo equipamento fornece o grau de fiabilidade do mesmo. Quanto maior o erro, menor a fiabilidade.

Quando um equipamento possui uma gama de medição onde o valor medido juntamente com a incerteza associada, está muito próximo ou ultrapassa mesmo o valor limite/concentração de referência, essa gama de medição, e por conseguinte, a incerteza associada, não serão adequadas para o cumprimento do valor limite/concentração de referência exigido para cada poluente químico abrangido pelo RSECE.

Os valores indicados pelos equipamentos acrescidos da incerteza associada têm de estar claramente acima ou abaixo da concentração de referência (como se pretende pelos requisitos do RSECE [5]) para que os resultados sejam esclarecedores.

Possibilidade de ajuste do equipamento na calibração

A possibilidade de ajuste do equipamento na calibração para obtenção de um resultado o mais aproximado possível do valor verdadeiro da mensuranda (com menor erro de medição possível) é uma mais valia que se deve ter em conta na escolha do equipamento. A correcção dos resultados realiza-se através de uma recta de correcção realizada posteriormente para eliminar o erro do equipamento em relação ao padrão e já é possível para qualquer equipamento que faça este tipo de medição.

Custo do equipamento

O custo dos equipamentos é invariavelmente um parâmetro importante em qualquer tipo de análise e também nos poluentes físico-químicos. Não se pretende seleccionar o equipamento mais dispendioso se este não reunir outros parâmetros/características que sejam igualmente determinantes e favoráveis neste estudo; da mesma forma não se elege o equipamento de custo mais acessível (apenas e só pelo facto da questão financeira ser um factor “determinante” na selecção de um equipamento...), se o mesmo não garantir a melhor opção em termos de

custo/benefício, preço/qualidade. Pretende-se encontrar o equipamento mais acessível que responda satisfatoriamente ao pretendido.

É ainda de salientar que o custo do equipamento não é só o do investimento imediato mas de todos os consumíveis e custos de manutenção ao longo do tempo de vida do mesmo. Também se devem ter em consideração os custos totais de análise, onde o custo do equipamento tem um papel determinante, mas é acrescido das despesas associadas (taxas, acessórios do equipamento, consumo de energia, etc.).

Tempo de obtenção do resultado de uma medição

O tempo de obtenção do resultado final (desde a amostragem até ao envio do resultado final) é também essencial para este tipo de avaliação. A eficiência, custo e execução de um trabalho variam em função do tempo de resposta de um equipamento ou do intervalo de tempo que uma empresa/laboratório necessita para a análise. Para efeitos de regulamentação, quanto mais imediata puder ser detectada a concentração de um determinado poluente no ar (quanto menor for o tempo de resposta do equipamento), mais rapidamente poderão ser tomadas medidas de minimização e/ou mitigação (e sempre que possível, prevenção) face a cada contaminante. Além disso, quanto mais célere for a medição e obtenção do resultado, mais eficaz se torna a tarefa da avaliação e conseqüentemente existe uma substancial redução de custos no trabalho ao cliente final.

Este parâmetro pode ainda apresentar implicações financeiras e outros constrangimentos aos utilizadores, como por exemplo, o condicionamento do uso do espaço durante o período de avaliação da qualidade do ar [4].

Assistência ao equipamento em Portugal

É de extrema importância que exista assistência técnica dos equipamentos comercializados, para que se garanta a manutenção rápida (espaços de tempo mais curtos) com menores custos de transporte.

2.1.2 - PONDERAÇÃO

O valor atribuído a cada parâmetro varia de acordo com o grau de importância sugerido neste estudo.

Para a análise da ponderação, apresenta-se num exemplo o quadro seguinte:

Quadro (1) – Exemplo de comparação entre a exactidão e a portabilidade de equipamentos para um mesmo poluente

Equipamento	Exactidão*	Portabilidade
Equipamento A (fim de escala: 100 ppm) para um dado poluente	0,1 ppm	Peso do equipamento: 50 kg
	Factor de ponderação (F.P.) = 5	F.P. = 1
Equipamento B (fim de escala: 75 ppm) para o mesmo poluente	0,2 ppm	É portátil; peso do equipamento: 1 kg
	F.P. = 4	F.P. = 5

*Nota: Considerando que o valor limite/concentração de referência para o poluente em questão é, por hipótese, 20 ppm:

- 0,1 ppm (exactidão do equipamento A) x 100 ppm (fim de escala de A) = 10 ppm. É aceitável e encontra-se abaixo do valor limite/concentração de referência a cumprir (por hipótese).
- 0,2 ppm (exactidão do equipamento B) x 75 ppm (fim de escala de B) = 15 ppm. Encontra-se abaixo do valor limite/concentração de referência.

Balanço por equipamento:

$$A: 5 \times 1 = 5$$

$$B: 4 \times 5 = 20$$

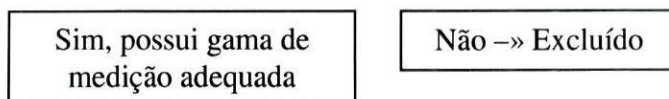
Comparando estas duas características – a exactidão e a portabilidade (os valores apresentados na grelha são hipotéticos), pode concluir-se que neste caso o equipamento mais adequado é o segundo (B), para o qual se obtém um valor de ponderação superior na escala previamente definida de 1 a 5 para cada característica.

Ou seja, um equipamento que numa escala de 0 a 20 ppm tem uma exactidão de 0,1 ppm, é-lhe atribuído um factor de ponderação no valor de 5, uma vez que 0,1 em 20 ppm são 2 ppm que não são de todo relevantes pensando na amplitude de escala que podemos ter (de 0 a 100 ppm). O equipamento B tem metade da exactidão do equipamento A ($0,2 * 20 = 4$ ppm), pelo que tem de ter um factor de ponderação menor.

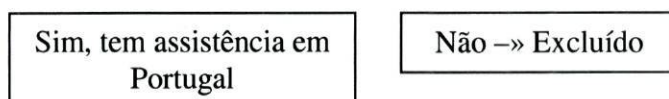
Relativamente à portabilidade, o peso de cada equipamento é bastante diferente, pelo que os próprios factores de ponderação atribuídos tiveram esse facto em consideração. Neste caso, foram atribuídos os valores de 1 e 5 aos equipamentos A e B, respectivamente, verificando-se que apenas o segundo equipamento pode ser utilizado “in situ”; isto é, é portátil.

Para cada poluente, a avaliação dos equipamentos e posterior ponderação foram realizadas de forma a dar resposta às seguintes perguntas:

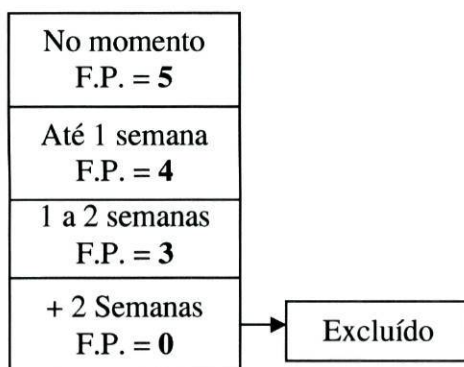
O equipamento possui uma gama de medição que inclui o valor da concentração máxima de referência estabelecido pelo RSECE?



Tem assistência em Portugal?
(não basta a comercialização do próprio equipamento, tem de existir a disponibilidade e possibilidade de assistência ao comprador)



Qual o tempo de obtenção do resultado?



É portátil?



Quanto pesa; qual a relação peso/volume?

Para cada poluente, foi realizado o seguinte procedimento (neste caso relativamente ao peso do equipamento indicado pelas informações disponibilizadas de cada aparelho):

[Subtracção dos valores dos extremos (mais pesado - mais leve) / número de equipamentos em estudo por poluente] = X

O valor obtido nesta divisão (designado simbolicamente por **X** para a característica portabilidade) corresponde, para o poluente A (PM₁₀) ao seguinte:

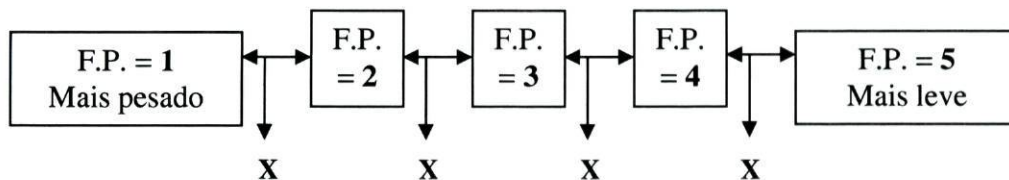
$$X = \frac{(1,1 - 0,5)kg}{5} = 0,12$$

- ✓ 1,1 kg corresponde ao peso do equipamento estudado com valor mais elevado para este poluente (A) – equipamento mais pesado.
- ✓ 0,5 kg constitui o valor mais baixo encontrado para o factor peso; corresponde ao equipamento mais leve.
- ✓ O valor 5 em denominador na equação apresentada corresponde aos 5 equipamentos estudados para o poluente A.

Desde o equipamento mais leve (para o poluente A, 0,5 kg) até ao mais pesado (1,1 kg), foram atribuídos os factores de ponderação para cada intervalo encontrado:

- 0,5 kg (peso mínimo encontrado dos equipamentos estudados) + **X** = 0,62
- 0,62 + **X** = 0,74
- 0,74 + **X** = 0,86
- 0,86 + **X** = 0,98
- 0,98 + **X** = 1,1 kg (peso máximo encontrado dos equipamentos estudados)

Os factores de ponderação (F.P.) de 1 a 5 foram atribuídos, respectivamente, aos intervalos [0,98 – 1,1]; [0,86 – 0,98]; [0,74 – 0,86]; [0,62 – 0,74]; [0,5 – 0,62].

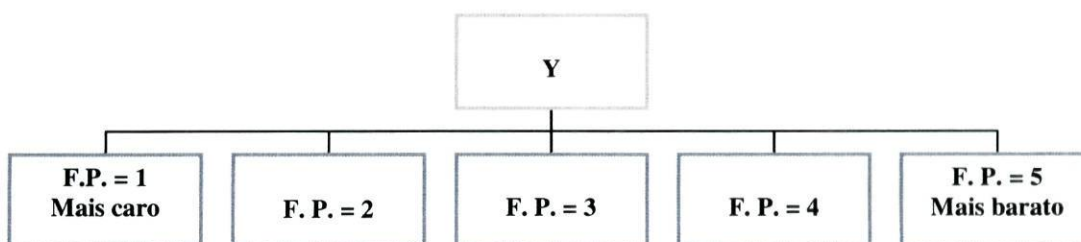


O mesmo procedimento foi efectuado relativamente às restantes características.

Custo do equipamento (e conseqüente custo de análise global) a cada poluente

[Subtracção dos valores extremos (mais caro – mais barato) / número de equipamentos em estudo por poluente] = Y

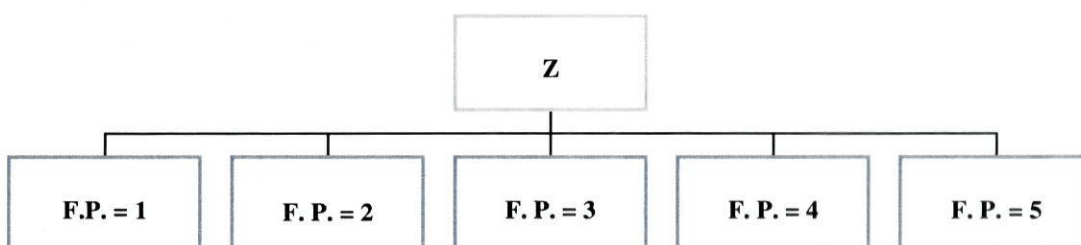
Atribuiu-se um factor de ponderação (de 1 a 5) cumprindo o valor do intervalo obtido (Y) no cálculo anterior para o parâmetro/característica custo do equipamento.



Procedeu-se do mesmo modo para a exactidão dos equipamentos disponibilizada pelas empresas/fornecedores.

Exactidão de cada equipamento nas medições que permite efectuar

[Subtracção dos valores extremos (maior valor de exactidão indicado - menor valor de exactidão indicado) / número de equipamentos em estudo por poluente] = Z



Depois da atribuição de um valor a cada característica, a ponderação seguiu o seguinte quadro:

Quadro (2) – Contabilização por parâmetros em estudo

	Portabilidade	Exactidão	Custo (+ IVA)	Tempo de obtenção do resultado	Total
Equipamento	15% do F.P.	35% do F.P.	35% do F.P.	15% do F.P.	100%

F.P. – Factor de ponderação atribuído entre 1 e 5 a cada parâmetro/característica, por equipamento.

A ponderação realizada teve por base um processo de testes/experimentações com os dados de alguns equipamentos, em que se avaliou a maior ou menor valorização percentual de cada um dos quatro parâmetros seleccionados, atribuindo um maior ou menor “peso” para uma escolha de equipamentos equilibrada e coerente.

O factor custo foi considerado dos mais importantes pois o que se pretende é minimizar a relação custo – benefício e para garantir a maior fiabilidade nas medições que um equipamento pode disponibilizar, a exactidão é o outro parâmetro determinante numa análise de QAI, mesmo que para isso seja necessário “prescindir” do “melhor” tempo de obtenção de resultados e/ou obter esse mesmo resultado posteriormente e não “in situ” com um equipamento portátil.

2.2 - POLUENTES EM ESTUDO

Nesta secção descrevem-se os poluentes mais relevantes para a QAI.

2.2.1 – POLUENTES ABRANGIDOS PELO RSECE

Matéria Particulada (PM₁₀)

Partículas em suspensão susceptíveis de serem recolhidas através de uma tomada de amostra selectiva, com eficiência de corte de 50%, para um diâmetro aerodinâmico de 10 µm, PM₁₀ (uma partícula com diâmetro aerodinâmico de 10 µm, move-se num gás como uma esfera de densidade 1 g/cm³ e com um diâmetro de 10 µm).

Estas partículas correspondem à fracção inalável (torácica). Na sua composição estão incluídos o “pó-mineral” (“dust”) distribuído pelo vento (óxidos minerais e outros minerais da crosta terrestre), o sal marinho (*Cloreto de Sódio, NaCl*) das espumas oceânicas, entre outros

componentes como o magnésio, o sulfato, o cálcio, o potássio e outros compostos orgânicos (de origem antropogénica – combustão de combustíveis fósseis – ou biogénica). As fontes mais comuns de PM_{10} num ambiente interior são: o ar exterior; os aerossóis formados secundariamente – as partículas de combustão, os vapores metálicos e os orgânicos recondensados; e as actividades numa residência como o cozinhar, o aspirar, a utilização de velas e o fumar.

A Norma Portuguesa (NP) 1796 2007 refere de acordo com a ACGIH (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*), o valor de 10 mg/m^3 para o VLE-MP de partículas inaláveis (torácicas).

