

Anabela Outeiro Martins

*Influência de materiais de revestimento de pavimentos
na Qualidade do Ar Interior em termos de
Compostos Orgânicos Voláteis*



FC

FACULDADE DE CIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

Departamento de Química

Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Porto, Janeiro 2003

Anabela Outeiro Martins

*Influência de materiais de revestimento de pavimentos
na Qualidade do Ar Interior em termos de
Compostos Orgânicos Voláteis*

Dissertação submetida à Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
para obtenção do grau de Mestre em Química



FACULDADE DE CIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

Departamento de Química
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
Porto, Janeiro 2003

Agradecimentos

À Professora Doutora Maria Teresa Vasconcelos desejo exprimir o meu reconhecimento e gratidão pela orientação, incentivo e disponibilidade sempre demonstrada.

Ao Professor Doutor Eduardo de Oliveira Fernandes que, juntamente com a Professora Doutora Maria Teresa Vasconcelos, criou o Laboratório da Qualidade do Ar Interior, agradeço todo o apoio e o facto de ter fornecido os meios materiais indispensáveis à realização experimental.

À Amorim Revestimentos, sem a qual este trabalho não teria sido possível, agradeço a oportunidade e toda a colaboração prestada por Dr. Luís Salgado, Eng^a Maria João Samúdio e Dra. Graça Rocha.

Ao Professor Doutor Adélio Machado, coordenador do LAQUIPAI, agradeço o apoio concedido.

A todos os elementos da secção de Química Inorgânica do Departamento de Química agradeço a permissão em utilizar uma sala para a realização deste trabalho.

À Gabriela agradeço toda a ajuda, amizade e apoio, sem o qual não teria conseguido levar a cabo este trabalho. Obrigada pelos ensinamentos preciosos.

Aos meus colegas e amigos do LAQUIPAI, em especial ao Sousa e à Marisa, agradeço toda a ajuda e o excelente ambiente de trabalho.

À empresa Edifícios Saudáveis Consultores, em especial ao Eng^o João Souto, agradeço a amizade e disponibilidade na realização dos testes com gás traçador.

A todos os investigadores envolvidos nos projectos europeus que levaram ao desenvolvimento do programa SOPHIE desejo exprimir o meu agradecimento.

A todos os familiares e amigos, em especial aos meus pais, ao Jorge, à Nini e ao Raúl, agradeço todo o apoio e paciência.

Resumo

A poluição das atmosferas de espaços interiores constitui hoje um problema de saúde pública importante. Isto porque a maioria das populações dos países mais desenvolvidos despendem mais de 80% do seu tempo em espaços confinados, cuja atmosfera contém substâncias prejudiciais à saúde.

Foi objectivo deste trabalho estudar a evolução da qualidade do ar interior, em termos de compostos orgânicos voláteis (COVs), numa sala, durante um ano, no decurso do qual nela foram instalados, sequencialmente, quatro revestimentos de pavimento diferentes. A influência da aplicação de produtos de tratamento e limpeza dos pavimentos foi também estudada. Para tal procedeu-se à monitorização da atmosfera da sala. As amostras de ar foram recolhidas por adsorção em tubos contendo Tenax TA, desadsorvidas termicamente e os COVs foram identificados/quantificados por cromatografia gasosa provida de um detector selectivo de massa e um de ionização por chama.

Todos os materiais estudados foram produzidos pela empresa Amorim Revestimentos S.A., tratando-se portanto de materiais à base de cortiça mas com diferentes tipos de acabamentos e incorporando materiais diferentes. Os materiais com a designação comercial de PM03 Cherry e de PT03 Cherry foram os que mostraram ter factores de emissão mais baixos, tendo a concentração total de COVs (COVsT) na atmosfera sido menor que $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no final do estudo. Por isso, estes foram considerados os materiais mais recomendáveis em termos ecológicos, no conjunto dos quatro estudados, que incluía também os denominados CS10 Natural e NJ01 Rome envernizado com W2000. Os valores de COVsT no final do estudo dos diversos materiais, incluindo os processos de tratamento e envernizamento a que foram sujeitos, situaram-se entre 46 e $346 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Estes valores foram semelhantes ou mesmo inferiores aos que têm sido encontrados em bibliotecas, residências e escritórios em vários países.

Porém, alguns dos compostos encontrados na sala têm limiares de odor bastante baixos, podendo causar impacto nas pessoas expostas. Por exemplo, para 2-butoxietanol o limiar de odor é de $5,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que é uma concentração bastante inferior à que foi observada na sala um mês após a aplicação de verniz nos pavimentos comercialmente designados por CS10 Natural e NJ01 Rome. Assim, as concentrações de COVs observadas na sala, embora tenham sido bastante inferiores aos limites máximos recomendados por algumas organizações, como a ECA (European Collaborative Action “Indoor Air Quality and Its Impact on Man”, 1997), poderão ser suficientes para gerar queixas da qualidade do ar interior e mesmo sintomas de SBS nas pessoas expostas.

Para fins comparativos, neste trabalho monitorizaram-se também as emissões dos mesmos pavimentos colocados numa câmara de teste com condições ambientais padronizadas. Os resultados obtidos levaram a concluir que a câmara de teste é capaz de fornecer informações bastante semelhantes (embora não coincidentes) às obtidas numa sala real. Sendo um método muito mais simples e expedito e além disso padronizado, a câmara de teste constitui uma metodologia adequada ao estudo da qualidade “ecológica” de materiais de construção.

Fez-se ainda uma avaliação comparativa dos níveis de COVs observados na sala com os obtidos por simulação com o programa SOPHIE (“Sources of Pollution for a Healthy and Comfortable Indoor Environment”) a partir de dados obtidos em câmara de teste. O estudo revelou que o programa SOPHIE não constitui ainda uma ferramenta segura para estimar emissões em ambiente real, principalmente quando se trata de materiais líquidos que poderão originar fenómenos de adsorção/desadsorção extensos.

Índice

<i>Agradecimentos</i>	III
<i>Resumo</i>	V
<i>Símbolos e Abreviaturas</i>	X

1- INTRODUÇÃO

1.1 O AR INTERIOR E A SAÚDE	3
1.2 CONTAMINANTES QUÍMICOS EM ATMOSFERAS INTERIORES	5
1.3 COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS	7
1.4 O FORMALDEÍDO E O AMBIENTE INTERIOR	10
1.5 ODORES ASSOCIADOS A COV _s	12
1.6 OS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO E A QUALIDADE DO AR INTERIOR	14
1.7 PROGRAMA/BASE DE DADOS SOPHIE	18
1.8 OBJECTIVOS E ESTRATÉGIA	19

2- EXPERIMENTAL

2.1 DESCRIÇÃO DA SALA E DOS MATERIAIS DE REVESTIMENTO ESTUDADOS	23
2.1.1 Características da sala	23
2.1.2 Calendarização do estudo	23
2.1.3 Descrição dos materiais aplicados na sala e do respectivo modo de aplicação	24
2.2 PROCEDIMENTOS DE AMOSTRAGEM	27
2.2.1 Procedimentos preliminares	27
2.2.2 Condições em que foi realizada a monitorização da QAI	28
2.2.3 Amostragem	30
2.3 PROCEDIMENTO ANALÍTICO	32
2.3.1 Reagentes	32
2.3.2 Calibração	33
2.3.3 Metodologia de análise	35
2.3.4 Cálculo dos factores de emissão	35

2.4 TESTES EM CÂMARA	36
2.4.1 Câmara de teste	36
2.4.2 Preparação dos materiais	36
3- RESULTADOS	
3.1 MONITORIZAÇÃO DA QAI NA SALA ANTES DA COLOCAÇÃO DO REVESTIMENTO DO PAVIMENTO	39
3.1.1 Comparação dos níveis de COVs na atmosfera exterior e na sala	39
3.1.2 Níveis de formaldeído	40
3.1.3 Evolução dos brancos durante a preparação da sala	41
3.1.4 Níveis de temperatura e humidade relativa	41
3.2 SALA COM PAVIMENTO PT03 CHERRY	42
3.2.1 Evolução da composição do ar ao longo do tempo	42
3.2.1.1 Grau de mistura do ar na sala	44
3.2.1.2 Perfis de variação dos níveis de COVs ao longo do tempo	44
3.2.2 Efeito da aplicação do protector “Floordressing”	46
3.2.3 Efeito da aplicação do detergente “Soft Cleaner”	48
3.3 SALA COM PAVIMENTO CS10 NATURAL	50
3.3.1 Evolução da composição do ar ao longo do tempo	50
3.3.1.1 Grau de mistura do ar na sala	51
3.3.1.2 Perfis de variação dos níveis de COVs ao longo do tempo	51
3.3.2 Efeito da aplicação do verniz “W1000”	52
3.3.3 Efeito da aplicação do “V-Care”	56
3.4 SALA COM PAVIMENTO NJ01 ROME, ENVERNIZADO COM “W2000”	59
3.4.1 Evolução da composição do ar ao longo do tempo	59
3.4.1.1 Grau de mistura do ar na sala	59
3.4.1.2 Perfis de variação dos níveis de COVs ao longo do tempo	62
3.5 SALA COM PAVIMENTO PM03 CHERRY	62
3.5.1 Evolução da composição do ar ao longo do tempo	62
3.5.2 Efeito da aplicação do verniz “W1000”	64
3.6 AVALIAÇÃO COMPARATIVA DA INFLUÊNCIA DOS DIVERSOS MATERIAIS DE REVESTIMENTO DE PAVIMENTOS NA QAI	67

3.7 COMPARAÇÃO DA QAI NA SALA COM A DE OUTRAS ATMOSFERAS INTERIORES	71
3.8 COMPARAÇÃO DA QAI OBSERVADA NA SALA E AVALIADA NUMA CÂMARA DE TESTE	73
3.9 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS REAIS COM OS SIMULADOS COM O PROGRAMA SOPHIE	77
4- CONCLUSÕES	83
<i>Bibliografia</i>	87

Símbolos e Abreviaturas

C	Concentração de um composto individual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
COVs	Compostos orgânicos voláteis
COVsT	Total de compostos orgânicos voláteis
FE	Factor de emissão ($\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{h})$)
FID	Detector de ionização por chama (do inglês “flame ionization detector”)
GC	Cromatografia gasosa
HR	Humidade relativa (%)
L	Factor de carga (m^2/m^3), (área de material/volume da sala)
MSD	Detector selectivo de massa (do inglês “mass selective detector”)
n	Número de renovações horárias (h^{-1})
OT	Limiar do odor (do inglês “odour thresholds”)
q	Factor de carga específico ($\text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$)
QAI	Qualidade do ar interior
SBS	Síndrome dos edificios doentes (do inglês “sick building syndrome”)
T	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

1. INTRODUÇÃO

- 1.1 O ar interior e a saúde
- 1.2 Contaminantes químicos em atmosferas interiores
- 1.3 Compostos orgânicos voláteis
- 1.4 O formaldeído e o ambiente interior
- 1.5 Odores associados a COVs
- 1.6 Os materiais de construção e a qualidade do ar interior
- 1.7 Programa/Base de dados SOPHIE
- 1.8 Objectivos e estratégia

1.1- O AR INTERIOR E A SAÚDE

Durante as últimas duas décadas tem havido uma preocupação crescente da comunidade científica sobre os efeitos da qualidade do ar interior (QAI) na saúde.

Até à década de 70, embora se encontrem alguns estudos relacionados com a QAI em residências e locais de trabalho não industrial, o interesse por este tipo de problemas era muito reduzido (Stolwijk, 1992). Mesmo nos dias de hoje (Jones, 1999), o interesse público continua a estar centrado nos impactos provocados pela poluição exterior na saúde, embora, nas sociedades desenvolvidas, as pessoas passem a maior parte do tempo dentro de edifícios. Por exemplo, uma investigação recente em cidadãos residentes nos EUA, levou à conclusão que estes passam 88% do seu dia dentro de edifícios e 7% dentro de automóveis, sendo apenas 5% do seu tempo passado no exterior (Robinson and Nelson, 1995). Ora, existe evidência de que as concentrações de muitos poluentes em ambientes interiores são superiores às encontradas no exterior, embora isto não signifique necessariamente que a respectiva exposição provoque efeitos nocivos (Namieśnik et al., 1992a, b, 1994; Teichman, 1995; Phillips et al., 1997; Brown, 1999).

Nas últimas décadas deram-se mudanças na concepção arquitectónica dos edifícios, de modo a tornar os edifícios mais estanques que as estruturas mais antigas, com vista a aumentar a sua eficiência energética. Encontram-se hoje, com frequência, casas com taxas de ventilação muito baixas, da ordem das 0,2 renovações por hora (rph) (Platts-Mills et al., 1996), quando o valor recomendado pela ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers) é de 0,35 rph (ASHRAE, 1989).

Por outro lado, avanços na tecnologia de construção levaram a um aumento de utilização de materiais de construção sintéticos (D'Amato et al., 1994). Embora estes melhoramentos tecnológicos tenham conduzido a edifícios mais confortáveis e com um custo de manutenção energética inferior, vieram também criar novas fontes de contaminantes nos ambientes interiores.

A concentração de um poluente num ambiente interior depende do volume de ar contido no espaço interior, da velocidade de produção e libertação do poluente no espaço interior, da velocidade de remoção do mesmo, da velocidade das trocas de ar interior e exterior, da concentração do poluente no exterior (Maroni et al., 1995), e de factores climáticos como a temperatura e a humidade relativa.

Por outro lado, as pessoas deslocam-se entre espaços interiores e exteriores e o comportamento e os padrões de actividade dos indivíduos afectam fortemente os seus níveis de exposição (Harrison, 1997). Consequentemente, a exposição a que estão sujeitas as diversas pessoas é muito difícil de quantificar.

A exposição a contaminantes em atmosferas interiores poderá levar a um conjunto alargado de efeitos adversos na saúde (Bascom et al., 1995). Mas a probabilidade de um indivíduo ficar doente em consequência de exposição a um contaminante depende, entre outros factores, da sensibilidade do indivíduo a esse contaminante, da concentração do mesmo no ar, do estado de saúde física e psicológica do indivíduo, da duração e da frequência da exposição (Seltzer, 1997).

Por este conjunto de razões e ainda pelo facto de o interesse científico sobre o papel que a QAI desempenha na saúde e no bem estar ser relativamente recente, ainda se sabe bastante menos sobre os riscos de saúde associados aos poluentes presentes nos espaços interiores, do que sobre os associados aos poluentes típicos dos espaços exteriores.

Porém, desde o início da década de 70 tem vindo a acontecer cada vez com mais frequência que os ocupantes de alguns edifícios, usualmente escritórios, mas também escolas, hospitais, casas de repouso para idosos e apartamentos, descrevam um conjunto vago, muitas vezes subjectivo e complexo de queixas de saúde (Horvath, 1997), a que se convencionou designar por *síndrome dos edifícios doentes* (do inglês “sick building syndrome”, SBS). Os sintomas associados ao SBS também se observam na população em geral, mas são mais frequentes entre os ocupantes de edifícios doentes (Lahtinen et al., 1998). A presença de tais sintomas pode ter um impacto na saúde pública e no custo para a economia superior a algumas doenças mais graves, devido ao absentismo generalizado e à baixa de produtividade que se verificam nos trabalhadores afectados (Wallace, 1997; Wargocki et al., 1999; Lagercrantz et al., 2000).

Numerosos estudos de investigação das causas do SBS falharam na determinação de um factor específico que possa explicar as queixas de saúde (Lahtinen et al., 1998). São conhecidos alguns casos de SBS em edificios antigos com ventilação natural. Porém este síndrome ocorre mais frequentemente em edificios modernos com maior eficiência energética, em particular os dotados com sistemas de ar condicionado (Redlich et al., 1997). Esta observação levou à conclusão que o SBS deve estar de algum modo associado a problemas de qualidade do ar interior.

1.2- CONTAMINANTES QUÍMICOS EM ATMOSFERAS INTERIORES

Em atmosferas interiores, os contaminantes podem emanar de um conjunto alargado de fontes, como mostra a tabela 1.1.

Em alguns casos, infiltrações do exterior, de ar, solo ou através dos sistemas de canalização, também contribuem para o nível de contaminantes nas atmosferas interiores.

O presente trabalho incidiu apenas num conjunto de substâncias químicas conhecidas por compostos orgânicos voláteis (COVs). São abrangidos por esta classificação todos os compostos que têm pontos de ebulição compreendidos entre 50°C e 260°C (Maroni et al., 1995). Na prática, e tendo em conta o método que é normalmente usado na sua determinação, correspondem aos compostos eluídos em cromatografia gasosa entre o hexano e o hexadecano (ECA, 1997).

As principais fontes de COVs na maioria dos ambientes interiores são os materiais usados no revestimento de pavimentos, vernizes, solventes, produtos de limpeza, agentes de limpeza a seco e protectores, materiais de isolamento, mobília, colas, tintas, cosméticos, estofos, carpetes e outros têxteis (Sterling, 1985; Samfield, 1992; ECJRC, 1997; Brown, 1999; Jørgensen and Bjørseth, 1999a, Jørgensen et al., 1999b; Saarela, 1999). Actividades humanas como cozinhar, limpar ou fumar, contribuem também com COVs para o ambiente interior.

Emissões industriais, exaustão de veículos a gasóleo ou gasolina (Nelson and Quigley, 1983) são algumas das fontes antropogénicas de COVs do ambiente exterior que contribuem para os COVs no ambiente interior, devido às trocas de ar entre os dois tipos de ambiente.

Tabela 1.1. Principais contaminantes de ambientes interiores e suas fontes. (Spengler e Sexton, 1983)

Contaminante	Principal fonte emissora
Alergénicos	Poeiras, animais domésticos, insectos
Amianto	Materiais de isolamento e de queima
Dióxido de carbono	Actividades metabólicas, de combustão, veículos motorizados nas garagens
Monóxido de carbono	Queima de combustíveis, caldeiras, salamandras, aquecedores a óleo ou gás, fumo de tabaco, veículos motorizados nas garagens
Formaldeído	Painéis de partículas, materiais de isolamento, mobílias
Microorganismos	Pessoas, animais, plantas, sistemas de ar condicionado
Dióxido de azoto	Ar exterior, queima de combustíveis, veículos motorizados nas garagens
Substâncias orgânicas	Colas, solventes, tintas, materiais de construção, volatilização, combustão, fumo de tabaco
Ozono	Reacções fotoquímicas, computadores, material electrónico
Partículas	Re-suspensão, produtos de combustão, fumo de tabaco
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos	Queima de combustíveis, fumo de tabaco
Pólen	Ar exterior, árvores, relva, ervas daninhas, outras plantas
Radon	Solo, materiais de construção (pedra, betão)
Esporos, fungos	Solo, plantas, víveres
Dióxido de enxofre	Ar exterior, queima de combustíveis fósseis

A tabela 1.2. lista algumas das fontes usuais de COVs encontrados no ar interior.