Efeitos na saúde

Os efeitos da inalação de material particulado incluem o surgimento de doenças como a asma, o cancro do pulmão em alguns casos particulares, alterações ao nível cardiovascular (*nanopartículas*) e morte prematura. O tamanho das partículas é determinante no que diz respeito ao local do tracto respiratório onde as mesmas se vão instalar depois de inaladas. As PM_{10} especificamente podem-se alojar nos brônquios e nos pulmões e causar problemas de saúde essencialmente a este nível. Quanto mais pequeno o tamanho das partículas, mais internamente estas podem penetrar e por conseguinte mais danos podem causar, podendo ser fatal.

Dióxido de Carbono

O CO_2 , anidrido ou gás carbónico, ou ainda gelo seco (quando se encontra no estado sólido), é um gás incolor, constituído por moléculas de geometria linear e carácter polar, sendo por isso as atracções intermoleculares muito fracas, e por conseguinte um gás em condições ambientais.

O carbono é o elemento básico na composição dos organismos, tornando-se indispensável para a vida no planeta. Nas últimas décadas, devido à intensa queima de combustíveis fósseis, a quantidade de CO_2 na atmosfera tem aumentado muito, contribuindo para o aquecimento da Terra. O CO_2 é o gás que mais contribui para o aquecimento global. Tem também um papel importante nos processos de inversão térmica e nevoeiro fotoquímico. Nas atmosferas interiores, o dióxido de carbono surge a partir da própria respiração, do fumo de tabaco, do ar exterior (transportes, indústria) e dos processos de combustão (lareiras, esquentadores, fogões).

Os valores limite de exposição em tempo médio ponderado (VLE-MP) são 5.000 ppm [8 horas] pela ACGIH, 3.500 ppm [exposição a longo prazo] segundo a norma canadiana [9] e 5000 ppm pela NP 1796 2007.

Efeitos na saúde

Os riscos associados a este poluente vão desde a asfixia simples (quando inalado em vez de oxigénio, que não deve descer dos 18%); quando ingerido em excesso, pode causar irritações, náuseas, vómitos e hemorragias no trato digestivo; o gelo seco, entrando em contacto com a pele pode causar queimaduras.

Monóxido de Carbono

O CO é o produto resultante da oxidação incompleta do carbono em fenómenos de combustão Nomeadamente em derivados do petróleo como a gasolina, o querosene ou o gás. É um gás (ou um líquido a pressão mais elevada) praticamente sem odor, sem cor e sem sabor. Os fogões de cozinha e os esquentadores, bem como as lareiras e outras fontes de combustão, são os principais responsáveis por potenciais concentrações elevadas de CO numa atmosfera interior. Deficiências na combustão de qualquer um destes resultam normalmente em concentrações muito elevadas em ambientes interiores.

Os valores limite de exposição, VLE, média ponderada (MP) são: 20 ppm na NP 1796 2007; 25 ppm segundo a *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH); 30 ppm de acordo com a norma alemã MAK (*Maximum Concentrations at the Workplace*); 25 ppm [1 hora] ou 11 ppm [8 horas] de acordo com a norma canadiana e 90 ppm [15 minutos], 50 ppm [30 minutos], 25 ppm [1 hora] e 10 ppm [8 horas] segundo OMS [9].

Efeitos na saúde

Os efeitos causados pelo CO são muito semelhantes a uma gripe, embora possa ter consequências muito mais graves a concentrações elevadas. Os efeitos da exposição ao CO, no entanto, variam de pessoa para pessoa dependendo da idade, do estado de saúde em que se encontram e da concentração e duração da exposição a que foram submetidas. Genericamente, a baixas concentrações ocorre fadiga em pessoas saudáveis e dores no peito (angina no peito) em pessoas com doenças cardíacas. Quando se tratam de exposições a concentrações elevadas, alterações na visão e na coordenação, cefaleias, mau – estar, confusão e náuseas são os sintomas mais frequentes. Torna-se fatal se as concentrações forem muito elevadas. Os efeitos agudos surgem devidos à capacidade, quando inalado, de formar complexos com a hemoglobina no sangue, inibindo a entrada do oxigénio. O CO é, por isso, um asfixiante químico.

Ozono

O O₃ é um gás que, comparativamente com o O₂, é mais instável e bastante reactivo. Ocorre naturalmente nas camadas superiores da atmosfera terrestre – ozono estratosférico (reação fotoquímica; contribui para a filtração dos raios UV), mas também surge na camada mais baixa da atmosfera, depois da ocorrência de trovoadas e como produto do nevoeiro fotoquímico. À temperatura ambiente é um gás azulado, com odor forte (picante e irritante). É um poderoso agente oxidante (capaz de oxidar muitos compostos orgânicos) e é utilizado comercialmente como corante/branqueador (têxtil, por exemplo), desodorizante e desinfetante. É um poderoso germicida, sendo por isso usado na esterilização do ar e desinfecção da água. As fontes de contaminação interior pelo O₃ vão desde: a “infiltração” do ar exterior (trocas gasosas ao nível das infra-estruturas), a composição interior das superfícies – mobília, tapetes ou carpetes, tecidos – até à reação com outros compostos no ar interior. As fontes interiores geradoras deste poluente e que podem provocar elevadas concentrações, incluem os próprios geradores de O₃, os purificadores de ar electrostáticos, as máquinas fotocopiadoras, as

impressoras a laser, etc. No entanto, a maior fonte de contaminação interior por O₃ parece ser o ar exterior.

Os VLE-MP são 0,12 ppm [8 horas] pela norma canadiana; 0,06 ppm [8 horas] de acordo com a OMS [9] e 0,05 ppm (trabalho pesado), 0,08 ppm (trabalho moderado), 0,10 ppm (trabalho leve) e 0,20 ppm (carga de trabalho pesado, moderado ou leve ≤ 2 horas) de acordo com a NP 1796 2007.

Efeitos na saúde

Quando inalado, o O₃ pode causar danos ao nível dos pulmões. Mesmo a baixas concentrações pode tornar-se irritante e tóxico; pode causar dores no peito, tosse, abrandamento da respiração, irritações da garganta. Pode agravar casos de doenças respiratórias (como a asma) e comprometer a capacidade do corpo combater infecções do trato respiratório, mas a susceptibilidade varia bastante de pessoa para pessoa.

Formaldeído

O Formaldeído, também designado como formol, formalina e óxido de metileno, tem a fórmula química CH₂O, é um gás às pressões e temperaturas mais comuns e normalmente é usado em solução aquosa a cerca de 27% em massa contendo metanol. Em solução é um líquido incolor. Enquanto gás tem um odor penetrante e irritante. É um componente da exaustão de diesel e produto da pirólise (queima) de revestimento de eléctrodos. É um constituinte da atmosfera dado que ocorre como intermediário estável na oxidação do metano e de outros compostos orgânicos voláteis (COVs), em particular no nevoeiro fotoquímico [10]. A sua concentração em ambientes exteriores é demasiado pequena que não lhe é atribuída relevância significativa, enquanto que em atmosferas interiores ele encontra-se com valores bem mais elevados e portanto, maior importância.

As fontes de formaldeído no ar interior são principalmente os derivados da indústria de materiais de construção e produtos de mobiliário para as habitações (incluindo os materiais que utilizem resinas sintéticas à base de formaldeído), o fumo do tabaco e as aplicações de queima de fuel em atmosferas confinadas não ventiladas (como por exemplo os esquentadores de gás ou querosene). Também as resinas usadas em materiais aglomerados e os produtos da reacção de outros COVs devido à actividade microbiológica são exemplos importantes de fontes deste poluente.

Os VLE-MP são 0,75 ppm de acordo com a OSHA; 0,016 ppm [10 horas] de acordo com NIOSH; 0,3 ppm como valor MAK; 0,08 ppm [30 minutos] de acordo com a OMS e 0,1 ppm [exposição a longo prazo; acima de 0,05 ppm já se consideram possíveis efeitos cancerígenos] de acordo com a norma canadiana [9]. A NP 1796 2007 não refere VLE-MP mas sim VLE-CD (curta duração) como sendo: concentração máxima 0,3 ppm.

Efeitos na saúde

O formaldeído é comprovadamente carcinogénico em animais (classificação A2 na NP 1796:2007) e foi também considerado a partir de 2006 pelo IARC (*International Agency for Research on Cancer*) carcinogénico também para os seres humanos. Quando as concentrações

são próximas de 0,01 ppm há registo de casos de irritações e sensações de ardor ao nível dos olhos, nariz, garganta e pele. Em concentrações mais elevadas as crianças podem desenvolver mais infecções respiratórias, alergias (eczemas; sensibilização) e asma, embora estas consequências ainda não sejam totalmente consensuais. Como efeitos globais na saúde, o formaldeído pode ser responsável por irritações, náuseas, fadiga, dificuldades na respiração, tosse e alergias.

COVs Totais

Designa-se por Composto Orgânico Volátil (COV) “qualquer substância formada por átomos de carbono, excluindo o monóxido de carbono, o dióxido de carbono, o ácido carbónico, os carbonatos metálicos e o carbonato de amónio (que participa nas reacções fotoquímicas atmosféricas)” (*U. S. EPA*). Segundo a União Europeia, COV é “qualquer composto orgânico com um ponto de ebulição inferior ou igual a 260 °C medido a uma pressão atmosférica de 101,3 kPa”.

“COVT” é a designação utilizada de forma corrente para caracterizar a Quantidade Total de Compostos Orgânicos Voláteis que existem numa dada atmosfera. É a forma mais simples encontrada para dar informação sobre a poluição química total por COVs a que os ocupantes estão expostos num ambiente interior. Porém, o uso de COVT como indicador da qualidade do ar abrange apenas os COVs que podem ser “vistos” pela técnica cromatográfica (GC) usada na respectiva determinação, que se restringe aos compostos com ponto de ebulição entre 50 e aproximadamente 260°C. Excluem-se por isso compostos orgânicos muito voláteis de grande relevância, como o formaldeído, acetaldeído e compostos semi-voláteis como aminas, diisocianatos, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, entre outros [11]. São considerados Compostos Muito Voláteis (COMV) aqueles cujo ponto de ebulição é inferior a 50°C e Compostos Semi-Voláteis (COSV) se é superior a 260°C.

A concentração de COVs num ambiente interior é substancialmente superior à concentração no exterior. As fontes que emitem COVs em ambientes interiores variam entre materiais de construção (por exemplo: tintas, vernizes, aglomerados de cortiça e parquet de pinho ou outro tipo de madeira), mobiliário e produtos consumidos no interior de um edifício (actividades dos indivíduos como por exemplo a utilização de equipamento de escritório ou uso de produtos de limpeza). Processos de combustão também geram emissões adicionais de COVs [12]. Dependendo da localização geográfica dos edifícios, devem considerar-se as fontes exteriores como elemento de contaminação interior [11].

Efeitos na saúde

Os COVs são responsáveis por vários efeitos na saúde, que podem ser divididos em três principais grupos: os efeitos carcinogéneos e na reprodução (os responsáveis são essencialmente o benzeno, o cloreto de vinilo e os ésteres ou acetatos de ésteres glicóis [EG]); os efeitos na pele e membranas mucosas dos olhos, nariz e garganta (suspeita-se que para além do formaldeído, o acetaldeído e acroleína estejam relacionados com estes efeitos; alguns ésteres glicóis também estão associados ao aparecimento de asma e irritações nos olhos) e os efeitos no sistema nervoso (como a acetona, benzeno, tolueno, ciclohexano, n-hexano, formaldeído, estireno, solventes clorados, etc) [11].

2.2.2 – POLUENTES NÃO ABRANGIDOS PELO RSECE

Procurou-se fazer uma pesquisa de novos parâmetros a monitorizar no futuro. Para tal, seguiram-se os seguintes procedimentos:

- Pesquisa “on-line” exaustiva acerca da regulamentação internacional que tenha enquadrado outros parâmetros de avaliação diferentes daqueles abrangidos pelo RSECE;
- Consequências prováveis desses compostos como possíveis poluentes do ar interior e sua perigosidade para a saúde humana;
- Possíveis formas de medição desses parâmetros.

Depois de reunidas as informações e tendo em conta os objectivos deste trabalho, tentou-se formular um conjunto de características/afirmações sobre compostos que se sabe serem prejudiciais, a determinadas concentrações e podem ocorrer em atmosferas confinadas.

Os dados estão indicados aqui e no anexo 4 de forma mais completa.

Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (PAH)

- ✓ São formados durante a combustão incompleta ou pirólise de material orgânico e relaciona-se com a produção global de energia a partir do petróleo, gás, carvão e da própria queima da madeira;
- ✓ O Benzo [a] pireno, vulgo BaP (anexo 4), é o PAH mais apropriado para ser usado como indicador da presença no ambiente de concentrações de PAHs que podem ser potencialmente carcinogénicas.
- ✓ Constatada a escassez de dados relativos à “perigosidade” associada aos PAH, será preciso efectuar estudos mais aprofundados de forma a ser possível estabelecer VLE que sirvam de controlo a estas substâncias, tal como tem vindo a ser efectuado com as restantes já regulamentadas. De acordo com a *U. S. EPA*, dados epidemiológicos associados a exposição ocupacional deverão servir de base para a estimativa do risco de exposição a PAHs.
- ✓ Em atmosferas interiores, os PAHs encontram-se normalmente em concentrações entre 5 e 10 ng/m³, enquanto que em atmosferas abertas os níveis são mais baixos.

Dióxido de Enxofre (SO₂)

- ✓ Gás tóxico, que na presença de humidade origina ácido sulfuroso e por oxidação também ácido sulfúrico, resultante da queima de combustíveis fósseis contaminados com enxofre;
- ✓ A inalação de SO₂ em altas concentrações (acima dos 150 ppm) produz um acesso de tosse violento devido à sua acção nas vias respiratórias além da forte irritação nos olhos,

podendo mesmo causar queimaduras, devido à reacção fortemente exotérmica com a água. É também corrosivo, podendo favorecer a degradação de edifícios;

- ✓ De acordo com a OMS os VLE-MP do SO₂ em ambientes interiores não devem ultrapassar os 0,048 ppm [24 horas] e 0,012 ppm [1 ano]. A Norma Canadiana adianta ainda os valores 0,38 ppm [5 minutos] e 0,019 ppm para um valor geral admissível [9];
- ✓ No Brasil, a *Norma Regulamentar 15 (NR 15)* determina que no ambiente de trabalho a concentração máxima para uma exposição semanal de até 48 horas é de 4 ppm e na caracterização desta situação, o ambiente é considerado com o grau de insalubridade máximo [13]. A NP 1796 2007 indica para VLE-MP 2 ppm e VLE-CD 5 ppm;
- ✓ Cuidados especiais no controlo deste composto em ambientes hospitalares – o VLE-MP é de 5 ppm numa exposição de 8 horas [14].