Tabela 1.2. Fontes comuns de compostos orgânicos voláteis no ar interior (Maroni et al., 1995)

Fonte	Exemplos de contaminantes típicos
Bens de consumo e produtos comerciais	Hidrocarbonetos alifáticos (n-decano, alcanos ramificados), hidrocarbonetos aromáticos (tolueno, xilenos), hidrocarbonetos halogenados (cloreto de metileno), álcoois, cetonas (acetona, metiletilcetona), aldeídos (formaldeído), ésteres, éteres (éteres glicóis), terpenos (limoneno, α -pineno)
Tintas e produtos associados	Hidrocarbonetos alifáticos (n-hexano, n-heptano), hidrocarbonetos aromáticos (tolueno), hidrocarbonetos halogenados (cloreto de metileno, dicloreto de propileno), álcoois, cetonas (metiletilcetona), ésteres (acetato de etilo), éteres (éter metílico, etílico, butílico)
Colas	Hidrocarbonetos alifáticos (hexano, heptano), hidrocarbonetos aromáticos, hidrocarbonetos halogenados, álcoois, aminas, cetonas (acetona, metiletilcetona), ésteres (acetato de vinilo), éteres
Mobílias e vestuário	Hidrocarbonetos aromáticos (aromáticos de bromo, estireno), hidrocarbonetos halogenados (cloreto de vinilo), aldeídos (formaldeído), ésteres, éteres
Materiais de construção	Hidrocarbonetos alifáticos (n-decano, n-dodecano), hidrocarbonetos aromáticos (tolueno, estireno, etilbenzeno), hidrocarbonetos halogenados (cloreto de vinilo), aldeídos (formaldeído), cetonas (acetona, butanona) éteres, ésteres (acetato de etilo, uretano)
Produtos de combustão	Hidrocarbonetos alifáticos (propano, butano, isobutano), aldeídos (acetaldeído, acroleína)
Água potável	Hidrocarbonetos halogenados (1,1,1-tricloroetano, clorofórmio, tricloroetano)

1.3- COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS

O facto dos materiais de construção que contêm COVs exibirem características muito desejáveis, tais como, bom isolamento, economia, resistência ao fogo e facilidade de instalação, faz com que o seu uso esteja muito generalizado (Burton, 1997).

De um total de mais de 900 substâncias químicas sintéticas e de origem biológica identificadas no ar interior, foram já observados mais de 350 COVs em concentrações superiores a uma parte por milhar de milhão (Brooks et al., 1991).

As concentrações de COVs nos ambientes interiores, embora estejam frequentemente abaixo do limite do odor, chegam a ser 5 vezes superiores às observadas no ambiente exterior (Wallace, 1991a).

Quanto a eventuais efeitos na saúde, não foi ainda possível estabelecer valores limite de concentração de COVs no ambiente interior, nem valores limite de exposição, parâmetro que ainda teria mais interesse.

Algumas publicações preconizam a utilização do conceito de concentração total de compostos orgânicos voláteis (COVsT). Porém, este valor não tem na devida conta as propriedades toxicológicas das substâncias individuais (ECJRC, 1997), pelo que o seu interesse e fundamentação científica são muito questionáveis.

Existem duas aproximações práticas de valores guias para COVs, excepto formaldeído e COVs carcinogénicos. Ambas se baseiam no uso da soma de concentração de COVs (em $\mu\text{g}/\text{m}^3$) como um indicador dos efeitos causados na saúde por exposição a múltiplos COVs presentes em concentrações baixas.

A primeira (Mølhav, 1990) baseia-se na resposta toxicológica e classifica o valor de COVsT (obtido por cromatografia gasosa com detector de ionização por chama (GC-FID) calibrando o equipamento apenas com tolueno) nos seguintes quatro intervalos ou amplitudes:

- conforto $< 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- exposição multifactorial $200 - 3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- desconforto $3000 - 25000 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- tóxico $> 25000 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Seifert (1990) sugere definir COVsT como a soma das concentrações dos dez COVs individuais mais abundantes de cada classe química (alcanos, terpenos, etc.) separados e quantificados por uma técnica cromatográfica. Os limites propostos foram os seguintes: alcanos ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$), aromáticos ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), terpenos ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$), hidrocarbonetos halogenados ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ésteres ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$), carbonilos excepto formaldeído ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e outros ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). O valor guia proposto para COVsT é de $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e nenhum composto individual deverá exceder 50% do limite da sua classe ou 10% do valor guia de COVsT.

É importante notar, no entanto, que as concentrações médias de COVs podem dar uma indicação incorrecta dos níveis de exposição pessoal (Rodes, 1991). Isto deve-se ao facto das pessoas estarem normalmente situadas perto das fontes de emissão e poderem também ser expostas a poluentes emitidos por substâncias existentes na própria pessoa, por exemplo, perfumes. Wallace (1991a) publicou os resultados de medições de níveis de exposição pessoal a 25 COVs em 51 residentes de Los Angeles. Enquanto que o máximo do “ambiente interior” se situava entre 10 a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ o máximo “pessoal” estava geralmente entre 100 e 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Em edificios recentemente construídos ou que recentemente sofreram obras de remodelação/redecoração, as concentrações de COVs podem ser muito superiores às tipicamente encontradas no ambiente interior. Isto porque muitos COVs são emitidos pelas fontes para a atmosfera durante um período de tempo relativamente curto e devido à sua subsequente dispersão as respectivas concentrações no ar declinam rápida e exponencialmente. Assim, os trabalhadores de construção civil e decoradores poderão estar expostos frequentemente a doses particularmente elevadas (Wieslander et al., 1997). Wallace et al. (1991) observaram que a concentração de decano expirada por um indivíduo aumentava de um factor de 100 (de 2,9 a 290 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) depois do mesmo ter participado numa actividade de pintura envolvendo o uso de solventes.

Será de esperar que asmáticos e pessoas com deficiências respiratórias sejam mais susceptíveis a baixas doses de COVs. Norbäck et al. (1995) encontraram uma associação positiva entre níveis de COVs e a prevalência de dificuldades respiratórias em 88 asmáticos suecos com idades compreendidas entre os 20 e os 45 anos.

No entanto, muita da informação toxicológica tem sido estabelecida por estudos experimentais com animais, dado que os níveis normalmente encontrados no ambiente interior são inferiores aos necessários para provocar impactos na saúde mensuráveis.

A exposição a COVs em concentrações elevadas pode levar a irritação dos olhos e do tracto respiratório e causar reacções de sensibilidade nos olhos, pele e pulmões. Em concentrações extremas alguns COVs podem resultar em alterações a nível neurológico (Burton, 1997). Num estudo experimental, Otto et al. (1992) observou que indivíduos expostos a uma mistura de 22 COVs em concentrações de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ tinham sintomas de enxaquecas, sonolência, fadiga e confusão. Em concentrações muito elevadas,

designadamente $188 \mu\text{g}/\text{m}^3$, COVs como o tolueno podem causar sintomas de apatia, vertigens, tonturas e confusão. Estes podem progredir para convulsões, coma e possivelmente morte a níveis superiores a $35000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Sandmeyer, 1982). Contudo estas concentrações nunca foram observadas em ambiente não industrial.

A exposição de animais, em laboratório, a concentrações elevadas de diversos COVs que são frequentemente encontrados em ambiente interior, nomeadamente benzeno, cloreto de vinilideno, p-diclorobenzeno, clorofórmio, dibromoetileno, cloreto de metileno e tetracloro de carbono, levou ao aparecimento de cancro (Wallace, 1991b).

Dado que na maior parte dos estudos de SBS têm sido observadas concentrações de COVs a níveis consideravelmente inferiores aos requeridos para induzir sintomas, admite-se (Wolkoff et al., 1997) que os produtos das reacções envolvendo COVs resultam mais perigosos para a saúde que a exposição directa aos COVs primários. Para tal contribui a evidência crescente de que ocorrem muitas reacções químicas nas superfícies dos materiais que contêm COVs e no próprio ambiente interior (Reiss et al., 1995). Reacções entre COVs insaturados e oxidantes como ozono e óxidos de azoto, podem formar espécies quimicamente muito reactivas, radicais, e possivelmente outros irritantes fortes. Estas espécies podem sofrer rearranjos para ácidos ou aldeídos que podem, possivelmente em associação com partículas, ser parcialmente responsáveis por sintomas observados, irritação e odor (Wolkoff et al., 1997). Resultados de estudos epidemiológicos sugerem que as reacções entre ozono e COVs podem produzir substâncias irritantes que causem sintomas de SBS (Groes et al., 1996). Reacções envolvendo dióxido de azoto (Grosjean et al., 1992) e partículas (Schneider et al., 1994) podem também originar espécies importantes em termos de SBS.

1.4- O FORMALDEÍDO E O AMBIENTE INTERIOR

O formaldeído é o aldeído mais frequentemente encontrado no ambiente interior. À temperatura ambiente é um gás incolor com um odor irritante muito intenso. Trata-se de um composto muito volátil que não é detectado pelos métodos de cromatografia gasosa normalmente aplicados à análise de COVs, e por isso é considerado separadamente (Maroni et al., 1995).

O formaldeído é um dos constituintes principais de diversos tipos de resinas sintéticas. Consequentemente, as fontes interiores primárias de formaldeído são os materiais de construção, tais como os painéis de partículas e MDF (do inglês “medium density fibreboard”), as resinas, colas, carpetes, veludos, etc. (Hines et al., 1993). Utiliza-se também no fabrico de espuma de isolamento (ureia/formaldeído) que é injectada nas cavidades das paredes para reforçar o isolamento em edifícios construídos anteriormente. No entanto e devido a preocupações com a saúde, esta espuma já é pouco usada actualmente.

A concentração de fundo de formaldeído no ambiente exterior é geralmente inferior a 0,1 ppm (0,12 mg/m³) (Maroni et al., 1995). Num estudo efectuado no interior de 23 edifícios (Anderson et al., 1975), a concentração média de formaldeído foi de 0,5 ppm (0,6 mg/m³), tendo variado entre 0,07 e 1,9 ppm (0,08-2,28 mg/m³), portanto, normalmente muito superior à concentração média no ar exterior.

A exposição a formaldeído, por inalação ou contacto directo, pode causar efeitos graves na saúde, conforme se resume na tabela 1.3.

Tabela 1.3. Efeitos na saúde por exposição a formaldeído (Hines et al., 1993)

Concentração de formaldeído (ppm)	Efeitos na saúde
< 0.05	Não observados
0.05 – 1.5	Efeitos neurofisiológicos
0.05 – 1.0	Limite do odor
0.01 – 2.0	Irritação dos olhos
0.10 – 25	Irritação das vias respiratórias superiores
5 - 30	Irritação das vias respiratórias e efeitos nos pulmões
50 – 100	Edemas pulmonares, inflamações, pneumonia
> 100	Coma, morte

Exposição a concentrações inferiores a 1 ppm (1,2 mg/m³) pode resultar em corrimento nasal, tosse e irritação dos olhos (Bardana and Montanaro, 1991; Koeck et al., 1997). Vários estudos mostraram que o formaldeído gasoso é também um irritante da pele (Eberlein-König et al., 1998). Existe ainda uma evidência conclusiva que o formaldeído é um carcinógeno animal (Morgan, 1997).

Na década de 80 foram desenvolvidos numerosos projectos de investigação para estudar o potencial carcinógeno do formaldeído em trabalhadores expostos a concentrações de formaldeído relativamente elevadas, mas nenhum dos estudos foi conclusivo quanto ao risco de cancro em humanos (Wong, 1983).

Quanto ao risco para humanos resultante da exposição em atmosferas interiores (não ocupacionais) há a registar um trabalho de Vaughan et al. (1986), que encontrou uma correlação significativa entre a exposição a formaldeído e o cancro nasofaríngeo.

1.5- ODORES ASSOCIADOS A COVs

O odor de COVs é a característica que torna perceptível a sua presença. O odor pode funcionar como o primeiro sinal de alarme, influencia a boa disposição, o estado de consciência, etc. (Miyake et al., 1991). A exposição a odores desagradáveis está também associada a um aumento do stress (Shusterman et al., 1991; Knasko, 1992; Shusterman, 1992; Ziem, 1992; Bowler et al., 1994; Small et al., 1994; Rotton and White, 1996).

A sensibilidade individual a compostos odoríferos depende do sexo, idade, balanço hormonal, estado de saúde, etc. e pode inclusivamente variar de um dia para o outro num mesmo indivíduo.

Para o limiar de odor (do inglês “odour threshold”, OT) as diferenças individuais também são grandes. Por exemplo, Stevens and O’Connel (1991) obtiveram valores de OTs variáveis de um factor de 500 – 4000, num painel de 60 indivíduos, para compostos como o ácido isovalérico ou 2-feniletanol.

Devido a incertezas na medição e variações humanas, o uso de OTs como valores guia para o conforto tem grandes limitações (Punter, 1983; Jensen and Wolkoff, 1996). Podem porém ser usados como avaliação do impacto do odor.

A tabela 1.4 contém cerca de uma dezena de COVs com valores de OTs inferiores a $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valor de concentração considerado por Mølhavé (1990) como limite do conforto pessoal) que podem ter impacto na qualidade do ar interior. Porém, o número de COVs potencialmente importantes pode ser muito maior, dado que os OTs são baseados no reconhecimento do odor por 50% de um painel de indivíduos e incluem variações inter-pessoais.

Tabela 1.4. Poluentes do ambiente interior seleccionados por classes e respectivos limiares de odor (Bernhard et al., 1995; Holcomb and Seabrook, 1995; Jensen and Wolkoff, 1996)

Composto	Limiares do odor ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Tolueno	6.4×10^2
o-Xileno	3.8×10^3
Etilbenzeno	1.0×10^4
Octano	2.8×10^4
Decano	4.4×10^3
Estireno	1.6×10^2
Limoneno	2.5×10^3
Cloreto de benzilo	1.8×10^2
Álcool alílico	1.2×10^3
1-Butanol	9.0×10
2-Butoxietanol	5.1
1-Octanol	3.2×10
2-etilhexanol	5.0×10^2
Fenol	4.3×10^2
Formaldeído	1.1×10^3
Acroleína	4.1×10^2
Metilvinilcetona	5.7×10^2
Hexanal	5.8×10
Octanal	7.2
cis-2-nonenal	1.1×10^{-2}
trans-2-nonenal	1.4×10^{-1}
Benzaldeído	1.8×10^2
Acetona	1.4×10^4
Acetofenona	1.8×10^3
Isoforona	3.6×10^3
Ácido fórmico	5.5×10^4
Ácido acético	4.3×10
Ácido butanóico	1.5×10
Ácido hexanóico	6.0×10
Acetato de butilo	4.7×10

1.6- OS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO E A QUALIDADE DO AR INTERIOR

Ao longo da última década tornou-se óbvio que os materiais de construção estão entre as maiores fontes de contaminação do ar interior com COVs, pelo menos durante um período inicial após a sua instalação e durante a renovação de um edifício (Wolkoff, 1995). Assim sendo, no futuro, fará sentido reavaliar o modo como os edifícios são projectados e construídos. Enquanto problemas com as casas e escritórios já existentes são normalmente difíceis de ultrapassar, arquitectos e construtores deverão passar a ser devidamente informados sobre as implicações na QAI da escolha dos materiais de construção, de modo a que possam passar a construir estruturas menos contaminantes.

Medidas relativamente simples, como a selecção de materiais de construção cuja emissão de COVs e formaldeído seja o mais baixa possível, e ventilação adequada dos espaços interiores, poderão ter implicações muito benéficas para a qualidade dos ambientes interiores. Porém, os esforços para melhorar a QAI, por controle das fontes, implica necessariamente que os fabricantes de materiais de revestimento de interiores (e dos outros intervenientes do processo, arquitectos, construtores e donos das habitações) conheçam os níveis de emissão de COVs desses materiais e procurem produzir (e utilizar) materiais de emissão tão baixa quanto possível. Ora a obtenção desses dados requer a existência de métodos padronizados de caracterização das emissões desses materiais, em termos químicos e sensoriais. Requer também que se perceba o respectivo impacto na QAI e os potenciais riscos para a saúde.

Para caracterização das emissões, os materiais são normalmente estudados em câmaras de teste padronizadas, que simulam as condições físicas do ambiente interior (Nordtest, 1990, 1995; ECA, 1991; ASTM, 1997; CEN, 1998). Além disso têm também sido desenvolvidos modelos para prever emissões futuras a partir de dados teóricos e resultados experimentais.

As taxas de emissão de COVs por parte de um material são controladas por processos fisico-químicos, tais como a evaporação, desadsorção e difusão dentro do material e/ou através de uma camada gasosa de fronteira (Clausen et al., 1991; Tichenor, 1992; Colombo et al., 1993). Estes processos são dependentes de diversos parâmetros, nomeadamente, ponto de ebulição, pressão de vapor, polaridade,

coeficientes de difusão e entalpias de desadsorção dos componentes individuais, e de características gerais do material.

O processo de vaporização é controlado pela difusão do COV pela camada material/fase gasosa e é proporcional à diferença de concentração entre a superfície do material e a fase gasosa. O processo de secagem de materiais líquidos é normalmente controlado por evaporação o que leva a um decaimento exponencial de primeira ordem da concentração (Dunn and Tichenor, 1988). Se, no entanto, a difusão interna for mais lenta que o processo de vaporização à superfície, a difusão passa a ser o passo limitante da emissão.

Pelas razões acima mencionadas, para diferentes COVs e materiais têm sido observados factores de emissão e duração das emissões diferentes. Além disso, o tipo de processo de emissão também é frequentemente diferente. A figura 1.1 apresenta uma visão geral e qualitativa dos perfis de concentração esperados para diferentes tipos de emissão.

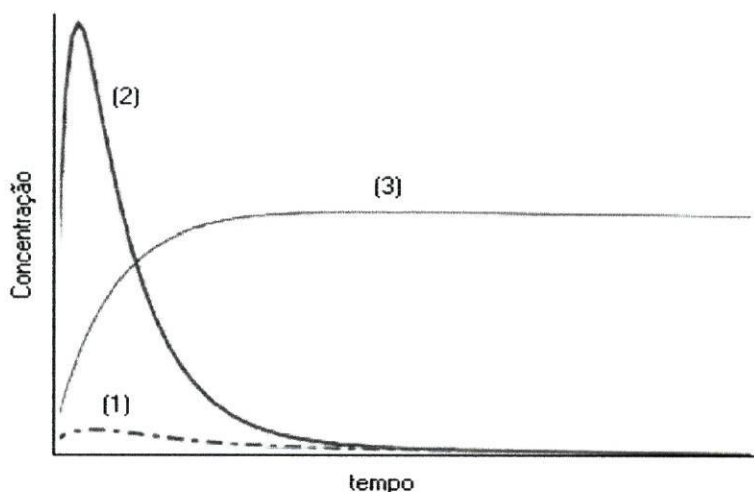


Figura 1.1. Perfis qualitativos de concentrações de COVs na atmosfera de câmaras de teste para diferentes tipos de emissões.

Materiais com emissões baixas (1 na fig. 1.1) são normalmente materiais que não contém COVs ou os contém em quantidades muito baixas. Este tipo de emissões são normalmente observadas em materiais minerais (e.g. gesso, argamassa, betão, vidro). Por vezes em materiais com quantidades particularmente baixas de solventes (e.g. algumas tintas) também se observam estas características de emissões.

Emissões inicialmente altas mas que decrescem muito rapidamente (2 na fig. 1.1) são características de materiais líquidos (e.g. tintas, colas, vernizes). A concentração máxima alcançada depende, entre outros factores, da quantidade e da volatilidade dos componentes voláteis presentes no material.

Emissões constantes durante um período de tempo longo (3 na fig. 1.1) são observadas em materiais que contêm COVs com volatilidade mais baixa e, por isso, as emissões se prolongam por muito tempo. A duração das emissões neste caso, dependerá da quantidade de COVs disponível no material. Constituem casos particulares, com características de emissões específicas, os materiais em que se formam novas substâncias devido a reacções degradativas que originam COVs secundários. Produtos de degradação bem conhecidos são alguns aldeídos e 2-etilhexanol. Os aldeídos constituem um problema especial por terem um odor desagradável e normalmente limiares de odor baixos. São produzidos por degradação oxidativa de ácidos gordos insaturados, tais como, do linóleo e de alguns vernizes. O mecanismo de degradação dos ácidos gordos com libertação de aldeídos é complexo. O 2-etilhexanol é produzido pela degradação do DEPH (di(etilhexil)ftalato), um agente suavizante usado no policloreto de vinilo, PVC (Van der Wal et al., 1997; Wiglusz et al., 1998; Norbäck et al., 2000).

Materiais com revestimento em PVC apresentam comportamentos variáveis, em termos de emissões, dependendo da qualidade do próprio PVC. Tanto o tipo como a quantidade de emissões varia grandemente com os vários materiais em presença. Como exemplo, apresenta-se na tabela 1.5 os factores de emissão de diferentes COVs provenientes de diferentes revestimentos de PVC (Zellweger et al., 1997).

Tabela 1.5. Factores de emissão ($\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{h})$) de vários COVs por PVC de diferentes qualidades (Zellweger et al., 1997).

	Alifáticos	Aromáticos	Cetonas	Álcoois	Fenol	COVsT
PVC1	200	67	-	-	250	> 500
PVC2	4	1	62	-	6	> 70
PVC3	< 2	-	< 2	5	-	< 25
PVC4	-	-	< 2	5	-	< 25

Os factores de emissão presentes na tabela 1.5 foram determinados um mês após o material novo ter sido exposto. Em geral, não existem emissões típicas provenientes do PVC pelo que, cada produto deve ser testado individualmente para se poderem tirar as respectivas conclusões em termos de emissões de COVs. A emissão de fenol a partir de PVC é frequente.

Os materiais de construção, para além de serem fontes poluentes, podem actuar como adsorventes de outros poluentes existentes na atmosfera envolvente. Essa adsorção origina um decréscimo temporário na concentração dos compostos no ar. No entanto, a posterior desadsorção provocará um aumento do tempo de permanência desses compostos no ambiente interior, embora a concentrações mais baixas. Esta característica dos materiais de construção é um factor muito importante a ter em conta nos modelos destinados a prever as concentrações em espaços reais. Tem havido uma tentativa de caracterizar os materiais quanto a essa capacidade e também de desenvolver modelos que traduzam esse comportamento. No entanto, os processos de adsorção/desadsorção são fenómenos muito complexos, pois variam com o tipo de poluente e tipo de material, a afinidade existente entre eles, a micro-estrutura do material (porosidade, rugosidade e área específica) e os parâmetros ambientais, temperatura, humidade relativa, velocidade do ar à superfície do material e taxa de ventilação do espaço.

Em situações reais, as próprias actividades de limpeza podem funcionar como fontes emissoras de COVs no ambiente interior, mas é também possível que o acto de limpeza remova partículas com COVs adsorvidos, antes de estes poderem ser reemitidos, reduzindo assim a concentração de COVs no espaço interior.

Actualmente não existe ainda um modelo completo que permita prever a influência da adsorção/desadsorção nas concentrações no ambiente interior.

Efeito do substrato usado no caso de materiais líquidos

As emissões de COVs por parte de materiais líquidos como tintas e vernizes, depende grandemente do substrato onde estes materiais são aplicados.

Alguns estudos (e.g. Chang and Guo, 1992; Jørgensen et al., 1995; Chang et al., 1997) evidenciaram grandes diferenças nos resultados obtidos com substratos

diferentes. Chang et al. (1997) estudaram uma tinta latex aplicada numa placa de aço e numa placa de gesso. Após 2 semanas, 90% dos COVs tinham sido emitidos no caso da placa de aço, enquanto apenas 20% tinha sido emitido no caso do gesso. Foram também observadas diferenças entre as quantidades relativas de diferentes compostos emitidos. As emissões de COVs no caso de tinta aplicada em placa de aço ocorreram essencialmente por transferência de massa da superfície para o meio envolvente. No caso da tinta em placa de gesso apenas uma fracção foi controlada por transferência de massa da superfície para o meio envolvente, sendo a maior parte dos COVs emitida após a superfície da placa de gesso estar seca, predominando um processo lento de difusão interna. Por aplicação de modelos, os autores previram que a emissão de COVs pela tinta aplicada em placa de gesso só cessaria cerca de 3 anos e meio após a sua aplicação. A elevada superfície específica do substrato poroso, que causa uma adsorção reversível da tinta, poderá ser responsável pela lenta emissão de COVs (Jørgensen et al., 1995).

1.7- PROGRAMA/BASE DE DADOS SOPHIE

SOPHIE é o acrónimo de “Sources of Pollution for a Healthy and Comfortable Indoor Environment”. Consiste numa base de dados contendo dados de emissão de fontes poluentes dos espaços interiores, incluindo diferentes materiais de construção e mobiliário, componentes HVAC (do inglês “heating ventilating and air conditioning systems”) e sistemas HVAC completos.

SOPHIE não é apenas uma base de dados, mas uma ferramenta de trabalho dinâmica, onde informação de diferentes fontes, em termos químicos, sensoriais e toxicológicos pode ser obtida e/ou inserida. Permite a comparação e o escalonamento das diferentes fontes poluentes, assim como a previsão das concentrações de vários compostos num espaço real na presença dessas mesmas fontes para uma determinada taxa de ventilação.

A base de dados contém os perfis de emissão de substâncias químicas (compostos orgânicos voláteis) de umas centenas de materiais, testados em câmara, de um pouco por toda a Europa, desde tintas, revestimentos do tipo de gesso ou alcatifa, cortiça, madeira, etc.

O SOPHIE foi o resultado da actividade comum dos participantes de três projectos europeus, financiados em parte pela Comunidade Europeia, designadamente: (1) “The European Data Base for Indoor Air Pollution Sources in Buildings (EDBIAPS: 1994-1996); (2) “Design, Operation and Maintenance Criteria for Air Handling Systems and Components for Better Indoor Air Quality and Lower Energy Consumption (AIRLESS: 1998-2000); (3) Materials for Healthy Indoor Spaces and More Energy Efficient Buildings (MATHIS: 1998-2001).

O SOPHIE permite, entre outras coisas, prever a qualidade do ar em espaços interiores simples, com ou sem sistemas HVAC, e comparar fontes emissoras do ponto de vista químico, sensorial e toxicológico. Inclui uma avaliação dos níveis de poluição do ar interior baseada num modelo de previsão da qualidade do ar interior em espaços reais, tendo em conta fenómenos de adsorção/desadsorção. Como já foi referido anteriormente, não existe nenhum modelo que simule com rigor todos os fenómenos, até porque falta conhecer muitos parâmetros relativos a diferentes compostos, no entanto o programa SOPHIE parece ser uma aproximação razoável. Neste trabalho aplicou-se este programa aos resultados experimentais.

1.8- OBJECTIVOS E ESTRATÉGIA

Como já foi referido, as emissões primárias de COVs por materiais de construção influenciam a QAI com particular intensidade durante um período de decaimento inicial, após a aplicação. Algumas emissões, mesmo a mais longo prazo, são influenciadas pela humidade. Por exemplo, pode haver aumento de emissões devido a reacções de hidrólise, na sequência de operações de limpeza dos materiais (Wolkoff et al., 1995) ou reacções de oxidação com ozono proveniente da atmosfera exterior. Isto leva a uma nova preocupação ambiental com a qualidade dos materiais a instalar nos edifícios e com os procedimentos de limpeza e manutenção dos mesmos.

Foi objectivo deste trabalho estudar a evolução da QAI numa sala do Departamento de Química da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, em termos de COVs, durante um ano, no decurso do qual foram instalados, sequencialmente, quatro revestimentos do pavimento diferentes. A influência da aplicação de produtos de tratamento e limpeza dos pavimentos foi também estudada.

Para fins comparativos, monitorizaram-se também as emissões dos mesmos pavimentos colocados numa câmara de teste com condições ambientais padronizadas, com o objectivo de avaliar se os valores obtidos em câmara de teste eram realistas. Os dados existentes na literatura sobre este assunto são ainda muito escassos e inconclusivos. Ora, dado que o estudo das emissões de materiais em câmara de teste é muito mais fácil de realizar do que em sala real e além disso é padronizado (fornecerá resultados comparáveis com os obtidos noutros laboratórios em diferentes países), considerou-se do maior interesse conhecer em que medida a câmara de teste fornece informações fiáveis sobre a QAI em real.

Fez-se ainda uma avaliação comparativa dos níveis de COVs observados na sala com os obtidos por simulação com o programa SOPHIE (“Sources of Pollution for a Healthy and Comfortable Indoor Environment”) a partir de dados obtidos em câmara de teste. O objectivo deste estudo foi testar as potencialidades da SOPHIE para prever a QAI em ambientes reais a partir de dados obtidos em câmara de teste.

2. *EXPERIMENTAL*

2.1 Descrição da sala e dos materiais de revestimento estudados

2.1.1 Características da sala

2.1.2 Calendarização do estudo

2.1.3 Descrição dos materiais aplicados na sala e respectivo modo de aplicação

2.2 Procedimentos de amostragem

2.2.1 Procedimentos preliminares

2.2.2 Condições em que foi realizada a monitorização da QAI

2.2.3 Amostragem

2.3 Procedimento Analítico

2.3.1 Reagentes

2.3.2 Calibração

2.3.3 Metodologia de análise

2.3.4 Cálculo dos factores de emissão

2.4 Testes em câmara

2.4.1 Câmara de teste

2.4.2 Preparação dos materiais

Neste capítulo descreve-se o espaço interior que foi objecto de estudo, as diferentes fases do trabalho, os materiais de revestimento de pavimentos que foram sucessivamente instalados na sala, produtos de manutenção dos mesmos e todo o procedimento analítico, desde as condições de amostragem até à identificação e quantificação dos COVs observados.

2.1- DESCRIÇÃO DA SALA E DOS MATERIAIS DE REVESTIMENTO ESTUDADOS

2.1.1- Características da sala

A sala onde o estudo foi realizado é parte integrante do Laboratório de Química Inorgânica Pura e de Aplicação Interdisciplinar (LAQUIPAI) e localiza-se no 2º andar do edifício do Departamento de Química da FCUP. É um espaço de forma paralelepípedica com uma área de 26 m² e um pé direito de 3,1 m o que perfaz um volume de aproximadamente 80 m³. O acesso à sala é efectuado a partir de um corredor interior e através de uma de duas portas (2 x 0,8 m cada). Uma das fachadas exteriores da sala de teste está orientada a NW, outra está orientada a SW e tem duas janelas de dimensões consideráveis (1,8 x 0,8 m). As restantes fachadas confinam com espaços interiores (Figura 2.1).

2.1.2- Calendarização do estudo

O estudo experimental, desde a aplicação dos revestimentos do pavimento, produtos de limpeza e acabamentos até ao fim do período de monitorização da qualidade do ar interior, decorreu segundo a calendarização apresentada na tabela 2.1.

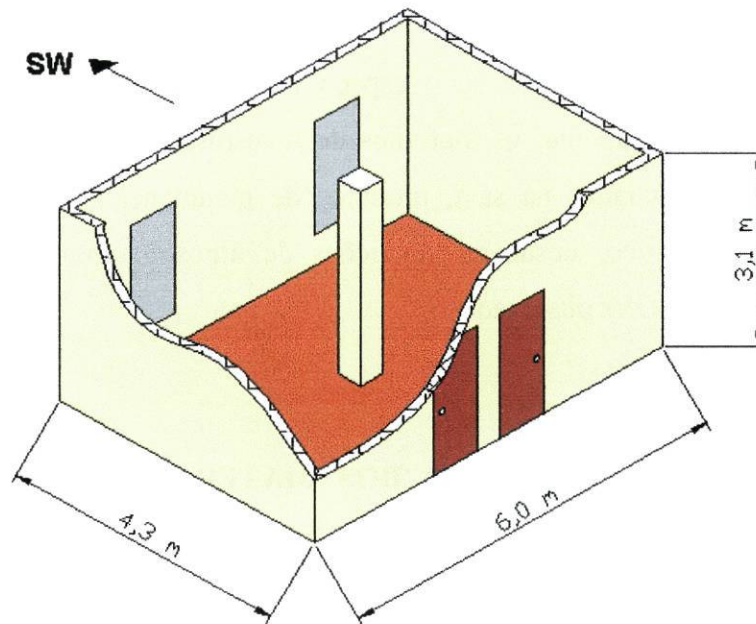


Figura 2.1. Esquema da sala de teste

2.1.3- Descrição dos materiais aplicados na sala e do respectivo modo de aplicação

Todos os produtos estudados foram produzidos pela empresa Amorim Revestimentos S.A.

O primeiro material tinha a referência PT03 Cherry, da marca Wicanders, e pertence à gama de produtos Wood-o-floor. O produto tem, do fabricante, a seguinte descrição: material de revestimento de piso flutuante com encaixe macho-fêmea. Constituído por uma camada de desgaste em PVC transparente, uma camada intermédia formada por uma folha de decorativo de madeira, aglomerado de cortiça e MDF e uma camada inferior de decorativo de madeira.

Sobre este material foram depois aplicados dois produtos de manutenção, um protector com a designação comercial “Floordressing” e um detergente de limpeza com a designação comercial de “Soft Cleaner”.

Tabela 2.1. Escalonamento no tempo da presença na sala dos diversos materiais e da monitorização da qualidade do ar interior.

Fases do Trabalho	Meses do ano de 2001												
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	
Preparação da sala													
Colocação do plástico													
Colocação do Underlay													
PT03 Cherry													
Aplicação do Floordressing													
Aplicação do Soft Cleaner													
CS10 Natural													
Aplicação do verniz W1000													
Aplicação do V-Care													
NJ01 Rome envernizado com W2000													
PM03 Cherry													
Aplicação do verniz W1000													

O “Floordressing” tem, do fabricante, a seguinte descrição: agente de tratamento que produz uma camada protectora nos pavimentos Wicanders revestidos com PVC, protegendo-os contra a sujidade e o desgaste prematuro. Protege e devolve o brilho original ao pavimento, devendo ser aplicado pelo menos duas vezes por ano.

O “Soft Cleaner” tem, do fabricante, a seguinte descrição: detergente suave destinado à limpeza e manutenção de pavimentos Wicanders revestidos a vinílico ou envernizados. Dissolve gorduras, facilita a limpeza de sujidades e confere um aspecto acetinado aos pavimentos Wicanders. Pode ser utilizado diariamente.

O segundo material tinha a referência CS10 Natural, da marca Wicanders, e pertence à gama de produtos Cork-o-floor. O produto tem, do fabricante, a seguinte descrição: material de revestimento de piso flutuante com encaixe macho-fêmea. Constituído por uma camada de desgaste em PVC transparente, uma camada intermédia formada por aglomerado de cortiça e MDF, e uma camada inferior em PVC opaco.

Sobre este material foi depois aplicado verniz Wicanders W1000 e posteriormente um agente de tratamento com a designação “V-Care”.

O verniz “W1000” tem, do fabricante, a seguinte descrição: verniz aquoso com dureza final extremamente elevada, enorme elasticidade e excelente resistência química. Adequado para envernizamento de pavimentos revestidos a PVC.

O “V-Care” tem, do fabricante, a seguinte descrição: agente de tratamento autopolidor, contendo polímeros e aditivos de limpeza. Produz um filme protector, anti-derrapante, contra a sujidade e desgaste prematuro que pode ser polido.