Dióxido de Azoto (NO₂)

- ✓ As fontes primárias de contaminação interior são os processos de combustão em que se usa ar como comburente (aparelhos não ventilados: fogões a gás, instalações de ventilação “defeituosas”, processos de soldadura e o fumo do tabaco, etc.);
- ✓ Exposições continuadas a níveis elevados de dióxido de azoto podem contribuir para o desenvolvimento de bronquites crónicas ou agudas. Níveis mais baixos podem causar um aumento na reactividade bronquial em asmáticos, diminuição da função pulmonar em doentes com obstruções pulmonares crónicas e um aumento do risco de infecções respiratórias, especialmente em crianças pequenas;
- ✓ De acordo com a *U. S. EPA*, o nível médio no interior de habitações residenciais sem aparelhos de combustão é aproximadamente metade do nível encontrado no ambiente exterior. Em habitações onde existem fogões a gás, aquecedores de querosene ou aquecedores não ventilados, os níveis no interior geralmente superam os níveis no exterior, e podem ser superiores a 200 µg/m³ num período de vários dias. O pico máximo no espaço de 1 hora pode chegar aos 2000 µg/m³. Em períodos mais curtos, concentrações ainda mais elevadas já foram medidas;
- ✓ A OMS indica os valores 0,1 [1 hora] e 0,04 [1 ano], enquanto que a Norma Canadiana cita 0,25 ppm [1 hora] e 0,05 ppm como valor geral admissível [9]. A NP 1796 2007 indica para VLE-MP 3 ppm e VLE-CD 5 ppm.

Asbestos ou Amianto

- ✓ Deterioração/dano no sistema de isolamento térmico e acústico e mosaicos contendo asbesto são as principais fontes de libertação deste material para a atmosfera;
- ✓ Fibras de amianto podem alojar-se nos alvéolos pulmonares e causar:
 1. Cancro no pulmão (uma das formas mais correntes de cancro);
 2. Cancro na pleura ou peritoneal ou mesotelioma (revestimento do tórax e cavidade abdominal);
 3. Asbestose ou pneumoconiose (cicatrização irreversível dos tecidos fibrosos nos pulmões que pode ser fatal) [7].

- ✓ É um comprovado carcinogéneo pela Agência Internacional de Pesquisa do Cancro (*IARC grupo 1*).
- ✓ Os sintomas de contaminação pelo amianto não ocorrem, habitualmente, antes de 20 ou 30 anos depois da primeira exposição ao contaminante;
- ✓ A maioria dos relatos das pessoas contaminadas com asbestos revela que estas estiveram expostas a elevadas concentrações nos locais de trabalho.
- ✓ Actualmente, de acordo com a *U.S. EPA*, as concentrações no ar interior e no ar ambiente variam entre as centenas e os vários milhares de fibras por m³. Dados de variados estudos epidemiológicos têm extrapolado concentrações significativamente mais baixas no ar ambiente em comparação com as exposições ocupacionais/interiores;
- ✓ A NP 1796 2007 indica como VLE-MP 0,1 f/cm³ para fibras respiráveis (com comprimento superior a 5 μm e com relação comprimento/diâmetro maior ou igual a 3).

Fumo do Tabaco Ambiental

- ✓ O fumo do tabaco ambiental (FTA) é o emitido pela ponta do cigarro bem como o que é devolvido ao meio ambiente pelo fumado após aspiração do fumo;
- ✓ Existem alguns compostos marcadores do FTA, como a nicotina e as partículas suspensas respiráveis (PSRs), que são utilizadas para quantificar a exposição ambiental;
- ✓ É consensual que o FTA é a mais importante fonte de contaminantes interiores quando há fumadores nas instalações. A natureza ubíqua do FTA nos ambientes interiores indica que a inalação não intencional de algumas partículas de fumo do tabaco pelos não fumadores é inevitável;
- ✓ Está demonstrado que o FTA aumenta os riscos de vários efeitos na saúde dos não fumadores expostos a níveis ambientais típicos
- ✓ A *WHO* estima que 9 – 13% de todos os casos de cancro podem ser atribuídos ao FTA na população não fumadora, da qual cerca de 50% se encontra exposto ao FTA.
- ✓ A *U.S. EPA* classifica o FTA como carcinogéneo para o ser humano (Grupo A);
- ✓ De acordo com o *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) o fumo passivo (ou FTA) pode causar cancro do pulmão em adultos saudáveis que nunca tenham fumado;
- ✓ A solução mais eficaz passa pela proibição de fumar ou pela criação de áreas restritas desenhadas especificamente para o efeito.

Partículas Respiráveis (PM_{2,5})

- ✓ Fazem parte das PM_{2,5} todo o tipo de partículas com diâmetro aerodinâmico de 2,5 μm que se encontram em locais com fumo, fogões a lenha, aquecedores de querosene. O FTA é também um dos principais contribuintes para este grupo de partículas.
- ✓ A Norma Canadiana considera como VLE-MP 0,1 mg/m³ [1 hora] e 0,04 mg/m³ [longos períodos de exposição]; A *U.S.EPA* em 1996 definiu o valor de 0,06 mg/m³ para 24 horas de exposição. A NP 1796 2007 indica para a fracção respirável o VLE-MP de 3 mg/m³, tal como é defendido pelo ACGIH.

Partículas Totais

- ✓ Consideram-se partículas totais todas as partículas sem classificação específica (*PNO* [9]).
- ✓ Segundo a OSHA, o VLE para estes compostos é de 15 mg/m³.

2.3 – METODOLOGIA PARA AS CONDIÇÕES DE AMOSTRAGEM

Finalmente, é de referir que para a realização eficaz de amostragem de contaminantes interiores é necessário ter em conta vários factores, regras, designadamente as seguintes:

- Escolha dos horários mais adequados à medição destes parâmetros numa atmosfera interior;
- Condições de ocupação que estes espaços devem ter durante as medições nos espaços confinados;
- Duração das amostragens a efectuar e
- Validade dos resultados obtidos nas medições.

3º CAPÍTULO – RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 - RESULTADOS OBTIDOS NA PONDERAÇÃO POR POLUENTE

3.1.1 – Equipamentos para medição/determinação de PM₁₀

No quadro 3 apresenta-se um conjunto de equipamentos, de A1 a A5, que correspondem aos equipamentos estudados (presentes nos anexos 2 e 3) e que contribuíram para a ponderação efectuada.

Quadro (3) – Resultado da ponderação para as PM₁₀

PM ₁₀	Assistência	Portabilidade	Exactidão	Custo (+ IVA)	Tempo (análise)	PONDERAÇÃO
A1	Sim (Ambicontrol)	3	1	4	5	3,35
A2	Sim (Ambicontrol)	1	1	5	5	3,00
A3	Sim (Ambicontrol)	4	1	1	5	2,65
A4	Sim (Ambicontrol)	4	1	3	5	3,35
A5	<u>Sim (Vórtice)</u>	<u>5</u>	<u>5</u>	<u>2</u>	<u>5</u>	<u>3,95</u>

Nota: Equipamentos – A1: Haz-Dust IV; A2: SPLIT2; A3: VDM-7500; A4: EPAM 5000; A5: pDR-1000 AN (em pormenor no anexo 2).

No quadro 3 a verde (sublinhado) encontra-se o equipamento que obteve melhor classificação e portanto a melhor escolha a ser considerada.

O mesmo procedimento foi usado nos quadros seguintes (4 a 8) para representar o melhor resultado na ponderação para cada poluente.

O equipamento pDR-1000 AN da Gray Wolf Sensing Solutions (A5) comercializado pela Vórtice – Equipamentos Científicos Lda. em Portugal, foi aquele que apresentou melhor resultado na ponderação. Apesar de ser dos mais dispendiosos, reúne condições que o tornam a melhor escolha para a determinação da concentração de PM₁₀ presente no ar interior/numa atmosfera confinada.

3.1.2 – Equipamentos para medição/determinação de CO₂

Quadro (4) – Resultado da ponderação para o CO₂

CO ₂	Assistência	Portabilidade	Exactidão	Custo (+ IVA)	Tempo (análise)	PONDERAÇÃO
B1	Não (Thermo Electron Co.)	0	0*	0*	5	0,75
B2	Sim (Testo)	5	4	5	5	4,85
B(C)3	Sim (Qenergia)	5	1	3	5	3,70
B4	Sim (Testo)	5	4	5	5	4,85
B5	Sim (Ambergo e Ambicontrol)	5	5	5	5	5,00
B(C)6	Sim (Ambergo e Ambicontrol)	5	5	1	5	3,60

Nota: Equipamentos – B1: Analyser 410; B2: Testo 535; B(C)3: Fluke 975; B4: Testo 435-2; B5: IAQ- Calc. Model 7515; B(C)6: IAQ- Calc. Model 7545.

No quadro 4 o valor **0** refere-se ao facto de o equipamento não verificar conformidade com a característica em análise (portabilidade) e de isso condicionar a sua escolha para a ponderação final. O valor **0*** diz respeito a valores não disponibilizados pelas empresas/fornecedores.

A **sombreado** encontra-se o equipamento que não possui assistência e/ou representante (existem casos em que apenas são comercializados e não assistidos) em Portugal.

Os equipamentos **BC3** e **BC6**, referem-se aos equipamentos que possibilitam a medição simultânea de CO₂ (B) e CO (C).

Estes símbolos foram usados nos quadros que se seguem com idêntico significado.

3.1.3 – Equipamentos para medição/determinação de CO

Quadro (5) – Resultado da ponderação para o CO

CO	Assistência	Portabilidade	Exactidão	Custo (+ IVA)	Tempo (análise)	PONDERAÇÃO
C1	Sim (Alfa ELEKTOR)	5	5	5	5	5,00
C2	Não (Thermo Electron Co.)	0	5	0*	5	1,50
(B)C3	Sim (Qenergia)	5	5	2	5	3,95
C4	Sim (Testo)	5	1	5	5	4,40
C5	Não (Environmental Sensors Co.)	5	5	5	5	5,00
(B)C6	Sim (Ambergo e Ambicontrol)	5	5	1	5	3,60

Nota: Equipamentos – C1: Test1370A; C2: 48i-HL; (B)C3: Fluke 975; C4: Testo 315-2; C5: Z-500; (B)C6 – IAQ- Calc. Model 7545.

Uma análise dos quadros 4 e 5 mostra que, excluindo os equipamentos sem representação e/ou assistência em Portugal (sombreados a azul), os equipamentos que obtiveram melhor resultado na ponderação (com a pontuação máxima possível inclusive) foram: o 7515 IAQ meter (B5), da TSI Incorporated – Innovative Measurement Solutions, representado pela Ambergo – Estudos e Equipamentos de Controlo Ambiental, Lda. e pela Ambicontrol – Controlo da Poluição, Lda. (Dias de Sousa) para CO₂, e o TEST 1370A (C1) da Alfa ELEKTOR – Componentes Electrónicos, que representa e também assiste em Portugal, para o CO.

3.1.4 – Equipamentos para medição/determinação de O₃

Quadro (6) – Resultado da ponderação para o O₃

O ₃	Assistência	Portabilidade	Exactidão	Custo (+ IVA)	Tempo (análise)	PONDERAÇÃO
D1	Não (Ozone Solutions)	0	5	5	5	3,25
D2	Sim (Aeroqual - Ambicontrol)	3	5	5	5	4,30
D3	Não (Environmental Sensors)	5	5	5	5	5,00
D4	Não (Sabio Instruments)	1	1	1	5	1,60

Nota: Equipamentos – D1: Remote Ozone Monitor; D2: Series 200; D3: Z-1200; D4: Model 2030.

Após a análise do quadro 6, dentro das opções encontradas, a melhor escolha será D2, equipamento Ozone Series 200 Monitor da Aeroqual Limited, representada pela Ambicontrol Lda.

3.1.5 – Equipamentos para medição/determinação de formaldeído

Quadro (7) – Resultado da ponderação para o formaldeído

Formaldeído	Assistência	Portabilidade	Exactidão	Custo (+ IVA)	Tempo (análise)	PONDERAÇÃO
E1	Sim (Vórtice)	3	5	5	5	4,30
E2	Sim (Ambicontrol)	1	2	2	5	2,10
E3	Sim (Ambicontrol)	1	0*	3	5	2,15
E4	Não (Environmental Sensors)	5	4	5	5	4,85

Nota: Equipamentos – E1: FP-30; E2: Formaldemeter htV; E3: TM 400; E4: Z-300.

Da análise do quadro 7 concluiu-se que para o formaldeído, dos equipamentos encontrados, aquele que se considera a escolha mais acertada é o detector FP-30 (E1) da RKI Instruments, com representação da Vórtice – Equipamentos Científicos, Lda.

3.1.6 – Equipamentos para medição/determinação de COVs Totais

Quadro (8) – Resultado da ponderação para os COVs Totais

COVs Totais	Assistência	Portabilidade	Exactidão	Custo (+ IVA)	Tempo (análise)	PONDERAÇÃO
F1	Sim (Vórtice)	5	5	5	5	5
F2	Sim (Ambergo)	2	1	2	5	2,3
F3	Sim (Ambergo)	5	4	4	5	4,5
F4	Sim (Tipsal)	5	4	3	5	4,15

Nota: Equipamentos – F1: TG-502 VOC Probe; F2: MicroFID; F3: 2020 ComboPro; F4: Multi-PID 2.

O resultado da ponderação (quadro 8) foi favorável ao equipamento da Gray Wolf Sensing Solutions TG-502 VOC Probe (F1) representado pela Vórtice, Lda.

O quadro 9 resume os resultados obtidos na análise e ponderação realizadas a todos os poluentes.

Quadro (9) – Quadro resumo dos resultados obtidos na ponderação

	PM ₁₀ (POLUENTE A)	CO ₂ (POLUENTE B)	CO (POLUENTE C)	O ₃ (POLUENTE D)	Formaldeído (POLUENTE E)	COVs totais (POLUENTE F)
MELHOR ESCOLHA DE EQUIPAMENTOS	A1	B1 (sem assistência; não portátil)	✓ C1	D1 (sem assistência; não portátil)	✓ E1	✓ F1
	A2	B2	C2 (sem assistência; não portátil)	✓ D2	E2	F2
	A3		❖ BC3	D3 (sem assistência)	E3	F3
	A4	B4	C4	D4 (sem assistência)	E4 (sem assistência)	F4
	✓ A5	✓ B5	C5 (sem assistência)	❖ D5		❖ D5
	❖ D5		❖ BC6			
		❖ D5	❖ D5			

✓ Melhor escolha como resultado da ponderação

❖ Equipamentos para vários poluentes

Os equipamentos BC3 e BC6, apesar de não terem obtido o melhor resultado na ponderação, merecem uma análise da sua viabilidade de utilização, dado permitirem a análise de dois poluentes num mesmo aparelho.