O terceiro material tinha a referência NJ01 Rome, da marca Ipecork, e pertence à gama de produtos Corkstyle. O produto tem, do fabricante, a seguinte descrição: material de revestimento de piso flutuante com encaixe macho-fêmea. Constituído por uma camada superior em aglomerado de cortiça, uma camada intermédia em MDF e uma camada inferior em aglomerado de cortiça.

Sobre este material foi aplicado verniz Wicanders W2000 imediatamente após a sua colocação.

O verniz “W2000” tem, do fabricante, a seguinte descrição: verniz aquoso com dureza final extremamente elevada, enorme elasticidade e excelente resistência química. Adequado para envernizamento de pavimentos sem revestimento a PVC.

O quarto material tinha a referência PM03 Cherry, da marca Wicanders, e pertence à gama de produtos Wood-o-cork. O produto tem, do fabricante, a seguinte descrição: material de revestimento de piso. Constituído por uma camada de desgaste em PVC transparente, uma camada intermédia formada por uma folha decorativa de madeira e aglomerado de cortiça e uma camada inferior em PVC opaco.

Sobre este material foi depois aplicado verniz Wicanders W1000, já descrito anteriormente.

As paredes da sala estavam revestidas a cimento e pintadas com uma tinta plástica (composição exacta desconhecida). O pavimento era de cimento, que inicialmente estava revestido a linóleo.

Existiam na sala, móveis estantes, com uma área de ca. 26 m², em aglomerado de madeira revestido a madeira de carvalho envernizada (tipo de verniz desconhecido). Os móveis foram retirados da sala apenas durante o estudo do último material de revestimento (PM03 Cherry).

2.2- PROCEDIMENTOS DE AMOSTRAGEM

2.2.1- Procedimentos preliminares

Antes propriamente de se iniciar o estudo da QAI, o pavimento existente na sala foi retirado, ficando o cimento à vista, e foi forçada a renovação do ar da sala, deixando-se as janelas abertas durante vários dias.

Depois, fecharam-se novamente as janelas e ao fim de um período, que se julgou ser suficiente para a estabilização das condições de ventilação na sala, recolheram-se várias amostras de ar, em locais distintos e ao longo de vários dias. Estas medições serviram como “branco”, nos estudos subsequentes.

Ainda antes da colocação do primeiro material de revestimento do pavimento, e por se ter constatado que o nível de humidade do pavimento era elevado, este foi revestido com uma película formada por folhas de filme plástico e foi colocado um “underlay”, ou seja, aglomerado de cortiça de 2 mm de espessura para melhor isolamento acústico e térmico. Durante todo este processo foram feitas amostragens para acompanhar a evolução da composição do ar.

2.2.2- Condições em que foi realizada a monitorização da QAI

Na presença do revestimento PT03 Cherry

Os valores da temperatura e da humidade relativa foram monitorizados continuamente e situaram-se no intervalo de 18 a 25°C, e de 50 a 75%, respectivamente.

A taxa de renovação de ar na sala foi de 0,21 renovações por hora (rph). Esta taxa de renovação do espaço corresponde a um caudal de ar de 16,8 m³/h, não podendo ser considerado ar novo, dado que não existe a certeza que ele seja oriundo do exterior. Este valor, embora seja usual em edifícios modernos não dotados de ventilação mecânica, e com estanqueidade das caixilharias elevada, é baixo relativamente ao desejável. Idealmente, para um espaço com as dimensões da sala em estudo, o caudal de ar deveria ser de 30 m³/(h.pessoa) de ar novo, o que, admitindo a permanência de 2 pessoas na sala, seria de 60 m³/h.

Na figura 2.2, ilustra-se os locais onde foram feitas as recolhas de ar. Na grande maioria do tempo, as portas e janelas da sala mantiveram-se fechadas.

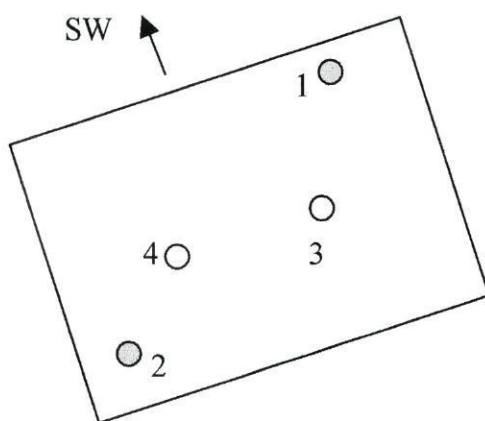


Figura 2.2. Locais de amostragem na presença de PT03 Cherry.

No ponto 1 e 2 o ar foi recolhido à altura de 1,10 m do chão (aproximadamente à altura das vias respiratórias das pessoas quando sentadas) e nos pontos 3 e 4, a cerca de 25 cm do mesmo. O ponto 1 foi designado como *janela 1,10 m*, o ponto dois como *porta 1,10 m*, o ponto 3 como *chão direita* e finalmente o ponto 4 como *chão esquerda*.

Na presença de todos os outros materiais de revestimento

Previamente, foi instalado, numa das janelas da sala, um ventilador, acoplado a um variador de frequência, elemento que passou a permitir aumentar e controlar o caudal de ar novo insuflado na sala e por conseguinte a sua taxa de renovação de ar. O sistema de ventilação foi otimizado de modo a obter uma taxa de renovação horária próxima de 1. Durante o estudo a taxa de renovação de ar efectiva variou entre 1,2 e 1,3 rph.

Os valores da temperatura variaram no intervalo de 22 a 26°C, e os de humidade relativa no intervalo de 40 a 80%.

Devido à posição do ventilador, os quatro pontos de amostragem foram alterados para os apresentados na figura 2.3.

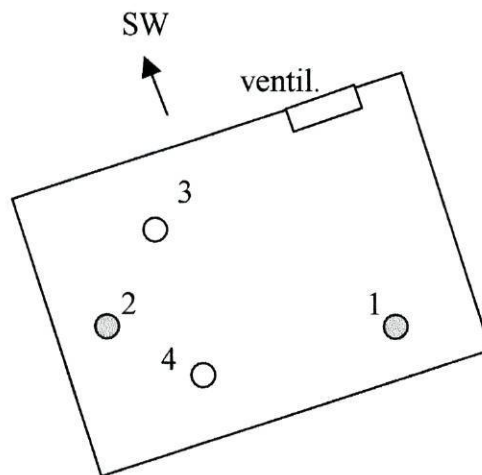


Figura 2.3. Locais de amostragem usados na presença de CS10 Natural, NJ01 Rome e PM03 Cherry.

No ponto 1 e 2 o ar foi recolhido à altura de 1,10 m do chão e nos pontos 3 e 4, a cerca de 25 cm do mesmo. O ponto 1 foi designado como *mesa direita*, o ponto dois como *mesa esquerda*, o ponto 3 como *chão janela* e finalmente o ponto 4 como *chão porta*.

2.2.3- Amostragem

Foram monitorizadas, continuamente, as condições de temperatura e humidade relativa na sala, ao longo de todo o estudo. Para tal usou-se um medidor de marca Thies Guttingen, com capacidade de registo para 24 h.

Periodicamente, foi também efectuada a medição da taxa de renovação de ar e das condições de convecção natural (velocidade do ar). Para este trabalho recorreu-se a uma equipa especializada que foi contratada para o efeito. A taxa de ventilação do espaço foi medida nas condições de utilização normal, ou seja, janelas e portas fechadas. Esta medição foi efectuada com o recurso à técnica de gás traçador utilizando um analisador de gases marca Bruel and Kajer modelo 1302.

Para avaliar as condições de convecção de ar natural foi medida a velocidade do ar em diversos pontos da sala e a diferentes distâncias do chão e das paredes. As medições foram efectuadas com recurso a uma sonda de fio quente, marca Testo modelo 0628.0009 C, cujo limite mínimo de detecção é de 0,03 m/s.

A recolha de ar para avaliação das concentrações de COVs foi efectuada por meio de bombas de amostragem de baixo caudal de ar (Casella, modelo Vortex Standard e Gillian). Acoplados às bombas existiam rotâmetros, Cole-Parmer, com escala apropriada ao fluxo de 0 a 250 ml/min. O fluxo de ar situou-se no intervalo de 50 a 120 ml/min e o volume máximo recolhido rondou os 5 l.

Aquando da aplicação de um novo material no pavimento, as recolhas de ar começavam a ser efectuadas após 24 h. A duração do período de monitorização variou com o material/produto de manutenção estudado (ver tabela 2.1).

As recolhas de ar foram sempre realizadas entre as 9 h e as 18 h.

Caracterizou-se também a qualidade do ar exterior. Para tal o amostrador foi colocado na parte exterior de uma das janelas da sala.

Os COVs foram adsorvidos em tubos de aço, marca DANI, com enchimento de Tenax TA 60/80 mesh (Supelco).

O empacotamento dos tubos foi efectuado no laboratório, sendo o adsorvente introduzido por aspiração. Cada tubo tinha capacidade para cerca de 160 ± 2 mg de adsorvente. Nas duas extremidades colocou-se lã de vidro silanizada. Após empacotamento, os tubos foram descontaminados a 300°C durante 16 h, com um fluxo

de azoto constante de cerca de 15-20 ml/min. Para esta operação usou-se um forno, construído no Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Porto, que permite a limpeza de 5 tubos em simultâneo. Após esta operação e antes de serem usados, os tubos foram ainda sujeitos a um curto período de limpeza (20 minutos) a 300°C, mas com fluxo de hélio de 15 ml/min. A eficiência da limpeza foi controlada periodicamente por análise de um branco. Após vinte utilizações, o Tenax TA era removido do tubo, procedendo-se a outro empacotamento com adsorvente novo.

Para avaliar a concentração de formaldeído o ar era forçado a atravessar frascos borbulhadores de 35 ml de capacidade, com água desionizada, por meio de bombas de amostragem Casella para caudais relativamente elevados. A medição do caudal era efectuada antes e depois da recolha, usando-se um rotâmetro Gilmont. O fluxo de ar situou-se no intervalo de 1700 a 2000 ml/min e o volume máximo recolhido rondou os 250 l.

2.3- PROCEDIMENTO ANALÍTICO

2.3.1- Reagentes

Os reagentes utilizados neste trabalho constam da tabela 2.2.

Tabela 2.2. Reagentes utilizados, qualidade e marca.

Composto	Qualidade/Marca
Benzofenona	99%, Aldrich
Butanol	p.a., Merck
2-Butoxietanol	99%, Aldrich
2-Butoxiacetato	99%, Aldrich
2-(2-Butoxi)etanol	99%, Aldrich
Decano	aprox. 99%, Aldrich
Etilbenzeno	99%, BDH
2-Etil-1-Hexanol	puro, ≥ 99% (GC), Fluka
4-Etilmorfolina	99%, Aldrich
2-Etiltolueno	99%, Aldrich
2-(2-Etoxi)etanol	puro, >98% (GC), Fluka
Fenol	99.5%, Fluka
Formaldeído	37%, p.a., Merck
Furfural	99% (GC), Aldrich
Hexadecano	99%, Merck
Hexanal	98% (GC), Aldrich
Hexano	p.a. 99%, Merck
1-Metil-2-Pirrolidinona	99.5%, Aldrich
1-Metoxi-2-propanol	98%, Aldrich
m/p-Xileno	98%, Merck
Naftaleno	99%, Fluka
Pentadecano	aprox. 99%, Sigma
Tetradecano	aprox. 99%, Sigma
Tetrahidrofurano	p.a., Merck
1,2,4-Trimetilbenzeno	98%, Aldrich
Tolueno	p.a. 99.5%, Merck

2.3.2- Calibração

Na calibração do equipamento analítico usou-se padrões mistos contendo compostos que abrangiam (em termos qualitativos e quantitativos) a janela analítica do método. Após identificação dos COVs que se pretendia quantificar, passou-se a usar nas calibrações misturas contendo os compostos em estudo. As soluções foram preparadas a partir de misturas preparadas por pesagem rigorosa (balança Mettler Toledo, modelo AG245, sensível aos 0,01mg) dos compostos, em balão volumétrico, e com diluição em metanol (Lichrosolv para cromatografia, Merck). A concentração mínima das soluções de partida foi de 1000 µg/ml, obtendo-se concentrações inferiores por diluição em metanol. Para o traçado de uma curva de calibração partiu-se de duas soluções precursoras, independentes, de concentrações diferentes para minimizar a propagação de erros em diluições sucessivas. 1 µl de cada mistura de calibração era injectado num tubo de adsorção, idêntico aos usados na amostragem de ar, usando uma seringa Hamilton de 10 µl. Seguidamente os tubos eram purgados com ar, durante 2 ou 3 minutos, através de uma trompa de vácuo para eliminar o solvente.

2.3.3- Metodologia de análise

Na determinação de COVs usou-se um sistema de desadsorção térmica/pré-concentração criogénica, da marca DANI, modelo SDT 33.50, acoplado a montante de um cromatógrafo gasoso de marca Hewlett Packard, modelo HP 5890, com um detector selectivo de massa (MSD 5972) e outro de ionização de chama (FID).

O primeiro passo consistiu na desadsorção térmica da amostra, a partir do tubo em que estava adsorvida. Neste processo, durante o período de aquecimento (10 min), o tubo com a amostra adsorvida era atravessado por um fluxo de hélio que arrastava a amostra para um pré-concentrador que se encontrava à temperatura de -35°C, por acção de CO₂ sólido. Terminada a pré-concentração, o pré-concentrador era rapidamente aquecido (rampa de 1000°C/min) até à temperatura de 300°C, e a amostra arrastada por um fluxo de hélio, através de uma linha de transferência aquecida a 250°C, para o injector do cromatógrafo.

Após cada injeção, todo o sistema era descontaminado por um fluxo de hélio em contracorrente (“backflush”) a uma temperatura 20°C superior à temperatura de injeção, de modo a minimizar riscos de contaminações entre amostras. O sistema de desadsorção usado era automático, com capacidade para colocar 50 amostras em linha. Os tubos eram colocados no carrossel de modo a que a desadsorção fosse efectuada no sentido contrário à entrada do ar durante a amostragem. Os valores dos parâmetros ajustáveis no sistema constam da tabela 2.3.

Tabela 2.3. Parâmetros usados no sistema analítico.

	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Fluxo (ml/min)
SDT			
Desadsorção	260	10	10
Pré-concentração	-35	10	10
Injeção	300	5	10
“Backflush”	320	25	23
GC			
Injector	250		
“Split”			6.5
Purga			1.5
Forno			
Valor inicial	40	5	
Rampa	6°C/min	40	
Valor final	280	5	
MSD	280		
FID	300		
Ar			267
Hidrogénio			23
Hélio			27

O cromatógrafo gasoso utilizado estava equipado com um injetor do tipo “split/splitless”, regulado para uma razão de split de 1:5 (de 10 ml de fluxo total da amostra injectada, 2 ml são introduzidos na coluna e os restantes 8 ml dividem-se entre o fluxo de “split” (6,5 ml) e o fluxo de purga do injetor (1,5 ml). Do injetor saía uma coluna capilar desactivada de 15 cm de comprimento e de 0,52 mm de diâmetro que terminava num T de ligação a duas colunas capilares. Uma das colunas estava ligada ao

MSD e a outra ao FID. A amostra gasosa dividia-se em duas porções iguais pelas duas colunas.

As colunas utilizadas no cromatógrafo eram capilares e apolares, com fase sólida de 100% polissiloxano (adequado para a análise de COVs), referência PONA, diâmetro interno 0,2 mm e espessura do filme 0,50 μm . A coluna ligada ao MSD tinha 50 m de comprimento e a ligada ao FID tinha um comprimento seleccionado (42 m) de modo a que os tempos de retenção fossem aproximadamente iguais nos dois detectores. Esta correcção impunha-se dado que o vácuo existente no MSD origina diferenças de pressão, que se reflectem na velocidade do gás de arraste nas duas colunas.

A informação obtida com o detector selectivo de massa foi utilizada para a identificação dos COVs. Essa identificação baseia-se na comparação com espectros de massa da biblioteca do MSD (ca. 75000 espectros). A quantificação dos compostos observados foi efectuada pelo FID por meio de uma calibração específica.

As determinações de formaldeído foram efectuadas pelo método da pararrosanilina modificado (Miksch et al., 1981), usando um espectrofotómetro UV/Vis, de marca UNICAM, modelo 5675, a 570 nm, usando uma célula de 1 cm de percurso óptico. À solução de formaldeído em água (amostras ou padrões) adicionava-se pararrosanilina (2 ml) e sulfito de sódio (2 ml) e completava-se o volume a 25 ml. Formava-se uma espécie corada, cuja intensidade é proporcional à concentração de formaldeído, na zona de resposta linear. A reacção é bastante lenta, pelo que o tempo dado para desenvolvimento da cor deve ser constante para padrões e amostras (1 h).

Por leitura da absorvância, e com base numa curva de calibração, infere-se a concentração de formaldeído nas amostras.

2.3.4- Cálculo dos factores de emissão

Neste trabalho, depois de calculadas as concentrações dos COVs no ar, foram também calculados os respectivos factores de emissão, para se poderem comparar os resultados obtidos em sala, com os obtidos em câmara de teste contendo os materiais de revestimento que foram sucessivamente colocados no pavimento da sala.

O factor de emissão, FE, é o resultado do produto do valor da concentração de cada composto, C, pelo factor de carga específico, q. O factor de carga específico

obtém-se dividindo o número de renovações horárias do ar, n , pelo factor de carga, L (área de material/volume da sala).

$$FE = C \times q \quad \text{sendo} \quad q = \frac{n}{L} \quad \text{e} \quad L = \frac{A}{V}$$

2.4- TESTES EM CÂMARA

2.4.1- Câmara de teste

A câmara de concepção portuguesa, construída e instalada no Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, era em aço inoxidável e tinha um volume de 255 dm³. As condições padrão da câmara, estabelecidas segundo o protocolo definido no âmbito de um projecto em que se participou anteriormente, “European Data Base on Indoor Air Pollution Sources in Buildings” (Clausen et al., 1998), foram as seguintes: $T = (23 \pm 1) \text{ }^\circ\text{C}$, $HR = (45 \pm 5) \%$, velocidade do ar à superfície da amostra (medida a 1 cm de distância) $\cong 0,15 \text{ m/s}$ e taxa de renovação = $1,0 \text{ h}^{-1}$. A taxa de ventilação específica para materiais de revestimento de pavimento foi de $1,22 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$.

Antes de cada experiência, o interior da câmara de teste era limpo muito escrupulosamente, incluindo os orifícios e vedante, para permitir níveis de COVs nos brancos tão baixos quanto possível. A lavagem era primariamente efectuada com um pano embebido em detergente alcalino, diluído em água. Seguidamente era limpa com etanol p.a. e por fim com água. Após a limpeza a câmara era deixada em funcionamento, nas condições de teste mas vazias, durante um período nunca inferior a 20 horas.

2.4.2- Preparação dos materiais

Antes de serem colocados na câmara os materiais eram forrados com folha de alumínio e as arestas cobertas com fita de alumínio autocolante, para só ficar exposta a área superior, tal como acontece quando são aplicados numa sala.

3. *RESULTADOS*

- 3.1 Monitorização da QAI na sala antes da colocação do pavimento
- 3.2 Sala com pavimento PT03 Cherry
- 3.3 Sala com pavimento CS10 Natural
- 3.4 Sala com pavimento NJ01 Rome, envernizado com “W2000”
- 3.5 Sala com pavimento PM03 Cherry
- 3.6 Avaliação comparativa da influência dos diversos materiais de revestimento
- 3.7 Comparação da QAI na sala com a de outras atmosferas interiores
- 3.8 Comparação da QAI observada na sala e avaliada numa câmara de teste
- 3.9 Comparação de resultados reais com os simulados com o programa SOPHIE

3.1- MONITORIZAÇÃO DA QAI NA SALA ANTES DA COLOCAÇÃO DO REVESTIMENTO DO PAVIMENTO

3.1.1- Comparação dos níveis de COVs na atmosfera exterior e na sala

No início do estudo, após o pavimento existente na sala (linóleo) ter sido retirado e a cola que ficou aderente ao cimento ter sido raspada, recolheram-se várias amostras de ar, em locais distintos e ao longo de vários dias, num total de oito medições. Na tabela 3.1 apresenta-se os valores médios de concentrações de vários COVs observados na atmosfera da sala.

Em paralelo mediu-se a composição do ar exterior no espaço envolvente da sala. As recolhas foram feitas do lado de fora de uma das janelas da sala. Os valores obtidos constam também da tabela 3.1, assim como as razões das concentrações observadas na sala e as observadas no exterior (S/E) para os compostos quantificados nas duas atmosferas.

Para o-xileno e α -pineno as concentrações foram mais elevadas na sala (2,9 vezes e 4,8 vezes, respectivamente) indicando que estes compostos eram emitidos maioritariamente por fontes internas. Para tolueno, etilbenzeno, m/p-xileno, nonano e trimetilbenzeno as concentrações foram semelhantes nas duas atmosferas, indicando que as fontes exteriores seriam as principais responsáveis pela presença destes compostos na sala. Em termos de COVsT identificado o valor de concentração foi maior na sala (3,4 vezes superior). Níveis de COVs mais elevados em atmosfera interior do que na exterior têm sido observados noutros estudos (e.g. Baek et al., 1997; Kim et al., 2001).

De qualquer modo, a concentração de COVsT antes da colocação dos pavimentos era bastante baixa, $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$, quando comparada com as que ocorrem frequentemente em prédios de habitação, escritórios e bibliotecas de diversos países, conforme se discutirá adiante em 3.7.

Tabela 3.1. Concentrações ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dos principais COVs encontrados na sala antes da colocação de pavimento e na atmosfera exterior.

COV	Sala (S)	Exterior (E)	Razão S/E
Tetrahydrofurano	n.d.	n.d.	
Benzeno	$4,6 \pm 0,5$	n.d.	
Tolueno	$4,1 \pm 0,6$	$5,1 \pm 0,9$	0,80
Hexanal	$2,9 \pm 0,4$	n.d.	
Acetato de butilo	$1,0 \pm 0,2$	n.d.	
Etilbenzeno	$0,2 \pm 0,2$	$0,3 \pm 0,4$	0,67
m/p-Xileno	$1,6 \pm 0,1$	$2,1 \pm 0,2$	0,76
o-Xileno	2 ± 1	$0,68 \pm 0,02$	2,9
Nonano	$0,3 \pm 0,3$	$0,46 \pm 0,01$	0,65
α -Pino	$2,2 \pm 0,6$	$0,46 \pm 0,04$	4,8
Isooctanol	$1,4 \pm 0,3$	n.d.	
2-(2-Etoxi)etanol	n.d.	n.d.	
Fenol	$0,2 \pm 0,2$	n.d.	
Trimetilbenzeno	$0,9 \pm 0,8$	$0,8 \pm 0,4$	1,1
Decano	n.d.	n.d.	
2-Etil-1-hexanol	$5,1 \pm 0,3$	n.d.	
Limoneno	$1,7 \pm 0,4$	n.d.	
Decanal	$3,5 \pm 0,6$	n.d.	
Benzoato de 1-metoxietanol	$0,6 \pm 0,4$	n.d.	
Tridecano	$0,90 \pm 0,07$	n.d.	
TXIB	$0,6 \pm 0,2$	n.d.	
COVsT identificado	34 ± 4	$9,9 \pm 0,5$	3,4

n.d. - não detectado.

Os níveis de COVs então observados na sala antes da colocação dos novos pavimentos foram usados como “branco” nos estudos subsequentes (após colocação de pavimentos).

3.1.2- Níveis de formaldeído

Fizeram-se também recolhas de ar na sala e no corredor anexo a esta, durante vários dias, para determinação dos níveis de formaldeído. Os resultados encontram-se na tabela 3.2.

A concentração de formaldeído na sala foi aproximadamente dupla da encontrada no corredor adjacente, o que mostra que as estantes da sala continuam a ser uma fonte de formaldeído, cerca de 5 anos após a sua instalação.

Tabela 3.2. Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de formaldeído encontrado na sala e no corredor antes da colocação de pavimento.

Local	Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Sala	44 ± 3
Corredor	$18,9 \pm 0,9$

A concentração de formaldeído na sala, $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$, foi superior, por exemplo, à observada em duas bibliotecas do Norte de Itália (14 e $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Righi et al., 2002), em habitações de diversos países ($< 22 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Lee et al., 2002) e em atmosferas exteriores.

3.1.3- Evolução dos brancos durante a preparação da sala

Depois da aplicação do plástico no pavimento, foi observado na atmosfera da sala o composto 2,2,4,6,6-pentametilheptano, que deixou de ser detectado quando se aplicou o “underlay”.

Depois da aplicação do “underlay”, apareceram três novos compostos na atmosfera da sala: dimetilsuccinato, dimetilglutarato e dimetiladipato. Após a colocação do pavimento deixaram de ser detectados.

3.1.4- Níveis de temperatura e humidade relativa

Tanto nos estudos iniciais como ao longo de todo o período de trabalho posterior a temperatura não variou muito (máximo intervalo de variação durante o ano: $18 - 26$ °C), sendo o respectivo valor médio, 22 °C, praticamente coincidente com o utilizado nas determinações em câmara de teste. Assim sendo, neste trabalho não se considerou pertinente interpretar diferenças de resultados com base nas pequenas diferenças de temperatura que ocorreram durante os estudos.

Quanto à humidade relativa, as variações foram apreciáveis: os valores situaram-se no intervalo $40 - 80\%$. Porém, estudos anteriores (Silva, 2000) e dados da literatura levaram a concluir que a influência da humidade nas emissões, quando existe é muito pouco extensa, pelo que também não se utilizou este parâmetro na interpretação de resultados deste trabalho.

3.2- SALA COM PAVIMENTO PT03 CHERRY

3.2.1- Evolução da composição do ar ao longo do tempo

Na tabela 3.3 apresenta-se os valores de concentração dos compostos encontrados na atmosfera da sala em quantidades mais significativas (e após subtração dos brancos), no período de 28 dias que se seguiu à aplicação do pavimento PT03 Cherry.

Tabela 3.3. Concentrações ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dos principais COVs* e COVsT encontrados em quatro locais** da sala após a colocação de um piso de PT03 Cherry.

Tempo de exposição (dia)		1	2	3	4	7	10	15	18	28
Tetrahidrofurano										
Local de amostragem	1	438	586	618	566	714	528	314	351	196
	2	540	621	755	624	518	522	435	333	230
	3	534			500	370		425	293	239
	4	526			469	313		362	293	187
Média		509	604	687	540	479	525	384	317	213
Tolueno										
Local de amostragem	1	17,1	16,4	20,7	14,3	42,0	33,9	22,8	35,2	20,1
	2	18,1	14,8	24,2	16,3	31,5	32,0	25,9	34,3	21,7
	3	12,5			13,8	33,2		23,7	31,3	17,7
	4	11,0			13,1	39,2		29,9	33,8	23,7
Média		14,7	15,6	22,4	14,4	36,5	33,0	25,6	33,7	20,8
m/p-Xileno										
Local de amostragem	1	5,34	2,15	4,23	2,55	11,8	6,80	4,90	7,26	5,82
	2	4,73	1,55	3,36	2,71	9,67	6,18	5,23	7,28	6,73
	3	3,46			2,61	8,68		5,01	7,94	5,58
	4	3,23			2,61	9,94		6,83	8,30	5,70
Média		4,19	1,85	3,79	2,62	10,0	6,49	5,49	7,70	5,96
Trimetilbenzeno										
Local de amostragem	1	9,52	9,35	11,7	10,9	16,2	18,1	11,8	12,0	9,16
	2	7,36	9,08	12,3	13,3	9,31	17,2		11,2	8,24
	3	9,37			13,6	13,4		13,6	10,8	6,62
	4	9,55			11,3	12,5		16,1	10,5	7,26
Média		8,95	9,21	12,0	12,3	12,8	17,6	10,4	11,1	7,82
Decano										
Local de amostragem	1	2,74	2,08	2,33	2,24	4,33		2,05	3,68	2,33
	2	3,66	1,86	2,63	2,22	3,40	3,23		3,62	3,01
	3	2,24			2,58	2,72		2,34	3,88	2,60
	4	2,18			2,32	2,96		2,55	4,16	2,34
Média		2,71	1,97	2,48	2,34	3,35	3,23	2,31	3,84	2,57
Fenol										
Local de amostragem	1	23,6	16,3	26,1	28,7	45,0	43,3	30,7	25,8	39,7
	2	9,07	27,7	22,2	37,7	18,0	30,7	38,4	21,5	39,8
	3	21,9			39,9	32,0		39,4	23,6	36,3
	4	30,2			32,0	29,2		40,8	33,0	37,2
Média		21,2	22,0	24,2	34,6	31,1	37,0	37,3	26,0	38,2
Benzoato de 1-metoxietanol										
Local de amostragem	1	3,15	2,67	2,14	3,38	3,15	3,08	2,31	1,38	2,39
	2	2,67	3,68	1,68	3,96		1,92	2,69		2,58
	3	3,43			4,47	2,52		2,69	1,44	2,06
	4	4,18			2,30	1,73		2,65	1,70	2,39
Média		3,36	3,17	1,91	3,53	2,47	2,50	2,59	1,51	2,35
COVsT identificado										
Local de amostragem	1	500	635	686	628	836	633	388	437	275
	2	585	680	821	700	590	613	507	411	312
	3	587			577	463		512	372	310
	4	586			533	409		461	384	266
Média		564	657	754	610	574	623	467	401	291

* Apresentados por ordem crescente do ponto de ebulição.

** Sobre a localização dos pontos ver 2.2.2.

Uma análise da tabela mostra que o composto encontrado na sala em concentração mais elevada foi o tetrahidrofurano.

Dos compostos quantificados individualmente na atmosfera da sala, apenas os níveis de tetrahidrofurano (o COV mais volátil, p.e. 66° C) decresceram, embora não muito marcadamente (cerca de 60% em relação ao máximo medido) num período de 28 dias. Os níveis dos restantes COVs mantiveram-se aproximadamente constantes durante este período. Para este facto poderão ter contribuído pelo menos os três seguintes factores: (1) emissão primária (a partir do pavimento); (2) emissão seguida de adsorção e posterior desadsorção pelas paredes e estantes com livros; (3) taxa de ventilação relativamente baixa.

Quanto aos níveis de cada um dos COVs observados, não se verificou uma relação directa sistemática entre a volatilidade do composto e os níveis observados na sala, embora os níveis mais elevados tenham ocorrido para o composto mais volátil (tetrahidrofurano) e um dos mais baixos de todos para o menos volátil (benzoato de 1-metoxietanol). Outros factores, em particular as concentrações relativas dos COVs no pavimento e a adsorção dos mesmos à superfície de materiais existentes na sala terão influenciado os resultados. Porém os pesos relativos destes factores não são conhecidos.

A tabela 3.3 contém também a concentração total dos COVs (COVsT) que foram identificados na sala. Esta foi calculada somando as concentrações de todos os compostos que foram quantificados. De notar que foram detectadas outras espécies mas, como os sinais eram muito pequenos, considerou-se que não se justificava a realização de calibrações específicas necessárias à respectiva determinação.

Os níveis de COVsT foram marcadamente mais baixos após 28 dias de exposição do que inicialmente. Este resultado indica que globalmente a QAI melhorou significativamente ao longo do tempo. No entanto, após 28 dias de exposição a soma das concentrações dos compostos mais relevantes era ainda superior a 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ca. 290 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), valor considerado por alguns autores susceptível de criar mal estar e dores de cabeça às pessoas expostas (Mølhave, 1990). Faz-se notar que durante o estudo não houve ventilação forçada na sala, pelo que a taxa de renovação de ar foi relativamente baixa, 0,21 rph, o que contribuiu para os resultados.

Não foi detectado aumento dos níveis de formaldeído na atmosfera da sala, relativamente aos valores medidos antes da colocação do pavimento.

3.2.1.1- Grau de mistura do ar na sala

Os dados da tabela 3.3 encontram-se também na figura 3.1 (expressos em termos de factores de emissão), para evidenciar as diferenças observadas nos quatro locais da sala seleccionados para a amostragem. Em alguns casos, problemas técnicos levaram à perda de algumas amostras, sendo visíveis essas lacunas na figura.

Os resultados obtidos nos quatro locais não foram inteiramente coincidentes, mas na maioria dos casos foram muito próximos, evidenciando, portanto, um grau de mistura razoável. As maiores diferenças ocorreram esporadicamente, num período inicial até sete dias, e poderão ter resultado de ter sido aberta, por instantes, uma das janelas ou das portas, uma vez que o acesso à sala não foi vedado.

Os valores observados no local 1, junto à janela a 1,10 m de altura, foram em muitos casos ligeiramente mais elevados que nos restantes locais, denotando, possivelmente, alguma influência da radiação solar no aquecimento do pavimento, o que teria intensificado as emissões de COVs. No entanto, uma vez que não foram realizadas várias réplicas de cada amostra, não foi possível calcular intervalos de confiança, pelo que não se pode afirmar se as diferenças observadas, entre os diferentes pontos, foram ou não significativas.

3.2.1.2- Perfis de variação dos níveis de COVs ao longo do tempo

Como as diferenças de concentração observadas nos diversos locais de amostragem não foram muito marcadas, calculou-se um valor médio. Os valores médios dos factores de emissão constam também da figura 3.1.

Esta figura mostra que os perfis de variação dos factores de emissão diferiram bastante de composto para composto. Por exemplo, a concentração de tetrahydrofurano (e logo o respectivo factor de emissão) decresceu, embora de modo irregular, ao longo do tempo. Porém, em contraste, as concentrações de xileno, fenol e trimetilbenzeno, apresentaram níveis praticamente constantes ao longo do tempo. Estes últimos resultados indicam que ou as intensidades das emissões foram constantes ou a adsorção/desadsorção dos compostos compensou o decréscimo das emissões ao longo do tempo.

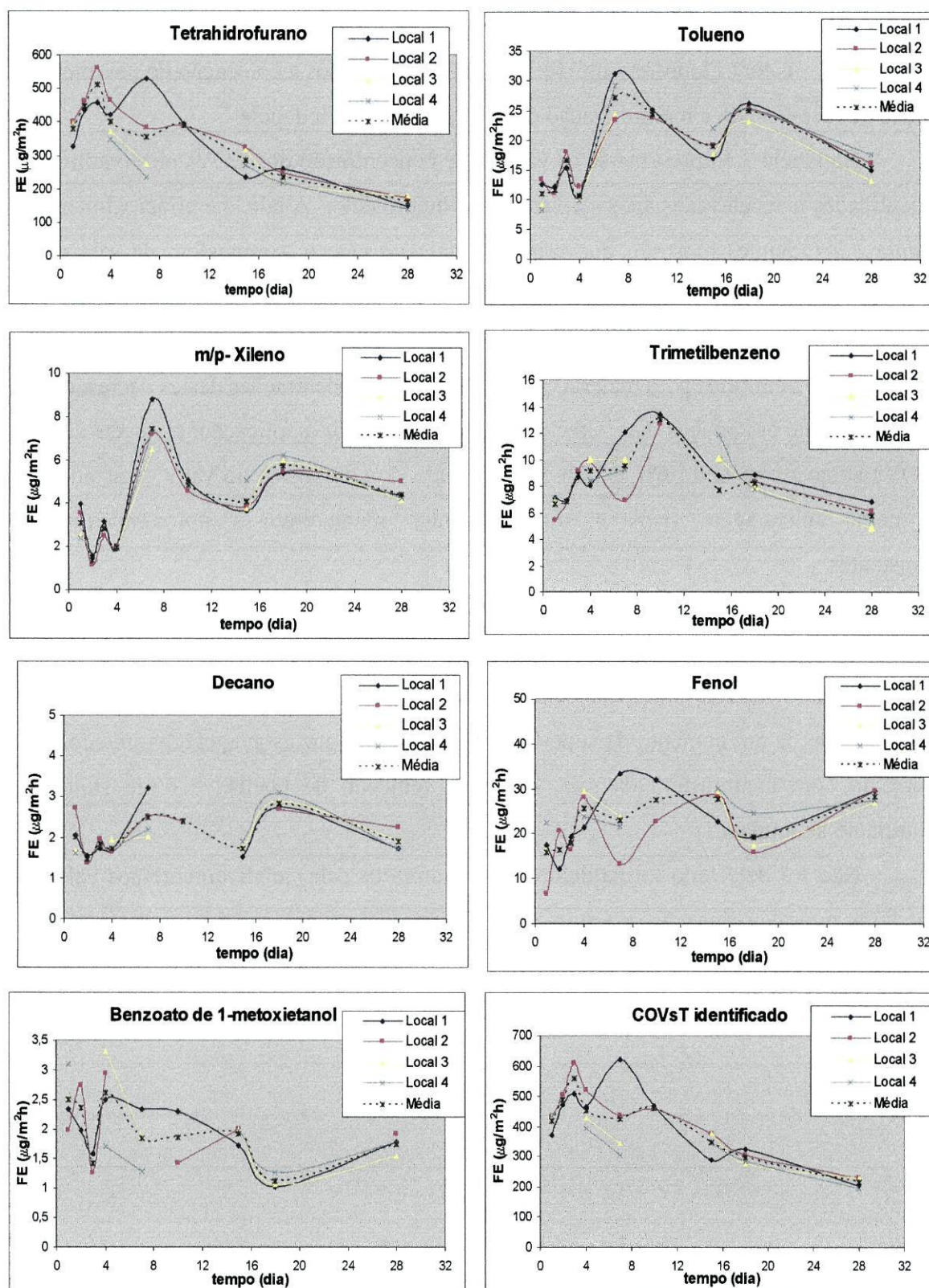


Figura 3.1. Influência do local de amostragem nos factores de emissão de diferentes compostos, quando o revestimento PT03 Cherry estava colocado no pavimento.