O quadro 10 pretende demonstrar, através da comparação dos resultados obtidos na ponderação para os poluentes CO₂ (B) e CO (C), que poderá ser uma “mais valia” a escolha de equipamentos que possibilitem a medição de mais do que um poluente com o mesmo aparelho.

Quadro (10) – Dados dos equipamentos B5, C1, BC3, BC6 e D5

	B5 (melhor resultado na ponderação - poluente B)	C1 (melhor resultado na ponderação - poluente C)	BC3	BC6	D5
Portabilidade (anexo 3.1)	0,270 kg	0,255 kg	0,540 kg	0,270 kg	De 3,60 a 7,20 kg (dependendo dos módulos presentes)
Exactidão (anexo 3.2)	3% da leituras ou ± 50 ppm (o maior valor no intervalo considerado)	3% da leituras ou ± 50 ppm (o maior valor no intervalo considerado)	CO ₂ : 2,75% + 75 ppm; CO: ± 5% ou ± 3 ppm (o que for maior)	CO ₂ : ± 3% da leitura ou ± 50 ppm (o que for maior); CO: ± 3% da leitura ou ± 3 ppm (o que for maior)	O ₃ : <± 0,005 ppm; CO ₂ : <40 ppm + 3%; CO: <± 5 ppm; COVs: <10%; PM ₁₀ : 8%
Custo (anexo 3.5)	490 + IVA	540 + IVA	1540 + IVA	1.835 + IVA	2750,00 + IVA (base para CO e CO2) mais os 3 sensores (A = 3.580,00; D = 395,00 e F = 2.220,00). Total: 8945,00 + IVA
Tempo obtenção resultado (anexo 3.7)	Tresp. = 20s.	Leitura directa; instantânea	Na ordem dos minutos	CO ₂ : Tresp. = 20s; CO: <60s. em 90% dos casos	Momentâneo (programável pelo utilizador)

Para além dos resultados obtidos na ponderação dos equipamentos para os seis poluentes em estudo, é ainda de referir que o equipamento D5 (conforme a informação do quadro 10 e anexos 2.1 e 3), da Aeroqual Limited – IQM60 (Monitor IAQ) merece ser

considerado. Trata-se de um “multifunções” que confere a opção de utilização de sondas de CO₂, CO, analisadores de O₃, COVs e um monitor de partículas PM₁₀ (para além de outros parâmetros físico-químicos de interesse como o NO₂, o SO₂, as PM_{2,5}, temperatura e humidade).

Do ponto de vista do analisador/técnico, o facto de um equipamento permitir medir/determinar a concentração de vários poluentes com um só aparelho, é, sem dúvida, uma mais valia a ter em conta na escolha do melhor equipamento de medição para cada um dos seis poluentes aqui estudados.

Por conseguinte, faz todo o sentido comparar os equipamentos com melhores resultados na ponderação, com aqueles que permitem medir vários poluentes. No caso concreto mencionado o equipamento IQM-60 (D5) mede tudo o que se pretende excepto formaldeído, que requererá outro equipamento.

No quadro 11 comparam-se os vários factores considerados mais relevantes na selecção de um equipamento tendo por base: (1) os resultados obtidos pelos factores de ponderação e (2) o equipamento multifuncional associado ao equipamento mais adequado para medir formaldeído.

Quadro (11) – Comparação entre os equipamentos com melhor resultado na ponderação, com o equipamento D5 associado ao mais adequado para formaldeído

	Melhor escolha de equipamentos obtida na ponderação	IQM-60 + melhor escolha para poluente E (Formaldeído)
	(1)	(2)
	A5, B5, C1, D2, E1 e F1	IQM-60 + E1
Portabilidade (anexo 3.1)	$\sum pesos = 2,68 \text{ kg}$	$\sum pesos = 7,70 \text{ kg}$
Custo dos equipamentos (anexo 3.5)	$\sum custos = 11.000,10 \text{ Euros} + \text{IVA}$	$\sum custos = 9.859,40 \text{ Euros} + \text{IVA}$
Tempo obtenção de resultados (anexo 3.7)	$\sum tempos \approx 33 \text{ minutos}$	$\sum tempos = 30 \text{ minutos}$ (E1) + tempo programável pelo utilizador (IQM-60) (min/máx./média)

Da análise do quadro 11 concluiu-se ser mais vantajoso adquirir o equipamento multifuncional mais o equipamento para formaldeído (ou seja, a opção 2). Esta escolha baseou-se sobretudo no factor “custo dos equipamentos”, dada a significativa diferença verificada nos valores obtidos ($\sum custos(1) \approx \sum custos(2) + 15\% \sum custos(1)$).

Quanto à portabilidade, e uma vez que os pesos apresentados dizem respeito apenas aos equipamentos, o peso real final pode ser muito diferente deste, concretamente no caso (1), porque se trata de um conjunto de seis equipamentos diferentes. Haverá ainda que ter em conta os acessórios (baterias, malas de transporte, etc.) para cada equipamento. O tempo de obtenção de resultados é semelhante em (1) e (2).

3.2 - CONDIÇÕES GERAIS DE AMOSTRAGEM

Uma vez escolhidos os equipamentos é necessário saber as condições a satisfazer para realizar amostragens eficazes.

3.2.1 - Condições de Amostragem

O desenho amostral pode basear-se nas condições reais (ou seja, condições efectivamente presentes no local a amostrar) ou representar o “pior cenário possível”, isto é, num caso extremo onde as concentrações serão excepcionalmente elevadas, ponderando sempre os objectivos, a duração e a frequência de exposição aos contaminantes.

As condições de amostragem dividem-se em duas categorias que vão influenciar a forma como a amostragem pode ser feita: (a) indirectamente controláveis, que são os casos em que não se controlam diversos parâmetros, tais como os factores meteorológicos, a flexibilidade de operação nos locais a amostrar, a existência de dias específicos para uma fonte particular emitir contaminantes, etc., e (b) directamente controláveis.

A frequência de amostragem deverá variar em função do **tipo de exposição**:

➤ **Exposição aguda**

No caso de os indivíduos estarem expostos por períodos de tempo curtos (2 a 4 horas ou no máximo durante 24 horas) a níveis considerados de risco, ou por exemplo, quando existirem odores, é recomendável que a amostragem seja ponderada para um tempo de acção de pelo menos 2 a 4 horas.

➤ **Exposição sub – crónica**

Cabem nesta categoria exposições de duração variável entre 2 semanas e 7 anos.

Neste caso a amostragem deve contemplar uma exposição integrada no tempo estimada para o mais longo período praticável. Três a quatro semanas é recomendado como período razoável para este tipo de estudos. Este tipo de amostragem pode ser complementado por meio de amostragens a longo prazo com amostradores passivos.

➤ **Exposição crónica**

Cabem nesta categoria exposições de mais longa duração.

Não há um procedimento prático para realizar uma amostragem em tempo real a tão longo prazo (*isto é, consecutivamente durante vários anos*), a não ser usando um monitor contínuo para amostragem em tempo real.

3.2.2 - Duração de um evento de amostragem

No caso de fontes emissoras contínuas, a amostragem deve durar algumas horas e ser representativa de um período de 24 horas.

No caso de emissão não constante (fonte descontínua), é recomendado que se faça uma amostragem a duas componentes, uma de médio prazo, adequada para exposição sub-crónica e outra de longo prazo, adequada para exposição crónica.

Uma forma mais prática de obter uma estimativa de risco para exposição a longo prazo será utilizar amostradores passivos. Além disso, dependendo da situação e da magnitude de contaminação, exposições agudas e riscos associados podem igualmente precisar de ser avaliados.

No caso de exposição sub-crónica ou crónica, quanto mais longo o tempo de amostragem, maior a confiança na concentração obtida nessa amostragem e por conseguinte, maior a representatividade da verdadeira situação de contaminação [15].

Para aplicação no âmbito do RSECE, o que interessa estudar são as condições presentes efectivamente, portanto as amostragens devem ser contínuas num período de até 24 horas.

Reamostragem

Em cada estudo, deve ser feita pelo menos uma ronda de amostragem confirmatória, com o fim de confirmar os resultados que servirão de base às conclusões finais sobre a QAI.

3.2.3 - Influência dos Factores Sazonais

A obtenção de dados relativos à QAI deve abranger pelo menos três estações do ano, devendo incluir a Primavera (essencialmente devido à existência em simultâneo de outros poluentes, nomeadamente microbiológicos) e o Inverno. É no Inverno que frequentemente se registam os maiores níveis de exposição e, portanto, que o risco associado será também mais elevado.

3.2.4 - Condições Espaciais e número de amostras a recolher

As amostragens podem ser realizadas em várias áreas do ambiente interior (“*living areas*”) ou, no mínimo, na área mais próxima do que se suspeita ser a área que detem a fonte emissora (“*source area*”).

Durante a amostragem deve ser assegurado que existe uma boa circulação de ar e a colheita de amostras deve ser feita no centro da divisão em estudo. Os amostradores devem ser colocados a uma altura entre 90 cm e 1,5 m do chão (esta altura varia mediante o tipo de indivíduos expostos; devendo ser mais baixa se os indivíduos expostos forem crianças) [15].

Os pontos de amostragem devem ainda abranger: pontos de infiltração de COVs provenientes de outras áreas; *living areas*; e o ar exterior, sempre com rigor estatístico no desenho amostral, tendo em conta os recursos financeiros disponíveis.

No caso de se usarem na amostragem amostradores passivos, quanto maior for o número de amostradores colocados na área em estudo, mais fiáveis serão os dados recolhidos.

Dez por cento do número total de amostras recolhidas com este tipo de amostragem devem ser consideradas “brancos”.

Para todo o tipo de amostras é recomendável realizar três réplicas (no mesmo local), que é o mínimo necessário para permitir um tratamento estatístico.

Duas das três réplicas devem ser obrigatoriamente analisadas de imediato, para uma primeira avaliação da situação.

No anexo 5 encontra-se um exemplo de exame/questionário/levantamento acerca da QAI dos edifícios que pode ser usado como “*checklist*” quando se inicia uma caracterização da QAI. Inclui-se também uma lista/exemplo de instruções para os residentes de habitações a estudar (no caso de se tratar de casas de habitação).

4º CAPÍTULO – CONCLUSÕES

4.1 – SELECÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE AMOSTRAGEM PARA OS COMPOSTOS PRIORITÁRIOS

A tipologia dos equipamentos a seleccionar para medição das concentrações dos compostos de controlo obrigatório em ambientes interiores deve ponderar os seguintes aspectos:

- Melhor relação custo/benefício favorável ao comprador;
- A portabilidade do equipamento, que se tornou um factor essencial, tendo em conta a eficiência e eficácia pretendida numa amostragem/estudo da QAI;
- Além das características do equipamento, a existência de assistência pós-venda em Portugal é também determinante para a decisão final. Neste trabalho verificou-se que um número relativamente elevado de equipamentos (e portanto, empresas) que, comercializam produto(s) em território nacional não garantem a sua assistência para efeitos de manutenção/monitorização.

Neste estudo foi feito um levantamento relativamente exaustivo das características dos equipamentos disponíveis no mercado português e foram tiradas conclusões sobre as melhores opções. No entanto, as conclusões a que se chegou, devem ser consideradas “provisórias” e meramente indicativas da optimização e utilização das tecnologias existentes e disponíveis na análise de QAI.

Dada a falta de regulamentação do Decreto-Lei nº 79/2006 (a portaria que o virá regulamentar ainda não se encontra publicada), não se pode garantir a aplicabilidade destes dados relativamente à sua representatividade das medições no processo de monitorização da QAI. Também não se pode saber até que ponto a mesma irá incluir só alguns parâmetros e metodologias estudadas, em detrimento de outros.

Este estudo teve em consideração o facto de o regulamento RSECE ter carácter vinculativo. Assim sendo, as análises e medições devem ser feitas e devem ser respeitadas as concentrações máximas de referência estipuladas. A não conformidade com o que está estipulado poderá inviabilizar a utilização dos espaços “alvo” definidos no referido regulamento. Tendo isso em consideração, «é indispensável que todos os equipamentos utilizados nas medições garantam a ligação da cadeia de rastreabilidade das medições a padrões e laboratórios primários nacionais e internacionais» [16].

4.2 – OUTROS COMPONENTES ALÉM DOS PRIORITÁRIOS

Concluiu-se que interessa estudar, de forma mais aprofundada, outros possíveis poluentes do ar interior que, embora não sejam abrangidos pelo Regulamento RSECE, poderão ser prejudiciais quando presentes numa atmosfera interior, conforme se concluiu neste estudo. Apesar das suas presumíveis fontes de emissão não serem tão frequentes ou serem pontualmente

“de menor influência”, não justificará deixar de parte o seu estudo e consequente controlo e monitorização, para apenas focar a análise aos seis poluentes químicos que o RSECE determina.

4.3 – CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na realização deste trabalho pode constatar-se que houve, por parte de algumas empresas vendedoras, algumas “falhas” de comunicação com o fornecedor e/ou departamento técnico e consequente falta de informação acerca dos produtos por eles comercializados/representados (provavelmente dificultada por períodos de férias dos colaboradores). Não foi possível, por esse motivo, apresentar no presente relatório a totalidade das características dos equipamentos por não terem sido disponibilizadas em tempo útil.

Notou-se também em certos casos uma “incompreensão” por parte de certas empresas contactadas (através de e-mail e contacto telefónico) no que diz respeito a determinadas especificações técnicas dos equipamentos, quando eram requeridas informações não constantes nas brochuras/panfletos informativos que acompanham os produtos/equipamentos.

O facto de se tratar de um trabalho onde eram solicitadas às empresas informações para um estudo e não para imediata aquisição de equipamento levou provavelmente a uma dificuldade acrescida no que se referia à obtenção de informações e orçamentos desses mesmos equipamentos. Inicialmente a expectativa era contrária àquela que se verificou, dado que se supunha que as empresas estariam interessadas em colaborar com um estudo que iria divulgar e promover o seu equipamento e produtos por eles comercializados.

Sendo o objectivo da QAI garantir que o ar interior dos edifícios, onde as pessoas passam habitualmente a maior parte do seu tempo, não contenha uma excessiva concentração de partículas em suspensão ou de produtos químicos nocivos ou desagradáveis, é fundamental assegurar o conforto térmico dos indivíduos (estado de espírito que exprime satisfação com o meio envolvente) dentro do espaço confinado. Este deve ser o objectivo “último” de todas as normas ou exigências aplicáveis no âmbito da QAI.