3.2.2- Efeito da aplicação do protector “Floordressing”

O protector “Floordressing” foi aplicado 42 dias após a colocação do pavimento, tendo-se recommçado a monitorização de COVs na sala 24 h depois.

Na tabela 3.4 apresenta-se os valores de concentração dos COVs observados em quantidades mais elevadas após a aplicação deste protector. A tabela e principalmente a figura 3.2 (adiante) mostram que este material enriqueceu a atmosfera da sala com novos compostos, dos quais merecem destaque 1-metoxi-2-propanol, 2-(2-etoxietoxi)etanol e 1-metil-2-pirrolidinona. No entanto, ao contrário do que aconteceu com os COVs emitidos pelo material PT03 Cherry, as concentrações destes decresceram marcadamente em poucos dias. Efectivamente, 7 dias após a aplicação, os níveis destes COVs situavam-se entre 6% e 17% (dependendo do composto) do valor registado na primeira amostragem. Nos 4 dias seguintes mantiveram-se aproximadamente constantes.

Quanto aos compostos já anteriormente existentes na atmosfera da sala, designadamente tetrahydrofurano, fenol e trimetilbenzeno, verificou-se, em alguns casos, um aumento das concentrações, embora não muito extenso. Este aumento poderá ter resultado de um aumento da superfície de pavimento que estava, efectivamente, em contacto com a atmosfera da sala, devido a remoção de poeiras e outra sujidade entretanto acumulada.

Não foi detectado formaldeído na atmosfera da sala, relativamente aos valores medidos antes da colocação do pavimento.

Tabela 3.4. Concentrações ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dos principais COVs* e COVsT encontrados na sala após a aplicação do “Floordressing”** sobre PT03 Cherry.

Tempo de exposição (dia)		1	2	3	7	8	10	11
Tetrahidrofurano								
Local de amostragem	1	92,7	86,4	137	115	142	169	141
	2	117	87,7			154		
	3			171		146	180	145
	4	80,3	103	145		153		
Média		96,5	92,5	151	115	149	174	143
Tolueno								
Local de amostragem	1	1,82	4,78	33,9	7,56	8,68	90,5	30,2
	2	1,43	5,26			5,78		
	3			32,8		7,56	67,2	30,2
	4	2,51	6,14	33,9		11,4		
Média		1,92	5,39	33,6	7,56	8,36	78,8	30,2
1-Metoxi-2-propanol								
Local de amostragem	1	129	80,1	91,6	25,5	23,4		
	2	135	77,9			16,9		
	3			115		23,3		11,7
	4	109	97,1	102		18,2		
Média		125	85,0	103	25,5	20,5		5,8
m/p-Xileno								
Local de amostragem	1	0,173		3,80	1,24	1,56	25,5	8,69
	2		0,451			0,933		
	3			3,44		2,54	19,0	8,73
	4	0,744	0,910	4,32		3,77		
Média		0,315	0,454	3,85	1,24	2,20	22,2	8,71
1,3,5-Trimetilbenzeno								
Local de amostragem	1	6,65	7,01	15,7	11,3	11,6	24,7	14,7
	2	15,7	12,4			10,9		
	3			19,6		12,0	18,3	15,0
	4	14,0	8,24	16,8		13,7		
Média		12,1	9,23	17,4	11,3	12,0	21,5	14,9
Fenol								
Local de amostragem	1	31,0	32,9	78,0	35,0	37,5	65,2	38,8
	2	41,1	39,1			34,1		
	3			64,3		36,5	48,5	38,8
	4	38,0	33,2	58,2		42,5		
Média		36,7	35,1	66,8	35,0	37,6	56,9	38,8
2-(2-Etoxietoxi)etanol								
Local de amostragem	1	1,10 x 10³	434	311	70,1	51,0	81,5	47,6
	2	1,40 x 10³	463			44,7		
	3			424		50,9	60,6	49,3
	4	953	414	361		59,8		
Média		1,15 x 10³	437	366	70,1	51,6	71,0	48,5
1-Metil-2-pirrolidinona								
Local de amostragem	1	399	188	124	37,7	34,8	61,2	36,5
	2	553	218			35,2		
	3			175		32,2	45,5	33,9
	4	338	174	140		41,2		
Média		430	194	146	37,7	35,9	53,4	35,2
Benzoato de 1-metoxietanol								
Local de amostragem	1	2,14	2,35	8,65	3,49	3,41	5,61	3,53
	2	3,15	2,70			3,70		
	3			5,48		3,33	4,17	3,45
	4	3,66	2,10	4,89		4,35		
Média		2,98	2,39	6,34	3,49	3,70	4,89	3,49
COVsT identificado								
Local de amostragem	1	1,77 x 10³	836	804	307	314	523	321
	2	2,27 x 10³	907			306		
	3			1,01 x 10³		314	443	336
	4	1,54 x 10³	839	867		348		
Média		1,86 x 10³	861	894	307	321	483	329

* Apresentados por ordem crescente do ponto de ebulição.

** Os COVs encontrados pela primeira vez em concentrações apreciáveis após a aplicação do protector estão em negrito.

Estudo em “head-space”

Com o objectivo de verificar se os COVs observados na atmosfera da sala após a aplicação do “Floordressing” eram primários (isto é, originários deste produto de tratamento) ou secundários (isto é, resultantes de reacções do produto com compostos do pavimento) estudou-se, em “head-space”, a composição, em termos qualitativos, do produto de manutenção. Para tal o “Floordressing” foi aplicado sobre um material inerte. Deixou-se secar na hotte durante 10 minutos, colocou-se num recipiente fechado e recolheu-se amostras da atmosfera em equilíbrio com o produto. Constatou-se que os compostos observados em head-space coincidiam com os compostos observados na atmosfera da sala, indicando que não resultavam de reacções entre materiais, isto é, não eram COVs secundários.

Além de COVs distintos dos identificados no PT03 Cherry foram também detectados em “head-space” tolueno, xileno e trimetilbenzeno, o que poderá ter estado na origem do pequeno aumento das respectivas concentrações observado na sala após a aplicação do “Floordressing”.

3.2.3- Efeito da aplicação do detergente “Soft Cleaner”

Catorze dias após a aplicação do protector (56 dias depois da instalação do pavimento) foi aplicado no pavimento um detergente de limpeza.

Constatou-se que a aplicação do produto de limpeza não originou compostos novos na atmosfera da sala. Porém, relativamente aos que já existiam anteriormente, a figura 3.2 mostra que, de um modo geral, ocorreu um aumento das concentrações, seguido de um decaimento.

Estudo em “head-space”

Tal como para o produto “Floordressing”, também se efectuou o estudo em “head-space” para o detergente de limpeza “Soft Cleaner”. Foram detectados alguns dos compostos cuja concentração aumentou na sala após a aplicação do detergente (tolueno e m/p-xileno), o que justificará os resultados observados.

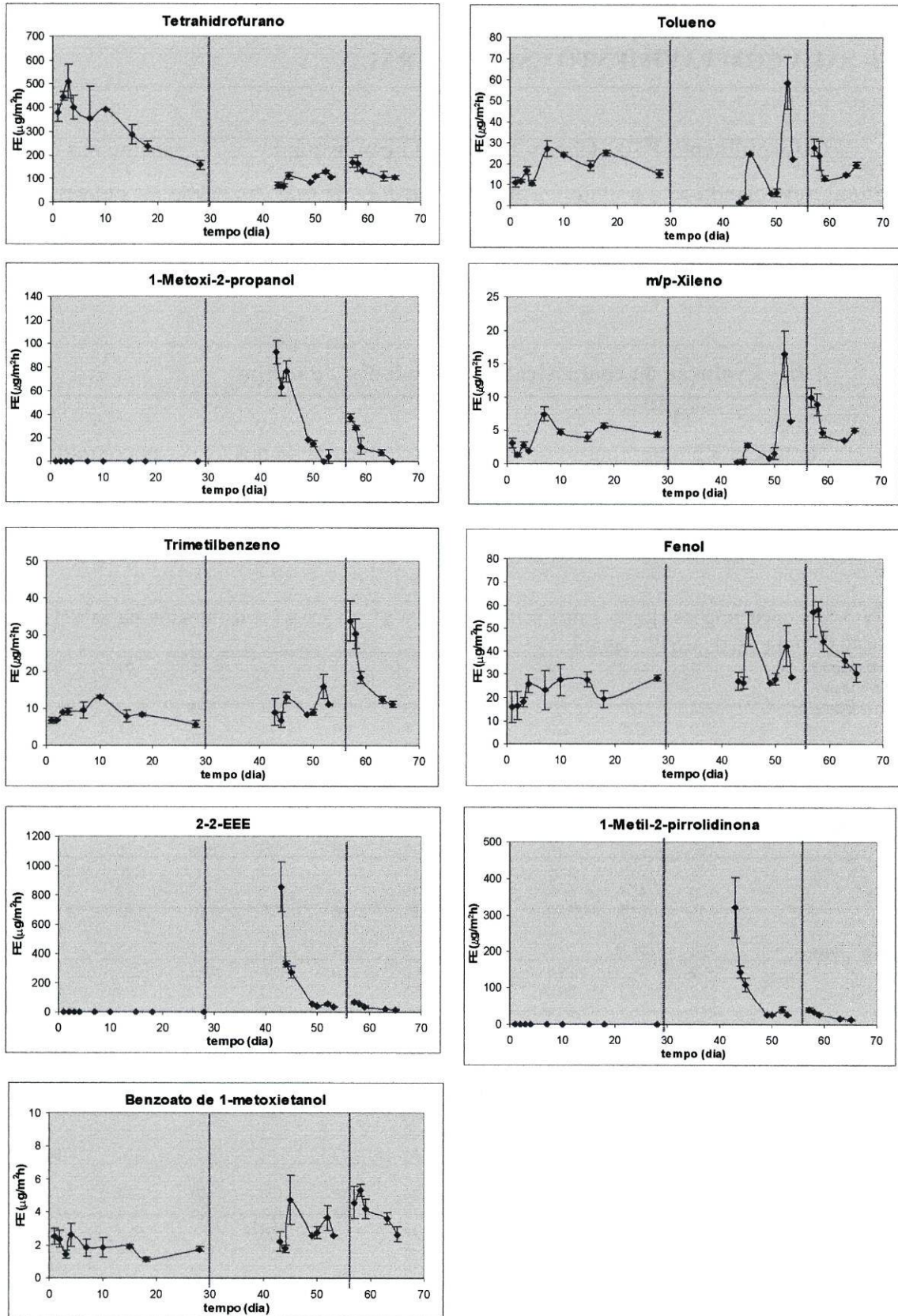


Figura 3.2. Valores médios e respectivos desvios padrão (n= 4) dos factores de emissão dos COVs determinados na atmosfera da sala durante todo o período de estudo relativo ao material PT03 Cherry. O protector “Floordressing” foi aplicado 42 dias após o início do estudo e o detergente “Soft Cleaner” após 56 dias.

3.3- SALA COM PAVIMENTO CS10 NATURAL

O revestimento PT03 Cherry foi retirado e substituído pelo revestimento CS10 Natural, reiniciando-se a monitorização da atmosfera da sala. As primeiras amostras de ar foram recolhidas 24 h após a colocação do material. Durante este estudo houve ventilação forçada na sala, sendo a taxa de renovação de ar de 1,29 rph.

3.3.1- Evolução da composição do ar ao longo do tempo

Na tabela 3.5 apresenta-se os valores de concentração dos COVs encontrados na atmosfera da sala em quantidades mais significativas durante 28 dias após a colocação de um piso de CS10 Natural.

Tabela 3.5. Concentrações ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dos principais COVs* e COVsT encontrados na sala** após a colocação de um piso de CS10 Natural.

Tempo de exposição (dia)		1	2	3	4	7	10	15	18	21	25	28
Tetrahydrofurano												
Local de amostragem	1	294	202	213	252	169	127	134	99,8	65,1	73,3	61,0
	2	325	285	222	232	138	156	104	105	81,7	73,6	79,9
	3	538	232	265		197		157		83,5	78,1	72,7
	4	442	284	295		223		203		90,9	102	94,7
Média		400	251	249	242	182	142	149	102	80,3	81,6	77,1
1,2,3-Trimetilbenzeno												
Local de amostragem	1	3,01	2,17	2,42	5,21	1,26	1,09	2,74	2,83	1,19		2,22
	2	2,65	2,77	2,76	5,25	3,75	2,88	3,33	3,13	1,30	3,86	
	3	6,82	3,04	2,68		1,11		5,58		2,07	3,46	2,52
	4	4,28	4,24	5,12		0,416		3,73		1,93	5,20	4,50
Média		4,19	3,05	3,24	5,23	1,63	1,98	3,85	2,98	1,62	4,17	3,08
Fenol												
Local de amostragem	1	33,1	28,4	27,7	36,6	27,9	18,5	22,1	17,3	12,3		9,62
	2	31,2	42,3	35,8	39,7	34,0	23,0	19,6	21,3	12,7	14,1	
	3	83,2	30,3	36,9		36,4		35,0		13,4	14,6	15,3
	4	22,8	55,7	53,9		33,3		27,2		14,5	22,9	22,6
Média		42,6	39,2	38,6	38,2	32,9	20,7	26,0	19,3	13,2	17,2	15,8
Benzoato de 1-metoxietanol												
Local de amostragem	1	1,79	1,54	1,70	2,15	1,94	1,01	1,72	1,54	0,911		0,945
	2	1,87	2,42	2,58	2,48	2,48	1,25	1,54	1,81	1,14	1,07	
	3	3,92	1,57	1,86		2,72		2,43		0,929	1,23	1,54
	4	9,09	2,81	2,79		2,89		2,22		1,19	1,71	2,09
Média		4,17	2,08	2,23	2,31	2,51	1,13	1,98	1,68	1,04	1,34	1,53
COVsT identificado												
Local de amostragem	1	332	234	245	296	200	148	160	121	79,4		73,8
	2	360	332	263	280	178	183	128	131	96,9	92,6	
	3	632	267	306		237		200		99,9	97,4	92,0
	4	478	346	357		259		236		108	131	124
Média		451	295	293	288	219	166	181	126	96,2	107	96,6

* Apresentados por ordem crescente do ponto de ebulição.

** Sobre a localização dos pontos ver 2.2.2.

Comparativamente com o material PT03 Cherry, este revestimento emitiu menor diversidade de COVs.

Uma análise da tabela mostra ainda que os compostos encontrados em concentrações mais elevadas, tetrahidrofurano e fenol, sofrem um decréscimo acentuado das concentrações nos primeiros 20 dias de exposição, entre 70 e 80%, observando-se a partir daí uma certa estabilização. Para os restantes compostos as concentrações não se alteraram marcadamente durante os 28 dias do estudo. O maior decréscimo de concentração, por exemplo do tetrahidrofurano, relativamente ao observado no estudo do PT03 Cherry resultou, provavelmente, de ter sido aumentada a taxa de renovação do ar da sala.

3.3.1.1- Grau de mistura do ar na sala

Os dados da tabela 3.5 encontram-se também na figura 3.3, expressos em termos de factores de emissão, para evidenciar as diferenças observadas nos quatro locais da sala seleccionados para a amostragem (em alguns casos, problemas técnicos levaram à perda de algumas amostras, sendo visível na figura essas lacunas).

Neste caso as diferenças de concentração nos quatro locais de amostragem foram menores do que para o material estudado previamente, provavelmente em resultado da mais elevada taxa de ventilação da sala.

3.3.1.2- Perfis de variação dos níveis de COVs ao longo do tempo

Como as diferenças de concentração observadas nos diversos locais de amostragem não foram muito marcadas, calculou-se os valores médios que constam também da figura 3.3. Esta figura mostra ainda que os perfis de variação dos factores de emissão diferiram de composto para composto. Por exemplo, a concentração de tetrahidrofurano, (e logo o respectivo factor de emissão) decresceu ao longo do tempo. O mesmo se passou para o fenol. Para o benzoato de 1-metoxietanol e trimetilbenzeno, os níveis foram praticamente constantes ao longo do tempo, após uma redução inicial. As razões deste comportamento serão, provavelmente, as que foram apontadas para o revestimento PT03 Cherry.

Não foi detectado formaldeído na atmosfera da sala, relativamente aos valores medidos antes da colocação do pavimento.