No que se refere propriamente à QAI, várias conclusões podem ser tiradas de um estudo desta natureza:

- Todos os indivíduos têm o direito de respirar de forma saudável num ambiente interior.
- A QAI não é tida em consideração pela maioria do público em geral, no que diz respeito à decisão sobre políticas que regulamentam e optimizam esta “necessidade”.
- O “público em geral” desconhece os efeitos negativos de uma “pobre”/fraca QAI.
- A qualidade do ar, especialmente a qualidade do ar exterior, tem recebido muitíssima atenção nas últimas décadas, enquanto que a QAI tem sido ignorada.

- Os contaminantes prejudiciais à saúde, presentes em ambientes interiores estão praticamente todos identificados. São essencialmente: FTA, matéria particulada suspensa (PM₁₀, PM_{2.5}, bolor, partículas de pólen, entre outros), NO₂, formaldeído, COVs (dos mais variados típicos), fibras sintéticas, CO, CO₂, alergéneos provenientes dos animais, SO₂, asbestos, PAH e O₃.
- A redução da poluição do ar interior requer uma combinação entre as políticas de saúde pública e as medidas de protecção tomadas por cada indivíduo. As acções que podem ser tomadas ao nível político e industrial baseiam-se em:
 - ✓ Eliminação do fumo de tabaco;
 - ✓ Eliminação de fontes de poluição;
 - ✓ Substituição de materiais e equipamentos que sejam fontes de poluição, por outros materiais “verdes” (amigos do ambiente);
 - ✓ Utilização de produtos de limpeza que não emitam substâncias poluentes;
 - ✓ Assegurar uma adequada ventilação.
- A poluição do ar interior pode causar ou agravar os efeitos na saúde, particularmente nas pessoas mais susceptíveis (crianças, idosos, doentes alérgicos).
 - Corporações nacionais e internacionais (N/I) juntamente com todas as restantes partes interessadas, devem elaborar planos N/I coerentes e de “fácil” e directa aplicação para melhorar a QAI, baseando-se nos mais recentes avanços (tecnologias) nesta área e devem encorajar a indústria a produzir materiais de construção que emitam níveis de poluentes baixos.
 - Valores – guia para ambientes interiores saudáveis devem ser desenvolvidos ao nível nacional e europeu com a ajuda de sociedades profissionais na área da QAI (no anexo 6 encontram-se algumas “*Guidelines*” para um ambiente interior saudável).

Por último, no que diz respeito à formação avançada em QAI, este estágio proporcionou um crescimento particular na área de conhecimento das tecnologias do ar, características e parâmetros associados especificamente a ambientes interiores. O estudo aprofundado das tecnologias, poluentes e metodologias de amostragem contribuiu para um enriquecimento da formação académica e como tal considero uma experiência francamente positiva.

A interacção com as empresas no âmbito das tecnologias de amostragem do ar e a “tomada de consciência” global para os problemas que “*agora*” começam a ser discutidos levou a um aumento de interesse nos temas relacionados com a QAI. Como expectativas futuras neste âmbito, gostaria de poder continuar a acompanhar o trabalho que vier a ser desenvolvido na área da QAI e de poder contribuir activamente para uma melhor aplicação, gestão e monitorização de um tema em sério desenvolvimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Instituto Português da Qualidade. (2005). Vocabulário Internacional de Metrologia – Termos Fundamentais e Gerais (VIM), International Organization for Standardization (ISSO). IPQ, Caparica.
2. DOQ-CGCRE-008 – Revisão 01 (MARÇO de 2003). Orientações sobre validação de métodos de ensaios químicos [Versão electrónica]. Acedido em 16 de Outubro de 2008, em http://www.farmacia.ufmg.br/lato/downloads/validacao_inmetro.pdf
3. Santos, P. (2007). “Ar interior tem pouca qualidade”. *Água & Ambiente*, volume 108, 78-80.
4. Carvalho, R., Coelho, D. “Estudo comparativo de metodologias de amostragem e medição que caracterizarão a QAI no âmbito do RSECE”. Projecto do Departamento de Ordenamento e Ambiente da Universidade Aveiro, 2008.
5. Decreto-Lei nº 79/2006 de 4 de Abril (RSECE). Diário da República nº 67/06 – I Série A.
6. Cheremisinoff, N. P. 2002. “Handbook of Air Pollution Prevention and Control”. Butterworth Heinemann, Woburn USA, 1ª edição.
7. U. S. Environmental Protection Agency (EPA) (2008). Indoor Air Pollution – Indoor Air Quality. Acedido em 21 de Dezembro de 2007, em www.epa.gov/iaq
8. ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers). Acedido em 19 de Fevereiro de 2008, em www.ashrae.org
9. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2004. “Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality”. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta.
10. Baird, C., Cann, M. 2005. “Environmental Chemistry”. Freeman, Nova Iorque, 3ª edição.
11. Silva, G. V. A. (2000). Estudos de Emissão de COVs por materiais usados em interiores de edifícios. Tese de Doutoramento em Química, Faculdade de Ciências – Universidade do Porto, Porto.
12. Vanloon, G. W.; Duffy, Stephen J. 2000. “Environmental Chemistry – A Global Perspective”. Oxford University Press, Nova Iorque.
13. Gama Gases Especiais Ltda. (2005). Dióxido de Enxofre Revisão 3 – 07/07/2005 [Versão electrónica]. Acedido em 20 de Julho de 2008, em www.gamagases.com.br.
14. Piteira, C. 2007. “A Qualidade do Ar Interior em Instalações Hospitalares”. Lidel, Lisboa, 1ª edição.
15. Commonwealth of Massachusetts Executive Office of Environmental Affairs – Department of Environmental Protection (CMDEP) (2002). Indoor Air Sampling and Evaluation Guide [Versão Electrónica], WSC Policy #02-430, Boston.
16. Ferreira, C. P., Nunes, T; Coelho, D; Carvalho, R; Rodrigues, N. (2008). “A monitorização da Qualidade do Ar Interior (QAI) em Portugal”. *Revista Indústria & Ambiente*. Volume 52, páginas 18 a 20.
17. SKC. Acedido em 20 Novembro de 2007, em www.skcin.com
18. Haz Dust. Acedido em 5 de Março de 2008, em <http://www.hazdust.com/>
19. Gray Wolf Sensing Solutions. Acedido em 20 de Novembro de 2007, em www.wolfsense.com

20. Thermo Electron Corporation. Acedido em 12 de Janeiro de 2008, em <http://www.thermo.com/air>
21. Testo S. A. Acedido em 10 de Julho de 2008, em www.testo.com
22. Fluke Electronics. Acedido em 25 de Agosto de 2008, em www.fluke.com
23. TSI Incorporated. Acedido a 25 de Agosto de 2008, em www.tsi.com
24. Alfa Elektror – Componentes Electrónicos. Acedido em 25 de Agosto de 2008, em www.alfaelektor.com
25. Environmental Sensors Co. Acedido em 15 de Janeiro de 2008, em www.environmentalsensors.com
26. Ozone Solutions, Inc. Acedido em 5 de Março de 2008, em www.ozoneapplications.com; www.ozonesupplies.com
27. Aeroqual Limited. Acedido em 15 de Janeiro de 2008, em www.aeroqual.com
28. Sabio Instruments, Inc. Acedido em 20 de Fevereiro de 2008, em www.sabio.com
29. RKI Instruments. Acedido em 10 de Julho de 2008, em www.rkiinstruments.com
30. PPM Technology. Acedido em 20 de Fevereiro de 2008, em <http://www.ppm-technology.com/index.shtml>
31. Photovac, Inc. Acedido em 10 de Fevereiro de 2008, em <http://www.photovac.com/>
32. Tipsal. Acedido em 10 de Julho de 2008, em www.tipsal.pt
33. Dias de Sousa – AmbiControl Controlo de Poluição, Lda. Acedido em 10 de Dezembro de 2007, em www.dias-de-sousa.pt
34. Vórtice Equipamentos Científicos, Lda. Acedida em 12 de Julho de 2008, em www.vortice-lda.pt.
35. European Federation of Allergy and Airways Diseases Patients Associations (EFA), 2004. “THADE Report: Towards Healthy Air in Dwellings in Europe”. Belgium.

BIBLIOGRAFIA ADICIONAL

- Decreto-Lei nº 78/2006 de 4 de Abril (SCE). Diário da República nº 67/06 – I Série A.
- Decreto-Lei nº 80/2006 de 4 de Abril (RCCTE). Diário da República nº 67/06 – I Série A.
- Directiva Europeia nº 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro.
- Fifield, F. W., Haines, P. J. “Environmental Analytical Chemistry”. Blackie Academic & Professional – Chapman and Hall, Nova Iorque.
- Godish, T. 1985 “Air Quality”. Lewis Publishers, Inc. Chelsea, Michigan.
- Gonçalves, M. L. 2001. “Métodos Instrumentais para a Análise de Soluções – Análise Quantitativa”. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 4ª edição.
- Harris, D. C. 2000. “Quantitative chemical analysis”. Freeman and Company, Nova Iorque, 5ª edição.
- Harrison, R. M.; Perry, R. 1986. “Handbook of Air Pollution Analysis”. Chapman and Hall, Nova Iorque, 2ª edição.
- Norma Portuguesa NP 1976:2007. Segurança e Saúde no Trabalho, valores limite de exposição profissional a agentes químicos.

- Salvato, J. A.; Newerow, N. L.; Agardy, F. J. 2003. “Environmental Engineering”. Wiley, Califórnia, 5ª edição.
- Vogel, Jeffery, Bassett, Mendham, Denney 1992. “Análise Química Quantitativa”. LTC editora, UK, 5ª edição.

Electrónicas

- Adene (2007). Certificação Energética e Ar Interior de Edifícios – SCE. Acedido em 10 de Outubro de 2007, em [http://www.adene.pt/ADENE/Canais/SubPortais/SCE/Apresentacao/Apresenta%
c3%a7%
c3%a3o.htm](http://www.adene.pt/ADENE/Canais/SubPortais/SCE/Apresentacao/Apresenta%c3%a7%c3%a3o.htm)
- Air & Climate e Companies & Organizations. Acedido em 15 de Dezembro de 2007, em www.environmental-expert.com
- CDC – NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) publicações. Indoor Environmental Quality. Acedido em 20 de Dezembro de 2007, em <http://www.cdc.gov/niosh/topics/indoorenv/>
- Medio Ambiente (siafa). Acedido em 3 de Março de 2008, em <http://www.siafa.com.ar/listanotas-siafa.htm>
- SKC Air Sampling Guides for NIOSH, OSHA, EPA and ASTM Methods. Acedido em 20 de Fevereiro de 2008, em http://www.skcgulfcoast.com/technical_guides/tech_guide_2.asp
- U. S. Consumer Product Safety Commission. Indoor Air Quality Publications. Acedido em 4 de Janeiro de 2008, em www.cpsc.gov/cpsc/pub/pubs/iaq.html
- U. S. Department of Labor – Occupational Safety & Health Administration. Indoor Air Quality – Evaluation and Control. Acedido em 20 de Dezembro de 2007, em <http://www.osha.gov/SLTC/indoorairquality/control.html>
- U. S. Department of Labor – Occupational Safety & Health Administration (1999, 20 de Janeiro). Osha Technical Manual (OTM). Acedido em 20 de Dezembro de 2007, em http://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_iii/otm_iii_2.html#iii:2_2
- U. S. Environmental Protection Agency (EPA). Indoor Air Pollution – An Introduction for Health Professionals [Versão Electrónica], Washington D. C. Acedido a 27 de Julho de 2008. Acessível em www.epa.gov.

ANEXOS

ANEXO 1

Tabela 1 – Tecnologias por poluente abrangido pelo RSECE

	PM₁₀ (POLUENTE A)	CO₂ (POLUENTE B)	CO (POLUENTE C)	O₃ (POLUENTE D)	Formaldeído (POLUENTE E)	COVs totais (POLUENTE F)
TECNOLOGIAS POR POLUENTE (RSECE)	Gravimetria (pesagem; filtragem) e difracção de luz Infra Vermelha (IV)	Analizador não - dispersivo de Infra- Vermelho (IV) (corrente contínua)	Analizador não -dispersivo de IV (corrente contínua)	Espectrofotometria Ultra-Violeta (UV) (método contínuo)	Cromatografia Líquida de Alta Pressão com Detector de UV	Cromatografia Gasosa com Espectrometria de Massa (GC/MS)
		Cromatografia Gasosa TCD (<i>Thermal Conductivity Detector</i>)	Célula Electroquímica	Quimioluminescência (método contínuo)	Cromatografia Gasosa NPD (<i>Nitrogen and Phosphorous Detector</i>)	<i>Heated Flame Ionization Detector</i> (Método HFID)
		Cromatografia Gasosa (separação em coluna)	Sensor Electroquímico	Sensor Electroquímico	<i>Fotoionization Detector</i> (Método PID)	

ANEXO 2

Tabela 2.1 – Equipamentos de análise e medição dos poluentes em estudo

PM₁₀ (POLUENTE A)	CO₂ (POLUENTE B)	CO (POLUENTE C)	O₃ (POLUENTE D)	Formaldeído (POLUENTE E)	COVs totais (POLUENTE F)
A1 Haz-Dust IV Particulate Monitor, da SKC [17]	B1 CO ₂ Analyser 410, da Thermo Electron Corporation [20]	C1 TEST1370A, da Alfa ELEKTOR Componentes Electrónicos [24]	D1 Remote Ozone Monitor, da Ozone Solutions, Inc. [26]	E1 Formaldehyde Gas Detector FP-30, da RKI Instruments [29]	F1 Direct Sense TVOC – TG-502 VOC Probe, da Gray Wolf Sensing Solutions [19]
A2 SPLIT2, da SKC [17]	B2 Testo 535, da Testo Instrumentos S.A. (e SKC) [21;17]	C2 48i – HL CO Analyser, da Thermo Electron Corporation [20]	D2 Series 200 Monitor, da Aeroqual Limited [27]	E2 Formaldemeter htV, da PPM Technology [30]	F2 MicroFID, da Photovac, Inc. [31]
A3 Wireless Vídeo Dust Monitoring System – VDM-7500, da Haz-Dust, Environmental Devices Corporation (e SKC) [18;17]	BC3 Air Meter Fluke 975, da Fluke [22]		D3 Ozone Meter Z-1200, da Environmental Sensors Co. [25]	E3 Formaldemeter TM 400, da PPM Technology [30]	F3 2020 ComboPro, da Photovac, Inc. [31]
A4 EPAM 5000, da Haz-Dust, Environmental Devices Corporation (e SKC) [18;17]	B4 Testo 435-2, da Testo Instrumentos S.A. (e SKC) [21;17]	C4 Testo 315-2, da Testo Instrumentos S.A. (e SKC) [21;17]	D4 Ozone Transfer Standard Model 2030 (ozone photometer), da Sabio Instruments, Inc. [28]	E4 Formaldehyde Meter – Model Z-300, da Environmental Sensors Co. [25]	F4 Multi-PID 2, da Dragger, pela Tipsal [32]
A5 pDR-1000 AN Particulate Sensor Kit, da Gray Wolf Sensing Solutions [19]	B5 IAQ-Calc. Model 7515, da TSI [23]	C5 CO Meter Z-500, da Environmental Sensors Co. [25]	D5 (Poluentes: A, B, C, D e F) Indoor Air Quality Monitor IQM 60, da Aeroqual Limited [27]		
	BC6 IAQ-Calc. CO ₂ e CO. Model 7545, da TSI [23]				