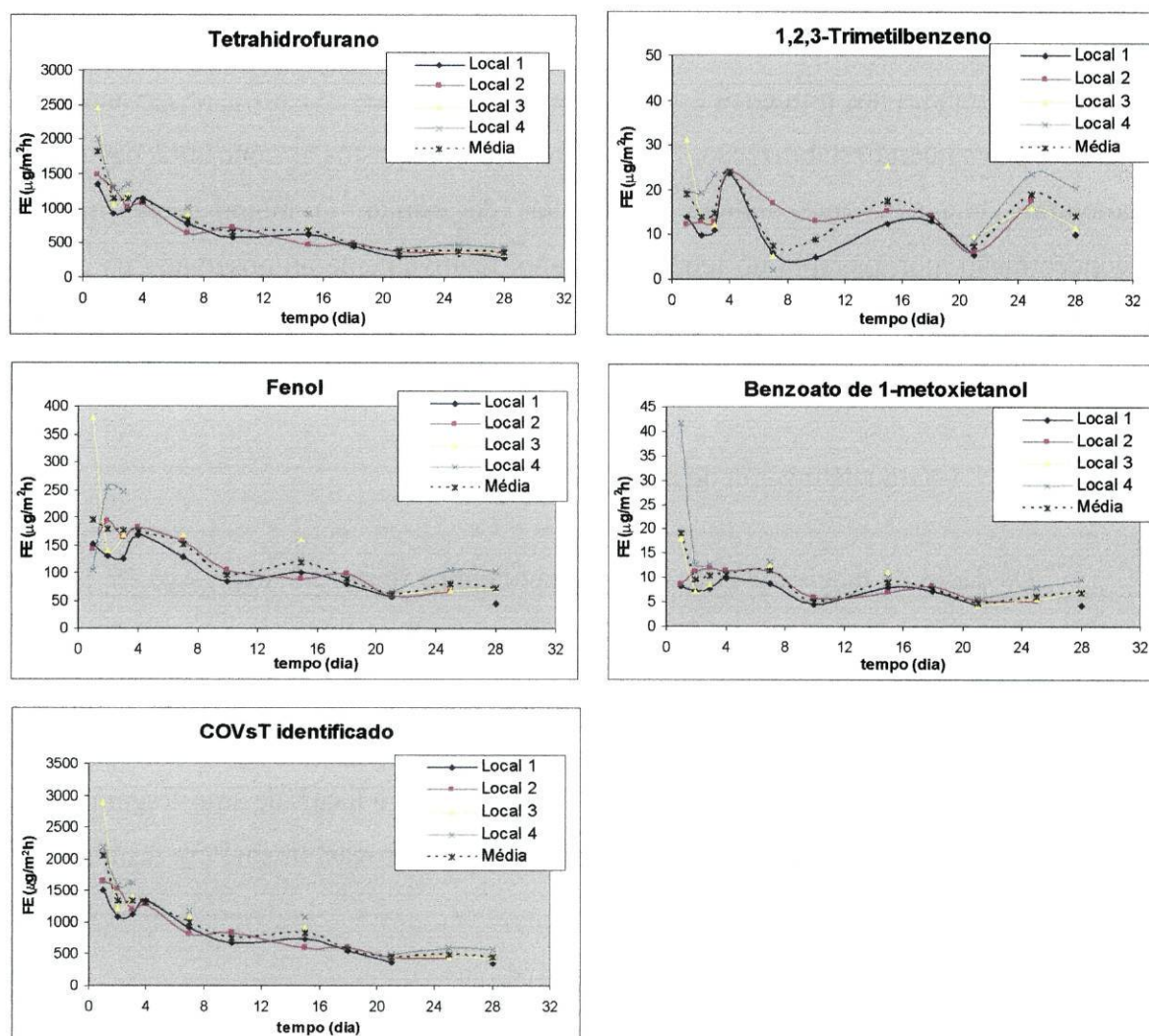


Figura 3.3. Influência do local de amostragem nos factores de emissão, para os diferentes compostos.

3.3.2- Efeito da aplicação do verniz “W1000”

Vinte e nove dias após a colocação do material CS10 Natural foi aplicado no piso verniz W1000. Na tabela 3.6 apresenta-se os valores de concentração dos principais compostos observados após essa aplicação e durante um período de 30 dias. A tabela mostra que a aplicação do verniz fez surgir na atmosfera da sala novos compostos, alguns em concentrações bastante elevadas. Merecem destaque 4-etilmorfolina, 2-butoxietanol, 1-metil-2-pirrolidinona e 2-butoxietilacetato. Porém, os seus níveis decresceram abruptamente nos primeiros 5 dias, para valores apenas de 10 a 13% dos

valores observados 24 h após a aplicação do verniz. A partir de então, continuou a ocorrer decréscimo mas mais lento e, de um modo geral, notou-se uma estabilização a partir dos 15 dias de exposição. Ao fim dos 30 dias, as concentrações destes quatro compostos foram da ordem dos 5% ou inferiores às medidas após 24 h.

A concentração de COVsT, identificado, 24 h após a aplicação do verniz foi mais de dez vezes superior à observada 24 h após a colocação do revestimento. Porém, após 30 dias de exposição os níveis de COVsT foram já semelhantes aos medidos para o revestimento simples após o mesmo período de tempo. Assim, o verniz prejudicou a QAI fundamentalmente num período inicial, como é habitual para materiais líquidos (Silva et al., 2002).

Para o composto tetrahidrofurano, apenas proveniente do CS10 Natural como se confirmou pelo estudo do verniz em “head-space”, notou-se um decréscimo gradual da concentração ao longo de todo o estudo (28 mais 30 dias).

Não foi detectado formaldeído na atmosfera da sala, relativamente aos valores medidos antes da colocação do pavimento.

Tabela 3.6. Concentrações ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dos principais COVs* e COVsT encontrados na sala após a aplicação do verniz “W1000”** sobre o piso CS10 Natural.

Tempo de exposição (dia)		1	2	3	6	8	10	13	16	20	24	28	30
Tetrahidrofurano													
Local de amostragem	1	46,8	36,7	33,7	19,6	28,4	23,7	14,6	21,3	23,5	20,2	12,1	14,4
	2	59,3	40,5		24,0	31,1	39,8	19,7	27,1	23,4	17,9	20,2	18,3
	3	57,0	46,9	57,3	57,5		39,8	79,3	41,4	25,2	20,0	28,6	17,9
	4	60,3	48,5	53,9	55,3	27,1	56,9	62,8	44,6	25,8	21,0	29,9	
Média		55,8	43,1	48,3	39,1	28,9	40,0	44,1	33,6	24,5	19,8	22,7	16,9
4-Etilmorfolina													
Local de amostragem	1	403	231	148	44,5	22,7	13,4	10,1					
	2	529	282		34,9	32,8	28,7	25,5	13,0	15,7			
	3	485	301	201	79,1		31,2	22,8	17,2	7,79			
	4	557	264	194	96,1	44,4	42,5	21,7	10,3				
Média		494	270	181	63,7	33,3	29,0	20,0	10,1	5,87			
1,2,3-Trimetilbenzeno													
Local de amostragem	1	10,0	5,11	4,33	3,14	3,01	3,52	2,94	2,54	2,66	2,86	1,64	3,57
	2	9,93	6,02		2,89	3,21	4,64	3,21	3,25	3,08	2,24	2,65	3,79
	3	16,6	6,67	6,14	9,45		5,95	10,7	5,25	3,15	3,12	3,91	4,37
	4	14,8	6,62	6,33	8,21	3,21	6,81	8,93	6,09	2,69	3,74	3,25	
Média		12,8	6,10	5,60	5,92	3,14	5,23	6,44	4,28	2,90	2,99	2,86	3,91
2-Butoxietanol													
Local de amostragem	1	586	294	180	79,6	34,8	46,7	48,8	21,7	34,3	17,2	25,1	16,9
	2	728	315		39,7	32,2	55,7	30,5	25,2	34,1	17,3	27,9	32,0
	3	809	356	233	134		35,0	86,7	30,4	36,2	9,59	33,9	20,5
	4	713	360	182	129	71,2	72,7	81,4	17,1	36,4	13,7	35,4	
Média		709	331	198	95,7	46,1	52,5	61,9	23,6	35,3	14,4	30,6	23,1
Fenol													
Local de amostragem	1	13,5	15,1	12,3	10,7	12,7	13,8	14,9	8,36	11,9	6,82	7,87	8,83
	2	16,6	18,6		10,5	14,8	10,8	14,7	15,2	11,9	8,32	9,66	8,40
	3		22,3	13,8	21,2		24,3	32,7	19,4	13,6	10,3	15,6	7,56
	4	8,37	13,0	18,5	20,0	18,1	27,3	27,0	23,5	13,6	13,7	9,32	
Média		12,8	17,2	14,9	15,6	15,2	19,0	22,3	16,6	12,8	9,79	10,6	8,26
2-Butoxietilacetato													
Local de amostragem	1	274	101	57,4	23,8	17,6	13,8	15,2	6,84	8,89	5,61	8,30	10,5
	2	359	113		30,8	17,3	16,7	14,7	7,51	9,58	5,63	9,56	9,47
	3	370	129	78,0	49,2		20,7	31,3	10,7	10,6	6,73	13,4	12,4
	4	332	123	72,7	46,6	19,2	23,6	26,7	12,2	9,53	8,49	11,6	
Média		334	116	69,4	37,6	18,0	18,7	22,0	9,32	9,64	6,61	10,7	10,8
1-Metil-2-pirrolidina													
Local de amostragem	1	2,93 x 10³	1,07 x 10³	590	185	156	99,0	83,2	41,6	53,3	25,9	31,4	37,6
	2	3,80 x 10³	1,30 x 10³		264	151	122	95,0	50,5	56,7	29,7	43,1	37,6
	3	4,22 x 10³	1,62 x 10³	791	546		174	209	77,7	61,5	35,4	62,4	47,7
	4	3,82 x 10³	1,40 x 10³	823	496	157	201	163	90,9	57,4	43,5	58,8	
Média		3,70 x 10³	1,34 x 10³	735	372	154	149	138	65,2	57,2	33,6	48,9	41,0
COVsT identificado													
Local de amostragem	1	4,27 x 10 ³	1,75 x 10 ³	1,03 x 10 ³	366	275	214	190	102	135	78,6	86,3	91,8
	2	5,50 x 10 ³	2,07 x 10 ³		406	282	278	203	142	154	81,1	113	110
	3	5,96 x 10 ³	2,48 x 10 ³	1,38 x 10 ³	896		331	472	202	158	85,1	158	110
	4	5,51 x 10 ³	2,21 x 10 ³	1,35 x 10 ³	851	340	431	392	205	145	104	148	
Média		5,31 x 10 ³	2,13 x 10 ³	1,25 x 10 ³	630	299	313	314	163	148	87,2	126	104

* Apresentados por ordem crescente do ponto de ebulição.

** Os COVs encontrados pela primeira vez em concentrações apreciáveis após a aplicação do verniz estão em negrito.

Na figura 3.4 apresenta-se, graficamente, a variação dos factores de emissão em função do tempo, para os quatro locais onde se realizou a amostragem. É evidente nesta figura que a concentração de tetrahidrofurano foi a que sofreu maiores variações entre os diferentes pontos de amostragem e ao longo do tempo. Põe-se a hipótese de que fenómenos de adsorção/desadsorção por parte de outros materiais da sala possam ter contribuído para estes resultados. Mas não foi possível provar isso.

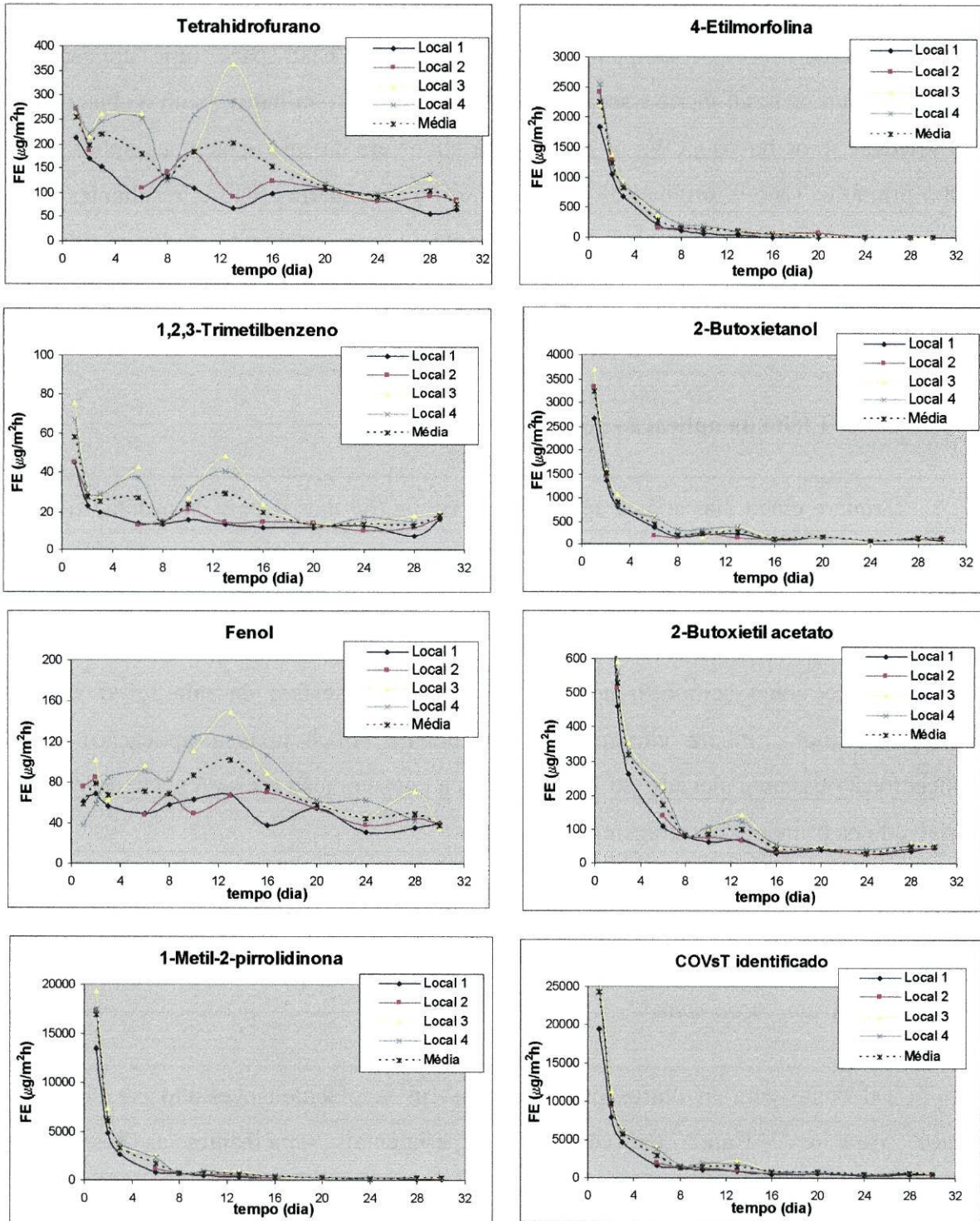


Figura 3.4. Influência do local de amostragem nos factores de emissão para os diferentes compostos quantificados na atmosfera da sala após aplicação do verniz W1000 sobre o piso CS10 Natural.

Estudo em “head-space”

O verniz W1000 foi também objecto de estudo em “head-space” (após aplicação do verniz num material inerte e secagem na hotte durante 10 minutos), com o objectivo de verificar se os novos COVs observados na atmosfera da sala após a sua aplicação eram primários (isto é, originários dele mesmo) ou secundários (isto é, resultantes de reacções deste com o revestimento do pavimento). Foram observados todos os novos COVs observados na atmosfera da sala, indicando que os mesmos não resultaram de reacções entre materiais. Eram portanto COVs primários do verniz.

3.3.3- Efeito da aplicação do “V-Care”

Trinta e cinco dias após a aplicação do verniz (64 dias depois da instalação do revestimento do pavimento) foi aplicado um agente de tratamento com a designação comercial “V-Care”. Na tabela 3.7 apresenta-se os valores de concentração dos compostos observados em concentrações mais significativas após a aplicação. A tabela mostra que o único composto novo encontrado na atmosfera da sala foi o 2-(2-etoxietoxi)etanol. Embora ele apareça inicialmente (24 h após a aplicação) em concentração bastante elevada, ao fim de 5 dias a concentração era só 6 a 7% do valor observado na primeira amostragem.

Relativamente aos compostos que já existiam na atmosfera da sala, as concentrações mantiveram-se praticamente constantes.

Estudo em “head-space”

Tal como para os outros produtos, também se efectuou o estudo em “head-space” para o “V-Care”, em condições experimentais semelhantes às descritas anteriormente. Foi observado em head-space o novo COV identificado na atmosfera da sala, 2-(2-etoxietoxi)etanol, indicando que se tratava de um COV primário do “V-Care”.

Tabela 3.7. Concentrações ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dos principais COVs* e COVsT encontrados após a aplicação do “V-Care”** no piso de CS10 Natural envernizado.

Tempo de exposição (dia)		1	2	3	4	7	9
Tetrahidrofurano							
Local de amostragem	1	14,7	18,5	29,1	19,7	17,0	9,62
	2	27,3	24,9	27,0	23,9		10,6
	3	25,2	24,6	37,2	29,4	32,9	26,3
	4	32,6	26,3	52,1	28,3	35,5	26,9
Média		24,9	23,6	36,3	25,3	28,5	18,3
Trimetilbenzeno							
Local de amostragem	1	1,08	3,79	5,14	4,37	5,16	3,03
	2	1,31	5,13	5,41	4,48		1,79
	3	2,85	4,70	6,21	6,43	7,36	6,52
	4	8,51	4,58	8,95	7,10	7,56	6,83
Média		3,44	4,55	6,43	5,60	6,69	4,54
2-Butoxietanol							
Local de amostragem	1	27,5	25,1	34,7	22,8	9,64	2,59
	2	34,2	28,4	31,8	19,7		9,74
	3	35,3	35,0	33,7	31,7	14,9	15,8
	4	45,7		41,4	13,8	17,1	13,1
Média		35,7	29,5	35,4	22,0	13,9	10,3
Fenol							
Local de amostragem	1	10,4	8,27	15,3	10,2	9,37	7,72
	2	13,6	9,77	13,4	11,9		8,02
	3	15,8	12,0	15,5	15,8	15,5	14,9
	4	18,6	9,49	15,6	17,9	17,2	14,9
Média		14,6	9,88	15,0	13,9	14,0	11,4
2-Butoxietilacetato							
Local de amostragem	1	10,0	6,85	12,4	7,65	5,29	3,01
	2	10,8	8,97	13,9	6,26		4,26
	3	14,6	10,7	14,2	10,7	7,22	7,23
	4	15,9	8,89	17,3	10,5	7,57	6,90
Média		12,8	8,84	14,5	8,79	6,69	5,35
2(-2-Etoxietoxi)etanol							
Local de amostragem	1	446	154	96,3	57,5	30,5	12,1
	2	581	190	112	70,5		
	3	849	199	133	84,0	31,9	19,5
	4	1,27 x 10³	180	177	92,1	33,4	20,9
Média		787	181	129	76,0	31,9	17,5
1-Metil-2-pirrolidinona							
Local de amostragem	1	41,4	37,6	45,6	33,7	22,9	17,4
	2	54,7	45,1	49,5	36,9		14,0
	3	73,3	47,4	56,9	48,0	40,3	33,0
	4	89,1	43,2	80,2	61,3	43,3	31,8
Média		64,7	43,3	58,1	45,0	35,5	24,1
COVsT identificado							
Local de amostragem	1	551	255	239	156	99,9	55,5
	2	722	313	253	174		48,3
	3	1,02 x 10 ³	334	297	226	150	123
	4	1,48 x 10 ³	272	392	231	162	121
Média		943	293	295	197	137	87,1

* Apresentados por ordem crescente do ponto de ebulição.