**EQUIPAMENTOS
DE
MEDIÇÃO**

Tabela 2.2 – Tecnologias por equipamentos de análise

Tecnologias por EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO					
PM₁₀ (POLUENTE A)	CO₂ (POLUENTE B)	CO (POLUENTE C)	O₃ (POLUENTE D)	Formaldeído (POLUENTE E)	COVs totais (POLUENTE F)
A1 NIOSH Método gravimétrico de referência 0600 NIST com detecção por difracção de um feixe de luz IV	B1 Filtro óptico	C1 Sensor NDIR de CO	D1 Sensor remoto com célula electroquímica	E1 Fotometria fotoeléctrica	F1 Sensor PID (Photoionization sensor)
A2 Difracção de luz IV, com amostragem gravimétrica	B2 Sensor de 2 canais por IV	C2 Correlação de filtro de gases com absorção de radiação IV (não linear)	D2 Sensor semiconductor sensível a gases (GSS) com correlação com fotometria UV	E2 Célula electroquímica	F2 FID (Flame Ionization Detector)
A3 Colector de partículas pela técnica de filtragem com um acompanhamento de monitorização através de “wireless video” em tempo real de amostragem	B3 Informação sobre as sondas não disponibilizada	BC3	D3 Célula electroquímica	E3 Célula electroquímica	F3 Fotoionizador (PID) de UV
A4 Amostrador com filtro gravimétrico e difractor de luz (duas tecnologias possíveis)			B4 Sensor de 2 canais por IV	C4 Sonda electroquímica de CO	D4 Fotómetro de luz UV
A5 Sistema com sensor óptico estabilizado	B5 Sensor IV não dispersivo (NDIR)	C5 Célula electroquímica	D5 PID (isobutileno), NDIR, múltiplos sensores de gases e difractor de luz (partículas)		
	BC6 Analizador não dispersivo de IV para CO ₂ e sensor electroquímico para CO				

ANEXO 3

Este anexo diz respeito às características dos aparelhos do anexo 2, discriminando para cada parâmetro (poluente) a sua adequação.

Tabela 3.1 – Portabilidade dos Equipamentos

PORTABILIDADE						
PM₁₀ (POLUENTE A)	CO₂ (POLUENTE B)	CO (POLUENTE C)	O₃ (POLUENTE D)	Formaldeído (POLUENTE E)	COVs totais (POLUENTE F)	
A1 Sim 0,90 kg	B1 Não 17,7 kg	C1 Sim 0,255 kg	D1 Não (remoto)	E1 Sim 0,500 kg	F1 Sim 0,700 kg	
A2 Sim 1,10 kg	B2 Sim 0,312 kg	C2 Não 21,6 kg	D2 Sim 0,46 kg	E2 Sim 0,750 kg	F2 Sim 3,70 kg	
A3 Sim 0,66 kg	BC3 Sim 0,540 kg		D3 Sim 0,170 kg	E3 Sim 0,750 kg	F3 Sim 0,860 kg	
A4 Sim 0,66 kg	B4 Sim 0,450 kg	C4 Sim 0,400 kg	D4 Não 9,10 kg	E4 Sim 0,170 kg	F4 Sim 0,860 kg	
A5 Sim 0,50 kg	B5 Sim 0,270 kg	C5 Sim 0,170 kg	D5 Sim 3,60 a 7,20 kg (depende dos módulos presentes)			
	BC6 Sim 0,270 kg					

Tabela 3.2 – Exactidão dos equipamentos

EXACTIDÃO DO EQUIPAMENTO		PM₁₀ (POLUENTE A)	CO₂ (POLUENTE B)	CO (POLUENTE C)	O₃ (POLUENTE D)	Formaldeído (POLUENTE E)	COVs totais (POLUENTE F)
A1 ± 10%	B1 ± 1,0% da leitura	C1 3% da leituras ou ± 50 ppm (o maior valor no intervalo considerado)	D1 ± 10%	E1 0,005 ppm/dígito	F1 1% a 10 ppm		
A2 ± 10%	B2 [0 – 5000 ppm]: ± 50 ppm + 2% das medições	C2 ± 0,1 ppm	D2 <10%	E2 ± 25% do valor real	F2 ± 0,5 ppm		
A3 ± 10%	B3 CO ₂ : 2,75% + 75 ppm CO: ± 5% ou ± 3 ppm (o que for maior)	C3 ± 10%	D3 ± 10%	E3 -	F3 ± 10% ou ± 2 ppm (o maior valor no intervalo considerado)		
A4 ± 10%	B4 [0 – 5000 ppm]: ± 50 ppm + 2% das medições	C4 [0 – 100 ppm]: ± 10 ppm	D4 ± 2% ou ± 3 ppm	E4 ± 10%	F4 ± 10% ou ± 2 ppm (o maior valor no intervalo considerado)		
A5 ± 5% da leitura	B5 ± 3% da leitura ou ± 50 ppm (o que for maior)	C5 ± 1% do output	D5 O ₃ : <± 0,005 ppm; CO ₂ : <40 ppm + 3%; CO: <± 5 ppm; COVs: <10%; PM ₁₀ : 8%				
	B6 CO ₂ : ± 3% da leitura ou ± 50 ppm (o que for maior) CO: ± 3% da leitura ou ± 3 ppm (o que for maior)	C6					

- -> Informação não disponibilizada pelas empresas representantes/fornecedores.

Tabela 3.3 – Possibilidade de ajuste do resultado no equipamento

PM₁₀ (POLUENTE A)		CO₂ (POLUENTE B)	CO (POLUENTE C)	O₃ (POLUENTE D)	Formaldeído (POLUENTE E)	COVs totais (POLUENTE F)
A1 Sim	B1 -	C1 Sim	D1 Sim	E1 Sim	F1 Sim	
A2 Sim	B2 Sim	C2 Sim	D2 Sim	E2 Sim	F2 Sim	
A3 Sim		BC3 Sim	D3 Sim	E3 Sim	F3 Sim	
A4 Sim	B4 Sim	C4 Sim	D4 Sim	E4 Sim	F4 Sim	
A5 Sim	B5 Sim	C5 -	D5 Sim			
		BC6 Sim				

**POSSIBILIDADE
DE
AJUSTE
dos
equipamentos**

- -> Informação não disponibilizada pelas empresas representantes/fornecedores.

Tabela 3.4 – Limites de detecção (gama de medição) dos equipamentos

LIMITES DE DETECÇÃO / GAMAS DE MEDIÇÃO						
PM₁₀ em mg/m³ (POLUENTE A)	CO₂ em ppm (POLUENTE B)	CO em ppm (POLUENTE C)	O₃ em ppm (POLUENTE D)	Formaldeído em ppm (POLUENTE E)	COVs totais em ppm (POLUENTE F)	
A1 0,01 - 200	B1 0-200 a 0-10.000 equivalente a 0-0,5 a 0-25%	C1 0 - 6000	D1 0 - 2,00	E1 0 - 0,4	F1 0,1-5000 (PPM PID sensor; calibração com isobutileno)	
A2 0,01 - 200	B2 0 - 9.999	C2 0 - 50	D2 0 - 0,500	E2 0 - 10 (0 a 12,3 mg/m ³)	F2 0,5 - 2000 (calibração com metano)	
A3 0,01 - 200	BC3 CO ₂ : 0 - 5000; CO: 0 - 500		D3 0 - 2,00	E3 0,05 - 10	F3 0,1 - 100 (equivalentes de isobutileno)	
A4 0,001 - 20,0	B4 0 - 10.000	C4 0 - 2000	D4 0 - 2,00	E4 0 - 30	F4 0 - 2000	
A5 0,001 - 400	B5 0-5000	C5 0 - 300	D5 O ₃ : 0-1,50; CO ₂ : 0-2000; CO: 0-100; COVs: 0-20 (com base no factor de resposta do isobutileno); PM ₁₀ : 0-2 mg/m ³			
	BC6 CO ₂ : 0-5000 e CO: 0-500					

Tabela 3.5 – Custos dos equipamentos (preços meramente indicativos, em EUROS)

CUSTO DOS EQUIPAMENTOS (EUROS)		PM₁₀ (POLUENTE A)	CO₂ (POLUENTE B)	CO (POLUENTE C)	O₃ (POLUENTE D)	Formaldeído (POLUENTE E)	COVs totais (POLUENTE F)
	A1	2.264,85 (só equipamento); 3.800,00 + IVA (na AmbiControl [33])	B1 -	C1 540 + IVA	D1 989,10 (+ taxa USA aprox. 89,75)	E1 914,40 + IVA	F1 3079,00 + IVA
	A2	1.763,37 (só equipamento)	B2 543 + IVA	C2 -	D2 830,00 + IVA (sensores opcionais: 380,00 cada)	E2 1.300 + IVA	F2 7790,00 + IVA
	A3	A partir de 5.540,85 (só equipamento)	BC3 1540 + IVA		D3 565,75 (+ taxas e IVA)	E3 1.200 + IVA	F3 4545,00 + IVA
	A4	2.579,85 (só equipamento); 4.420 + IVA (na AmbiControl [33])	B4 532 + 679 (opção sonda CO) = 1211 + IVA	C4 333 + IVA	D4 3719,52 (+ taxas e IVA)	E4 866,25 (+ taxas e IVA)	F4 5440,00 + IVA (exclui carregador e acessórios)
	A5	5.146,70 + IVA	B5 490 + IVA (com login de dados e cálculo estatístico: 800 + IVA)	C5 492,75 (+73 de login de dados)	D5 2750,00 + IVA (base para CO e CO2) mais os 3 sensores (A = 3.580,00; D = 395,00 e F = 2.220,00). Total: 8945,00. só sensor para D (Ozono) -> 395,00;		
			BC6 1.835 + IVA				

Taxa de conversão utilizada: 1 dólar americano = (aprox.) 0,63 euros (22 Julho 2008).

Estes valores dizem respeito ao equipamento preparado para a amostragem do (s) poluente (s) em causa, e quando se tratam de equipamentos internacionais que não tenham representante em Portugal, é necessário acrescentar a estes valores a taxa de envio, quando a mesma não é referida.

- -> Informação não disponibilizada pelas empresas representantes/ fornecedores.

Tabela 3.6 – Existência de assistência aos equipamentos em Portugal

ASSISTÊNCIA EM PORTUGAL						COVs totais (POLUENTE F)
PM₁₀ (POLUENTE A)	CO₂ (POLUENTE B)	CO (POLUENTE C)	O₃ (POLUENTE D)	Formaldeído (POLUENTE E)		
A1 Sim (SKC / AmbiControl Lda - Dias de Sousa [33])	B1 Não (representante (GARAL, Lda.) não assiste/comercializa todos os equipamentos deste fornecedor)	C1 Sim (Alfa ELEKTOR – Componentes Electrónicos)	D1 Não (Ozone Solutions, Inc.)	E1 Sim (Vórtice Lda. [34])	F1 Sim (Vórtice Lda. [34])	
A2 Sim (SKC / AmbiControl Lda - Dias de Sousa [33])	B2 Sim (Testo Portugal Lda.)	C2 Não (representante (GARAL, Lda.) não assiste/comercializa todos os equipamentos deste fornecedor)	D2 Sim (AmbiControl Lda. Dias de Sousa [33])	E2 Sim (AmbiControl Lda. Dias de Sousa [33])	F2 Sim (Ambergo, Lda.)	
A3 Sim (SKC / AmbiControl Lda - Dias de Sousa [33])	B3 Sim (Q Energia, Sistemas para Qualidade e Gestão de Energia, Lda.)		D3 Não (Environmental Sensors Co.)	E3 Sim (AmbiControl Lda. Dias de Sousa [33])	F3 Sim (Ambergo, Lda.)	
A4 Sim (SKC / AmbiControl Lda - Dias de Sousa [33])	B4 Sim (Testo Portugal Lda.)	C4 Sim (Testo Portugal Lda.)	D4 Não (directamente do fabricante – Sabio Instruments, Inc.)	E4 Não (Environmental Sensors Co.)	F4 Sim (Tipsal)	
A5 Sim (Vórtice Lda. [34])	B5 (Ambergo, Lda e AmbiControl Lda. Dias de Sousa)	C5 Não (directamente do fabricante)	D5 Sim (AmbiControl Lda. Dias de Sousa [33])			
	BC6 Sim (Ambergo, Lda e AmbiControl Lda. Dias de Sousa [33])					

Tabela 3.7 – Tempo total estimado por análise (medição “in situ” e, se for o caso, tempo estimado para toda a logística de amostragem) para obtenção dos resultados finais das medições

PM₁₀ (POLUENTE A)	CO₂ (POLUENTE B)	CO (POLUENTE C)	O₃ (POLUENTE D)	Formaldeído (POLUENTE E)	COVs totais (POLUENTE F)
A1 (definido pelo utilizador)	B1 Tresp. 90s.	C1 Leitura directa; instantânea	D1 Tresp. <10s.	E1 30 min.	F1 Tresp: 90% dos casos com resposta inferior a 1min.
A2 Sampling rate: 1s., 1min., 10 min. (definido pelo utilizador)	B2 Tresp. (a 99%) 5s.	C2 Tresp. 60s.	D2 Tresp. <60s.	E2 “High accuracy” mode: 60s, “Lower accuracy” mode: 8s.	F2 Tresp. <3s
A3 T (amostragem): 1s., 1 minuto ou 10 minutos do intervalo	BC3 (na ordem dos minutos)		D3 Tresp. <150s.	E3 Tmedição: 8s.	F3 Tresp. <3s a 90%
A4 Tamostragem: 1s., 1min., 10 min., 30 min.	B4 Tresp. (a 99%) 5s.	C4 Tresp. (a 99%) 5s.	D4 Tresp. 20s.	E4 Tresp. <60s.	F4 <3s em 90% dos casos
A5 Tempo de resposta (Tresp.): poucos segundos	B5 Tresp. 20s.	C5 <30s.	D5 Momentâneo (programável pelo utilizador)		
	BC6 Tresp. 20s. (CO ₂) e <60s. em 90% dos casos (CO)				

**TEMPO
TOTAL
ESTIMADO
POR
ANÁLISE**

ANEXO 4

OUTROS COMPOSTOS QUE INTERESSA ESTUDAR

Segue-se um conjunto de informações sobre compostos que, não estando abrangidos pelo Regulamento de Sistemas Energéticos e Climatização de Edifícios, são importantes de estudar quando se trata da Qualidade do Ar Interior:

PAH ou Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos

São formados durante a combustão incompleta ou pirólise de material orgânico e relaciona-se com a produção global de energia a partir do petróleo, gás, carvão e da própria queima da madeira;

A maior fonte de exposição do ser humano é a alimentação (durante o cozinhar dos alimentos), nomeadamente os grãos (os vegetais em geral) e as frutas. No entanto, como potencial poluente interior existem outras fontes responsáveis pela sua libertação e consequentes riscos para a saúde;

As fontes geradoras de calor no interior de um edifício são responsáveis pelo aumento da concentração dos PAH;

Constituem uma complexa mistura de compostos químicos, são lipofílicos e incluem derivados do tipo *nitro-PAH's*, *produtos oxigenados* e *PAH's heterocíclicos*. O mais conhecido e estudado destes compostos (o primeiro a ser descoberto) é o Benzo [a] pireno, vulgo BaP;

Os PAH's são comprovadamente cancerígenos para os animais e pensa-se que também o serão para o ser humano, sabendo-se que essa possibilidade aumenta quando se encontram em co-exposição com outras substâncias como o fumo do tabaco, os asbestos, e provavelmente também as partículas em suspensão no ar.

O BaP é o PAH mais apropriado para ser usado como indicador da presença no ambiente de concentrações de PAHs que podem ser potencialmente carcinogénicas. Também podem contribuir para o desenvolvimento de doenças como a arteriosclerose;

As proporções dos diferentes PAH's detectados em diversas emissões e locais de trabalho, por vezes permitem a distinção de uns e outros, assim como daqueles que estão presentes no ar ambiente (exterior);

Constatada a escassez de dados relativos à "perigosidade" associada aos PAH, será preciso efectuar estudos mais aprofundados de forma a ser possível estabelecer VLE que sirva de controlo a estas substâncias, tal como tem vindo a ser efectuado com as restantes já regulamentadas. De acordo com a *U. S. EPA*, dados epidemiológicos associados à exposição ocupacional deverão servir de base para a estimativa do risco de exposição a PAHs;

Em atmosferas interiores os PAHs encontram-se normalmente em concentrações entre 5 e 10 ng/m³, enquanto que em atmosferas abertas os níveis são mais baixos;

A *U. S. EPA* definiu 7 PAH's como potencialmente carcinogéneos para o ser humano: benz [a] antraceno, benzo [a] pireno, benzo [b] fluorantraceno, benzo [k] fluorantraceno, criseno, dibenz [a,h] antraceno e indeno [1,2,3-cd] pireno. Alguns deles para além das propriedades carcinogénicas podem ser também mutagénicos e teratogénicos.

SO₂ ou Dióxido de Enxofre

Gás tóxico, que na presença de humidade origina ácido sulfuroso e por oxidação também ácido sulfúrico, que resulta da queima de combustíveis fósseis contaminados com enxofre. É muito solúvel em água e de fácil liquefacção;

Entre as muitas aplicações como conservante e refrigerante, é utilizado em pequenas quantidades na preparação de misturas padrão para calibração e ajuste de instrumentos de monitorização na área do controlo ambiental;

Actua principalmente ao nível do sistema respiratório, e a sua inalação provoca irritações na garganta, tosse, dificuldades respiratórias, constrição da caixa torácica, inflamações agudas do sistema respiratório e edema pulmonar. A presença no ar causa irritação imediata ao nível dos olhos;

A inalação de SO₂ em altas concentrações (acima dos 150 ppm) produz um acesso de tosse violento devido à sua acção nas vias respiratórias além da forte irritação nos olhos, podendo mesmo causar queimaduras, devido à reacção fortemente exotérmica com a água. O contacto directo com a pele, dependendo da intensidade, pode causar irritações ou queimaduras; É também corrosivo, podendo favorecer a degradação de edifícios;

De acordo com a OMS os VLE-MP do SO₂ em ambientes interiores não deve ultrapassar os 0,048 ppm [24 horas] e 0,012 ppm [1 ano]. A Norma Canadiana (que estabelece os máximos de exposição recomendáveis para residentes de habitações (de 1987 a 1995), desenvolvidos por um comité de membros convocados pelo governo federal para estabelecer níveis – guia) adianta ainda os valores 0,38 ppm [5 minutos] e 0,019 ppm para um valor geral admissível [9];

É regulamentado no Brasil através do anexo número 11 da *Norma Regulamentar 15 (NR 15)*, que determina que no ambiente de trabalho a concentração máxima para uma exposição semanal de até 48 horas é de 4 ppm e na caracterização desta situação, o ambiente é considerado com o grau de insalubridade máximo [13];

São relatados cuidados especiais no controlo deste composto em ambientes hospitalares, designadamente o potencial de provocar crises de asma, enxaquecas e cefaleias. O VLE-MP é de 5 ppm numa exposição de 8 horas [14].

Os métodos de análise mais adequados são: a colorimetria, a fotometria de chama (Mede o S total. É simples e específico mas tem resposta não linear; o limite de detecção é 1ppb ou 0,01 ppm); a espectroscopia; a análise por fluorescência com fonte de UV – mais específico (mede o composto integral SO₂ e com um limite de detecção de 1 ppb). Para limites inferiores a 1 ppb de SO₂ (0,2 ppb) pode utilizar-se uma monitorização contínua com um analisador químico baseado na libertação de Hg, de acordo com a equação:



(Fifield F. W. e Haines P. J. “*Environmental Analytical Chemistry*”).

NO₂ ou Dióxido de Azoto

Gás tóxico, oxidante e corrosivo. As fontes primárias de contaminação interior são os processos de combustão em que se usa ar como comburente (*aparelhos não ventilados: fogões a gás, instalações de ventilação “defeituosas”, processos de soldadura e o fumo do tabaco, etc.*);

O NO₂ é um irritante que afecta essencialmente a mucosa dos olhos, nariz, garganta e tracto respiratório. Exposições continuadas a níveis elevados de dióxido de azoto podem contribuir para o desenvolvimento de bronquites crónicas ou agudas. Níveis mais baixos podem causar um aumento na reactividade bronquial em asmáticos, diminuição da função pulmonar em doentes com obstruções pulmonares crónicas e um aumento do risco de infecções respiratórias, especialmente em crianças pequenas;

De acordo com a *U. S. EPA*, o nível médio no interior de habitações residenciais sem aparelhos de combustão é aproximadamente metade do nível encontrado no ambiente exterior. Em habitações onde existem fogões a gás, aquecedores de querosene ou aquecedores não ventilados, os níveis no interior geralmente superam os níveis no exterior, e podem ser superiores a 200 µg/m³ num período de vários dias. O pico máximo no espaço de 1 hora pode chegar aos 2000 µg/m³. Em períodos mais curtos, concentrações ainda mais elevadas já foram medidas;

A OMS indica os valores 0,1 [1 hora] e 0,04 [1 ano], enquanto que a Norma Canadiana cita 0,25 ppm [1 hora] e 0,05 ppm como valor geral admissível [9];

Os asmáticos são os indivíduos mais sensíveis a este composto, apesar de ainda haverem incertezas relativas aos dados clínicos. A concentração mais baixa causadora de efeitos na função pulmonar nestes indivíduos foi relatada em estudos, quando estes foram expostos durante 30 a 110 minutos a uma concentração de 560 µg/m³ (0,3 ppm) durante exercício intermitente;

Em exposições a longo prazo ao ar interior com uma fonte emissora de dióxido de azoto, constatou-se através de estudos que crianças entre os 5 e os 12 anos de idade registam um aumento de 20 por cento no risco de desenvolver sintomas e consequentes doenças respiratórias, por cada aumento da concentração de NO₂ de 28,3 µg/m³ (numa média de 2 semanas), onde a média semanal regista concentrações médias no intervalo de 15 a 128 µg/m³ ou possivelmente mais elevadas. Os efeitos observados não podem ser atribuídos, contudo, aos repetidos picos de exposição a curto prazo, ou às exposições a longo prazo no intervalo das médias semanais (ou possivelmente ambos). Vários estudos epidemiológicos a populações relativamente extensas, expostas em ambientes interiores a picos de concentração de NO₂ de aparelhos de combustão a gás, não revelam ainda evidências consistentes de efeitos adversos na função pulmonar.

Os métodos mais adequados para a determinação deste composto são a quimioluminescência e a utilização de tubos difusores (17 por 12 mm) seguida de colorimetria (reação Greiss/Saltzman), quando se tratarem apenas de amostragem longas (Fifield F. W. e Haines P. J. “*Environmental Analytical Chemistry*”).

Asbestos ou Amianto

Define-se como um grupo de minerais impuros de magnésio silicatado na forma fibrosa;

Deterioração/dano no sistema de isolamento térmico e acústico e mosaicos contendo asbesto são as principais fontes de libertação deste material para a atmosfera;

Dependendo dos níveis de exposição, as fibras de amianto podem alojar-se nos alvéolos pulmonares e causar:

1. Cancro no pulmão (uma das formas mais correntes de cancro);
2. Cancro na pleura ou peritonal ou mesotelioma (revestimento do tórax e cavidade abdominal);
3. Asbestose (cicatrização irreversível dos tecidos fibrosos nos pulmões que pode ser fatal) [7].

Geralmente, o material em boas condições não liberta fibras de asbestos, que são perfeitamente identificáveis à vista desarmada (a não ser que estejam revestidos);

Os efeitos na saúde não se reflectem de imediato; de facto, os sintomas de contaminação pelo amianto não ocorrem, habitualmente, antes de 20 ou 30 anos depois da primeira exposição ao contaminante;

A maioria dos indivíduos expostos a pequenos montantes de asbestos (como num dia-a-dia corrente), não desenvolve problemas de saúde; no entanto, quando perturbado, o material contendo asbestos liberta fibras que podem ser inaladas e estas podem entrar nos pulmões. Essas fibras podem aí permanecer por muito tempo, aumentando o risco de desenvolver uma doença.

O risco de 1 e 2 aumenta com o número de fibras inaladas. O risco de 1 pela inalação de fibras é maior no indivíduo fumador. A asbestose surge em pessoas que estão expostas a concentrações elevadas durante longos períodos de tempo. As propriedades carcinogénicas dos asbestos parecem dever-se à geometria das fibras e à sua notável integridade;

A maioria dos relatos das pessoas contaminadas com asbestos revela que estas estiveram expostas a elevadas concentrações nos locais de trabalho. Algumas pessoas desenvolveram doenças quando expostas a roupa ou equipamento trazido para casa dos locais de trabalho;

As formas de corrigir/tratar a existência de amianto são a reparação (impermeabilização e revestimento de materiais contendo asbestos) ou a remoção (mais dispendioso, deve seguir as normas locais existentes e deve ser opção apenas em casos extremos de dano nos materiais). Qualquer uma destas acções deve ser feita por profissionais; pessoal especializado. A *U.S. EPA* recomenda a remoção dos asbestos apenas no caso de prevenção de uma significativa exposição pública e um programa de gestão no próprio local quando os asbestos se encontram em boas condições;

Actualmente, de acordo com a *U.S. EPA*, as concentrações no ar interior e no ar ambiente variam entre as centenas e os vários milhares de fibras por m^3 . Dados de variados estudos epidemiológicos têm extrapolado concentrações significativamente mais baixas no ar ambiente em comparação com as exposições ocupacionais/interiores;

É um comprovado carcinogéneo pela Agência Internacional de Pesquisa do Cancro (*IARC grupo 1*). Não é proposto nenhum nível de segurança para o amianto uma vez que não existe nenhum limiar. A exposição deve ser mantida o mais baixa possível;

Num tempo de vida com uma exposição a cerca de 1000 fibras/ m^3 numa população onde 30% são fumadores, o acréscimo do risco de contrair cancro do pulmão é da ordem dos $10^6 - 10^5$. Para o mesmo tempo de exposição, o risco de contrair mesotelioma na população em geral está no intervalo de $10^5 - 10^4$. Estes intervalos são propostos tendo em vista uma adequada protecção da saúde. Para contrair cancro do pulmão, o efeito do fumo do tabaco combinado com a exposição aos asbestos parece aumentar o risco em cerca de cinco vezes;

As exposições ocupacionais estão associadas com o aumento do risco de contrair neoplasias gastrointestinais malignas. Deve-se focar especial atenção nas populações com potencial exposição continuada e efeitos na saúde documentados.

As técnicas de detecção analíticas passam pela utilização de microscopia com luz polarizada para identificação de um volume amostral de fibras (dispersão óptica) (U.S. EPA; Godish, T. "Air Quality") e por difracção de Raio-X (embora mais dispendiosa e de elevado consumo de energia). Os níveis no ar podem ser detectados passando um dado volume de ar por um filtro de membrana num amostrador de vácuo.

Fumo do Tabaco Ambiental

O fumo do tabaco ambiental (FTA) é o emitido pela ponta do cigarro bem como o que é devolvido ao meio ambiente pelo fumador após aspiração do fumo;

Constitui uma complexa mistura dinâmica de centenas de compostos nas fases particulada e de vapor, e não pode ser medido directamente como um todo. Existem alguns compostos marcadores do FTA, como a nicotina e as partículas suspensas respiráveis (PSRs), que são utilizadas para quantificar a exposição ambiental;

É consensual que o FTA é a mais importante fonte de contaminantes interiores quando há fumadores nas instalações. A natureza ubíqua do FTA nos ambientes interiores indica que a inalação não intencional de algumas partículas de fumo do tabaco pelos não fumadores é inevitável;

Os níveis de FTA estão directamente relacionados com a densidade de fumadores: em países com uma elevada prevalência de fumadores, os níveis médios de FTA podem ser maiores;

Nas sociedades ocidentais onde a percentagem de adultos fumadores varia entre os 30 e os 50 %, estima-se que mais de 50 % das habitações são ocupadas por pelo menos um fumador, o que resulta numa elevada prevalência de exposição a FTA entre as crianças e outros não fumadores; uma larga percentagem de não fumadores está também exposta nos locais de trabalho;

Está demonstrado que o FTA aumenta os riscos de vários efeitos na saúde dos não fumadores expostos a níveis ambientais típicos. O padrão dos efeitos na saúde produzidos pela exposição ao fumo do tabaco demonstrado nos adultos não fumadores é consistente com os conhecidos efeitos associados ao fumo activo dos cigarros;

Estudos epidemiológicos demonstram que o fumo do tabaco aumenta o risco de morbidez (enfraquecimento doentio) e mortalidade por doenças cardiovasculares nos não fumadores, especialmente daqueles com exposições crónicas. É irritante para os olhos e para o tracto respiratório. É a causa de muitos cancros (para além do pulmão), enfisemas e outras doenças respiratórias obstrutivas crónicas. Nas crianças pequenas (até aos 3 anos de idade), o FTA aumenta o risco de pneumonia, bronquite, bronquiolite e fluidos no ouvido médio. Nas crianças asmáticas, aumenta a gravidade e a frequência dos ataques de asma. Além disso, o fumo activo do tabaco reduz o peso à nascença da descendência de mães não fumadoras;

Os níveis de exposição onde estes efeitos se observam são indicados pela nicotina quando se encontra entre 1 – 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. A OMS estima que 9 – 13% de todos os casos de cancro podem ser atribuídos ao FTA na população não fumadora, da qual cerca de 50% se encontra exposto ao FTA. De acordo com as estimativas, quando aplicadas à população europeia, cerca

de 3000 a 4500 casos de cancro nos adultos num ano; entre 300 000 e 550 000 episódios de doença respiratória nas crianças no espaço de um ano, prevê-se que estejam relacionados com a exposição ao ETS;

A *U.S. EPA* classifica o FTA como carcinogénico para o ser humano (Grupo A);

De acordo com o *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) o fumo passivo (ou FTA) pode causar cancro do pulmão em adultos saudáveis que nunca tenham fumado;

Uma melhor ventilação, em termos gerais, dos espaços interiores pode fazer diminuir o odor a FTA, no entanto os riscos para a saúde não podem ser eliminados apenas pela introdução de métodos de ventilação aceitáveis. A remoção total do fumo do tabaco através de ventilação generalizada não é viável; A solução mais eficaz passa pela proibição de fumar ou pela criação de áreas restritas desenhadas especificamente para o efeito.

Os métodos de amostragem da nicotina (indicador) passam pelos tubos absorventes (métodos NIOSH 2544 e 2551) e a análise por cromatografia gasosa com detector de azoto e fósforo (GC-NPD), desde poucos minutos até algumas horas de amostragem.

Nota: Dada a entrada em vigor do *Decreto – Lei nº 37/2007 de 14 de Agosto* (Regulamentação sobre a proibição de fumar em determinados espaços fechados não preparados para o efeito), os dados das concentrações/percentagens referentes aos níveis medidos no interior de espaços fechados que, porventura, possam ser indicativos/transpostos para a situação portuguesa, devem ter em consideração o facto de haver alterações nas concentrações do fumo do tabaco em locais onde anteriormente não se aplicava qualquer norma ou obrigação/privação. Pretendeu-se com estes dados referenciar aqueles ambientes interiores onde não existe qualquer controlo na exposição/libertação de fumo do tabaco.

Partículas Respiráveis (PM_{2,5})

Definem-se como partículas em suspensão susceptíveis de serem recolhidas através de uma tomada de amostra selectiva, com eficiência de corte de 50%, para um diâmetro aerodinâmico de 2,5 µm (uma partícula com diâmetro aerodinâmico de 2,5 µm, move-se num gás como uma esfera de densidade 1 g/cm³ e com um diâmetro de 2,5 µm);

Fazem parte das PM_{2,5} todo o tipo de partículas que se encontram em locais com fumo, fogões a lenha, aquecedores de querosene. O FTA é também um dos principais contribuintes para este grupo de partículas. Constituem aerossóis formados secundariamente, partículas de combustão, vapores metálicos e orgânicos recondensados;

Os efeitos na saúde, dependendo das concentrações a que se encontram, passam por irritações ao nível dos olhos, nariz e garganta, infecções respiratórias e bronquites e cancro do pulmão. Certos químicos ligados às partículas podem causar cancro no pulmão quando inalados. Este risco aumenta com a quantidade de partículas inalada e o tempo de exposição;

Os níveis de partículas em casas sem fumadores ou outras fontes de material particulado são equiparados ou mesmo inferiores aos níveis encontrados no exterior;

A Norma Canadiana considera como VLE-MP 0,1 mg/m³ [1 hora] e 0,04 mg/m³ [longos períodos de exposição]. A *U.S.EPA* em 1996 definiu o valor de 0,06 mg/m³ para 24 horas de exposição.

A amostragem de partículas deste tipo passa pela filtração com amostragem de 24 horas.

ANEXO 5

QUESTIONÁRIO SOBRE A QUALIDADE DO AR INTERIOR EM EDIFÍCIOS (Indoor Air Quality Building Survey)

Exemplo de um questionário efectuado antes da realização de amostragens em habitações particulares aos residentes que serve de apoio à determinação das melhores condições para um estudo da atmosfera interior dos edifícios [15].

QUESTIONÁRIO SOBRE A QUALIDADE DO AR INTERIOR EM EDIFÍCIOS

Data: _____ ID#: _____

Morada: _____

Contacto: _____

Telefone: casa: () _____ trabalho: () _____

Lista dos ocupantes presentes/ocupação:

IDADE (se menores de 18)	SEXO (M/F)	OCUPAÇÃO

Características de construção do edifício:

Qual o tipo de edifício (infra-estrutura) que possui?
(Responda com um círculo no local apropriado)

Família singular

Família múltipla

Família dupla

Duplex

Quinta

Fazenda

Escolar

Comercial

Apartamento

Caravana

Residência número de ocupantes ____

Condomínio número de ocupantes ____

Outro (especificar) _____

Descrição geral dos materiais de construção do edifício:

Quantos ocupantes teve o edifício anteriormente (histórico de ocupação)?

O edifício é climatizado com algum dos seguintes?

(Colocar um círculo em todos os que se aplicam)

Insolação Janelas resistentes a tempestades Janelas energeticamente eficientes
 Outro (especificar) _____

Qual o tipo de cave presente no edifício?

(Colocar um círculo em todos os que se aplicam)

Cave plena Outro (especificar) _____

Quais as características da cave? (Colocar um círculo em todos os que se aplicam)

Acabada	Piso da cave:	Fundação das paredes:	Humidade:
Por acabar	Concreto	Concreto puroso	Muito húmido
		Blocos	Húmido
Outro (especificar) _____		Cama de pedra	Seco

A cave tem alguma das seguintes características (por exemplo, vias preferenciais no edifício que podem permitir a entrada de vapor do solo)?

(Colocar um círculo em todos os que se aplicam)

Fissuras	Tubos/conduatas em utilização
Fundação/placas (chapas) de drenagem	Outro (especificar) _____

Sistemas de ventilação e de aquecimento presentes:

Que tipo de sistemas de aquecimento são usados neste edifício?

(Colocar um círculo em todos os que se aplicam)

Circulação de ar quente	Bomba de calor	Radiador (vapor)	Fogão a lenha
Radiação de ar quente	Aquecedores não ventilados de querosene		

Outro (especificar): _____

Que tipo(s) de combustível(s) é utilizado neste edifício?

(Colocar um círculo em todos os que se aplicam)

Gas Natural

Electricidade

Carvão

Fuelóleo

Madeira

Solar

Outro (especificar): _____

Que tipo de sistemas de ventilação mecânicos estão presentes ou são frequentemente utilizados no edifício? (Colocar um círculo em todos os que se aplicam)

Ar Condicionado central

Ventiladores mecânicos

Ventiladores/ventoinha em WC

Unidades individuais de Ar Condicionado

Sistemas de troca de calor

Janelas abertas

Outro (especificar): _____

Fontes dos contaminantes químicos:

Quais destes itens estão presentes no edifício?

(Colocar um círculo em todos os que se aplicam)

Potencial fonte de COV	Localização da fonte	Removido 48 horas antes da amostragem (S/N/NR)
Tintas ou diluentes		
Equipamentos a gás		
Latas de armazenamento de gasolina		
Solventes de limpeza		
Purificadores do ar		
Agentes de limpeza de estofos/carpetes		
Lacas		
Removedores de verniz		
Detergentes de WC		
Aparelhos de limpeza		
Detergentes para o chão e para mobiliário		
Tanques de combustível		
Fogões a lenha		
Lareiras		
Perfumes/águas-de-colónia		
Suplementos de lazer (como		

tintas, solventes, colas, químicos utilizados na fotografia, etc.)		
Plantas perfumadas, grinaldas, etc.		
Outro		
Outro		

Um ou mais fumadores ocupam este edifício regularmente?

Alguém fumou neste edifício nas últimas 48 horas?

O edifício tem uma garagem anexada?

Se sim, há carros frequentemente estacionados na garagem?

Os ocupantes deste edifício utilizam frequentemente a limpeza a seco para a lavagem das suas roupas?

Houve alguma remodelação recente ou pintura no edifício?

Estão presentes no edifício produtos resultantes do processamento da madeira? (por exemplo, painéis de parede, painéis de fibras ou partículas)?

Existem novos estofos, cortinas ou outros têxteis no edifício?

O edifício é regularmente tratado com insecticidas/pesticidas? Se sim, que químicos são usados e com que frequência são utilizados?

Alguns dos ocupantes aplicou pesticidas/herbicidas no jardim/varanda? Se sim, que químicos são usados e com que frequência são utilizados?

Fontes de contaminação exterior:

Existe alguma fonte estacionária de emissão nas vizinhanças do edifício?

Existem algumas fontes móveis? (por exemplo, auto-estradas, paragens de autocarro, áreas com grande intensidade de tráfego) nas vizinhanças do edifício?

Condições meteorológicas durante a amostragem:

Temperatura exterior (°F):

Direcção prevalecente do vento: _____

Descreva as condições meteorológicas gerais (por exemplo, solarengo, com nuvens, chuvoso):

Ocorreu alguma precipitação significativa (aproximadamente 2,5 mm) nas 12 horas anteriores ao evento de amostragem?

Tipo de chão (por exemplo, relvado, pavimento, etc.) no exterior no edifício:

Comentários gerais

Existe alguma informação acerca das características estruturais deste edifício, os hábitos dos seus ocupantes ou potenciais fontes de contaminantes químicos para o ar interior que podem ter importância, facilitando a avaliação da qualidade do ar interior do edifício?

(NHDES, 1998; NYDOH, 1997; VDOH, 1993)

Instruções para residentes (para serem seguidas pelo menos 48 horas antes e durante o evento de amostragem)
<ul style="list-style-type: none">• Não abrir janelas, aberturas ou orifícios de lareiras.• Não manter as portas abertas.• Não utilizar ventiladores ou ar condicionado.• Não utilizar ambientadores ou eliminadores de odor.• Não fumar nas instalações.• Não utilizar fogões a lenha, lareiras ou outros equipamentos auxiliares de aquecimento (por exemplo, aquecedores de querosene).• Não usar tintas ou vernizes.• Não utilizar produtos de limpeza (por exemplo, limpeza de WC, móveis, chão, aparelhos de limpeza para todos os fins).• Não utilizar cosméticos incluindo lacas, vernizes, removedores de verniz, perfumes, etc.• Não participar em actividades interiores que utilizem solventes.• Não aplicar pesticidas.• Não armazenar contentores de gasolina, gásóleo ou outros solventes com base de petróleo dentro de casa ou em garagens anexas.• Não operar ou guardar automóveis em garagens anexas.

ANEXO 6

CRITÉRIOS PARA UM AMBIENTE INTERIOR (RESIDENCIAL) SAUDÁVEL

1. Pense na saúde dos seus concidadãos – não fume em ambientes interiores.
2. Uma temperatura correcta é um dos factores de uma atmosfera interior mais importantes. No inverno deve ser entre 18 e 22 °C. Controle e procure a temperatura correcta para si e para a sua família.
3. A ventilação nos edifícios residenciais deve ser contínua, não apenas durante o cozinhar ou outras actividades que libertem poluentes. A ventilação mecânica deve decorrer continuamente ao longo do tempo e não deve causar ruído. A ventilação natural deve ser assistida com arejamento, abrindo janelas quando necessário. Procure que o sistema de ventilação seja operado de forma correcta e equilibrada.
4. A abertura de portas entre as divisões melhora a ventilação dos quartos durante a noite. A ventilação do WC é inadequada se a condensação nos espelhos não desaparecer em poucos minutos após um duche ou um banho.
5. As cozinhas devem estar munidas de exaustores com ventilador, particularmente aquelas com fogões a gás. O filtro deve ser limpo e trocado a cada 2 ou 3 meses.
6. A ventilação cruzada é a melhor forma de aumentar a ventilação temporariamente. A energia vai ser perdida se as janelas estiverem abertas por longos períodos de tempo.
7. Um odor estranho e recente nas instalações da habitação é frequentemente um sinal de risco para a saúde. Descubra de onde vem o odor, remova a fonte e proceda à recuperação ou remodelação se necessário.
8. Proceda à limpeza regular das superfícies na habitação para as manter livres de pó. Utilize métodos de limpeza que não poluam o ar. Evite superfícies que acumulem facilmente o pó.
9. Verifique se o aspirador tem o filtro apropriado. Proceda à ventilação apropriada depois de aspirar para eliminar as pequenas partículas transportadas no ar.
10. Os sistemas típicos de limpeza do ar (com dispositivos de filtragem) têm a capacidade de limpar o ar numa única divisão, não em toda a habitação. Garanta que o sistema de limpeza é mantido adequadamente.
11. A temperatura elevada, o pó e o formaldéido no ar provocam a sensação de ambiente seco. O ar interior precisa de ser humidificado apenas durante prolongados períodos de congelamento no ambiente exterior. Não deve humidificar o ambiente com percentagens superiores a 35% de humidade relativa. Mantenha os humidificadores limpos. Humidificadores a vapor que tenham

uma elevada temperatura da água são melhores na prevenção do crescimento de microorganismos.

12. A humidade relativa interior não deve exceder os 60% por longos períodos para não favorecer o crescimento de bolor e deve ser abaixo dos 45% para controlar os ácaros. A humidade interior não deve, em circunstância alguma, condensar em janelas ou paredes exteriores.

13. Monitorizar as condições e qualidade das superfícies interiores. Relatar alterações ao dono do edifício ou responsável pelo mesmo. Danos no material ou nas estruturas provocados pela humidade devem ser completamente secas ou imediatamente substituídos.

14. Utilizar materiais de construção e produtos consumíveis de baixa emissão. Evitar materiais e produtos de odor muito forte.

15. Evitar habitar num apartamento ou casa quando este(a) se encontrar em remodelações, de modo a evitar a exposição a poluentes das tintas frescas ou outros materiais de construção.

16. Mantenha a concentração de radão controlada na sua habitação se viver numa casa ou piso térreo de um edifício localizado numa área com radão.

17. Lembre-se que os animais de estimação pode causar sérias reacções alérgicas.

(THADE Report: Towards Healthy Air in Dwellings in Europe, [35])