** Os COVs encontrados pela primeira vez em concentrações apreciáveis após a aplicação do V-Care estão em negrito.

Resultados e sua Discussão

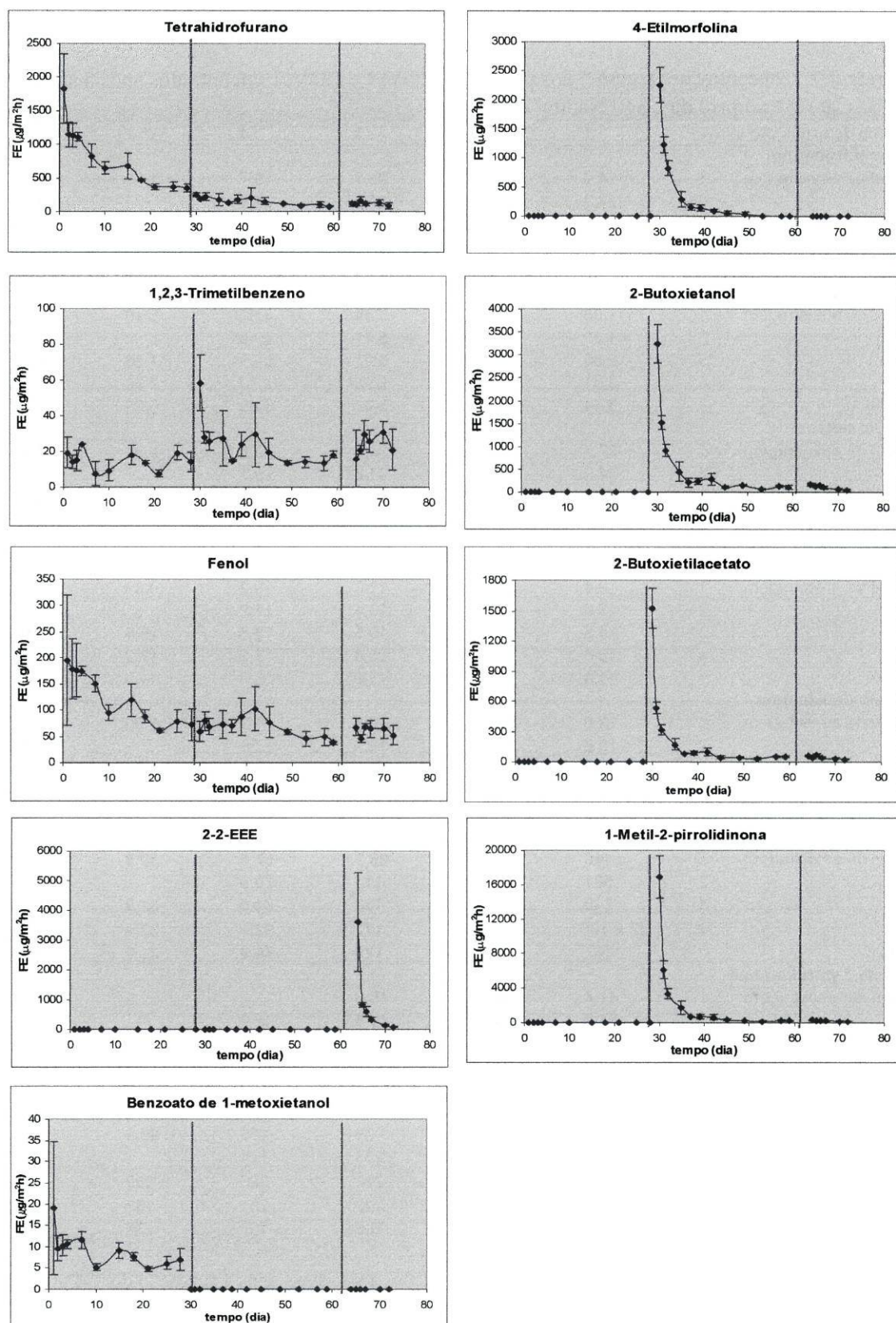


Figura 3.5. Valores médios e respectivos desvios padrão ($n=4$) dos factores de emissão dos COVs determinados na atmosfera da sala durante todo o período de estudo relativo ao material CS10 Natural. O verniz “W1000” foi aplicado 29 dias após o início do estudo e o “V-Care” após 64 dias. (2-2-EEE: 2-(2-etoxi)etanol)

3.4- SALA COM PAVIMENTO NJ01 ROME, ENVERNIZADO COM “W2000”

O material NJ01 Rome substituiu o material anterior e logo de seguida foi aplicado o verniz “W2000”. As primeiras amostragens de ar foram efectuadas 24 h depois. Durante este estudo houve ventilação forçada na sala, a taxa de renovação de ar foi de 1,19 rph.

3.4.1- Evolução da composição do ar ao longo do tempo

Na tabela 3.8 apresenta-se os valores de concentração dos COVs encontrados na atmosfera da sala em quantidades mais significativas, durante o período de estudo (28 dias após a colocação do material e aplicação do verniz).

Uma análise da tabela mostra que os compostos encontrados em concentrações mais elevadas foram 2-butoxietanol, 1-metil-2-pirrolidinona e 2-butoxiacetato. Durante os primeiros 6 dias de exposição os valores das suas concentrações foram bastante mais elevados do que para os anteriores materiais. Os níveis de COVsT identificado variaram entre 6,3 (1 dia) e 1,1 mg/m³ (6 dias). Porém, após 8 dias os níveis já não ultrapassavam 5 a 10% dos valores observados ao fim de um dia. Observou-se também que a concentração de COVsT era, no final do estudo, após 28 dias de exposição, superior a 200 µg/m³ (ca. de 350 µg/m³).

Não foi detectado formaldeído na atmosfera da sala, relativamente aos valores medidos antes da colocação do pavimento.

3.4.1.1- Grau de mistura do ar na sala

Os dados da tabela 3.8 encontram-se também na figura 3.6, para evidenciar as diferenças observadas nos quatro locais da sala seleccionados para a amostragem (em alguns casos, problemas técnicos levaram também à perda de algumas amostras). Neste caso, para todos os COVs quantificados não foram observadas diferenças significativas entre os diferentes locais de amostragem. As maiores diferenças ocorreram para 4-etilmorfolina mas foram pouco extensas. No caso de COVs que tinham também sido identificados em estudos anteriores constatou-se que também nesses casos não tinham

ocorrido variações importantes de ponto para ponto de amostragem. No seu conjunto, estes resultados parecem indicar que a adsorção/desadsorção dos COVs pelos materiais presentes na sala (que no caso das estantes com livros não estavam uniformemente distribuídos) terão sido responsáveis pelos resultados observados, e que a adsorção varia muito com a natureza do COV.

Tabela 3.8. Concentrações ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dos COVs* e COVsT encontrados na sala** após a colocação de um piso de NJ01 Rome envernizado com verniz “W2000”.

Tempo de exposição (dia)		1	2	4	6	8	14	17	21	23	28
Etilbenzeno											
Local de amostragem	1	11,4	7,39	3,10	0,973	0,889	0,748				3,73
	2	11,7	7,01	4,00	1,07	1,10	0,913	0,589		1,73	3,21
	3	15,8	6,97	3,42	1,44	1,31	0,955		0,585	1,68	3,22
	4	13,1	7,48	4,35		1,49	1,03		0,711	1,80	5,44
Média		13,0	7,21	3,72	1,16	1,20	0,911	0,589	0,648	1,74	3,90
m/p-Xileno											
Local de amostragem	1	43,1	26,8	15,5	4,61	2,83	1,22	0,857			14,9
	2	47,4	25,7	17,5	4,92	3,24	2,06	3,82		5,70	11,7
	3	63,3	26,6	16,1	6,80	3,38	1,72		1,52	5,46	12,3
	4	53,3	30,2	18,3		4,38	2,61		1,71	6,18	20,9
Média		51,8	27,3	16,9	5,44	3,46	1,90	2,34	1,61	5,78	15,0
4-Etilmorfolina											
Local de amostragem	1	45,5									13,6
	2	91,8	2,73	37,3							
	3	81,3	23,5	36,2							
	4	78,9									
Média		74,4	6,57	18,4					16,0		3,39
2-Butoxietanol											
Local de amostragem	1	235	113	84,7	43,7	5,56	8,86	22,7			12,4
	2	235	125	110	40,2	7,13	33,4	31,4		17,8	22,3
	3	257	127	99,1	49,5	14,8	29,8		39,6	6,27	19,8
	4	231	98,8	110		13,3	32,3		43,3	24,8	43,4
Média		239	116	101	44,5	10,2	26,1	27,0	41,4	16,3	24,5
2-Butoxietilacetato											
Local de amostragem	1	424	191	127	64,6	35,2	31,5	27,6			21,4
	2	488	195	187	79,1	31,7	44,8	33,2		19,6	24,1
	3	478	193	138	85,5	49,1	46,0		45,3	28,5	23,0
	4	422	199	170		47,4	47,2		44,8	24,0	41,0
Média		453	195	155	76,4	40,8	42,4	30,4	45,1	24,0	27,4
1-Metil-2-pirrolidinona											
Local de amostragem	1	$5,46 \times 10^3$	$2,65 \times 10^3$	$1,61 \times 10^3$	778	346	235	209			204
	2	$5,80 \times 10^3$	$2,73 \times 10^3$	$2,79 \times 10^3$	$1,04 \times 10^3$	299	474	288		210	290
	3	$5,16 \times 10^3$	$2,50 \times 10^3$	$1,75 \times 10^3$	$1,20 \times 10^3$	457	501		441	342	203
	4	$5,42 \times 10^3$	$2,20 \times 10^3$	$2,10 \times 10^3$		485	543		415	274	393
Média		$5,46 \times 10^3$	$2,52 \times 10^3$	$2,06 \times 10^3$	$1,01 \times 10^3$	397	438	248	428	276	272
COVsT identificado											
Local de amostragem	1	$6,22 \times 10^3$	$2,99 \times 10^3$	$1,84 \times 10^3$	892	391	277	260			270
	2	$6,67 \times 10^3$	$3,09 \times 10^3$	$3,15 \times 10^3$	$1,17 \times 10^3$	342	556	356		255	351
	3	$6,05 \times 10^3$	$2,88 \times 10^3$	$2,04 \times 10^3$	$1,34 \times 10^3$	525	579		528	384	261
	4	$6,22 \times 10^3$	$2,54 \times 10^3$	$2,40 \times 10^3$		551	626		521	331	504
Média		$6,29 \times 10^3$	$2,87 \times 10^3$	$2,36 \times 10^3$	$1,13 \times 10^3$	453	510	308	525	323	346

* Apresentados por ordem crescente do ponto de ebulição.

** Sobre a localização dos pontos ver 2.2.2.

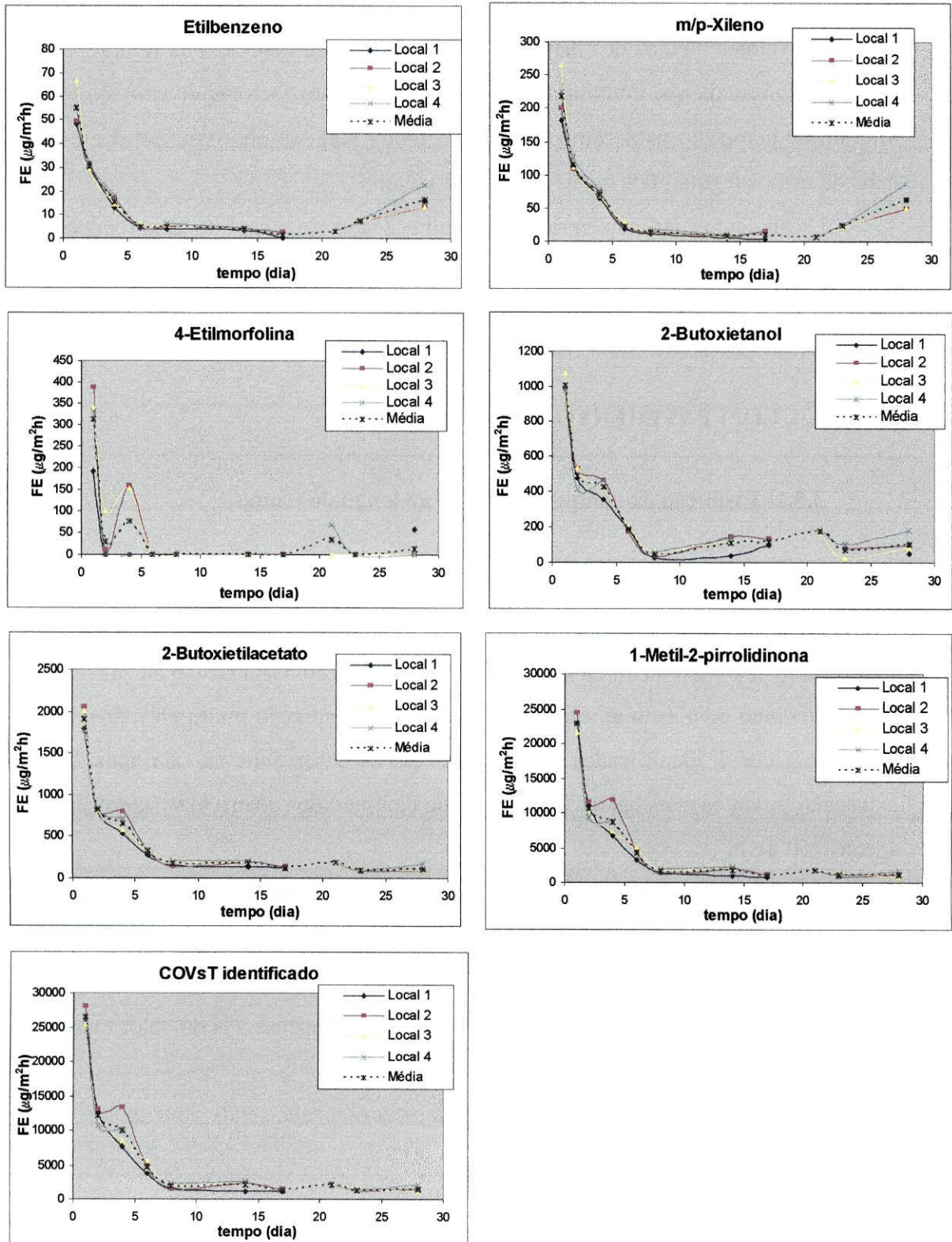


Figura 3.6. Influência do local de amostragem nos factores de emissão para os diferentes compostos.

3.4.1.2- Perfis de variação dos níveis de COVs ao longo do tempo

Os valores médios dos factores de emissão constam também da figura 3.6. Esta figura mostra ainda que embora os perfis de variação dos factores de emissão tenham diferido de composto para composto, de um modo geral se observou um decréscimo, mais ou menos regular, dos níveis ao longo do tempo.

Os aumentos das concentrações de etilbenzeno e de xileno no último dia em que se realizou a monitorização do ar poderão ter resultado de contaminação do ar exterior, uma vez que se trata de dois COVs que ocorrem normalmente nessa atmosfera.

3.5- SALA COM PAVIMENTO PM03 CHERRY

3.5.1- Evolução da composição do ar ao longo do tempo

Por último foi instalado na sala o pavimento PM03 Cherry. Os valores de concentração dos compostos encontrados na atmosfera da sala em quantidades mais significativas, no período de 28 dias que se seguiu à sua aplicação estão na tabela 3.9.

Nenhum composto apresentou valores de concentração muito elevados. No seu conjunto (COVsT identificado) os níveis de COVs observados na sala após 24 h de exposição foram os mais baixos observados no conjunto dos quatro materiais estudados, apenas $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Os compostos encontrados em maiores concentrações foram o fenol e o tetrahydrofurano. Na primeira amostragem a concentração de 2-butoxietanol foi a mais elevada e responsável por mais de 50 % dos COVsT medidos. Porém, a concentração decresceu abruptamente no segundo dia passando a ser apenas 5% do valor medido no primeiro dia.

Não foi detectado formaldeído na atmosfera da sala, relativamente aos valores medidos antes da colocação do pavimento.

Tabela 3.9. Concentrações ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dos principais COVs* e COVsT encontrados na sala** após a colocação de piso PM03 Cherry.

Tempo de exposição (dia)		1	2	3	4	7	9	11	15	18	24	25	28
Tetrahydrofurano													
Local de amostragem	1	10,2	7,59	9,55	5,06	4,56	3,83	4,73			10,3	4,77	
	2	10,6	10,2	11,4	6,43		4,75	4,27	3,46	3,13	6,45	4,20	3,78
	3	9,83	11,8	9,30		5,60	4,36		3,86				
	4	9,48		6,25	5,22	6,39	4,59	6,22					5,59
Média		10,0	9,85	9,12	5,57	5,52	4,38	5,08	3,66	3,13	8,39	4,49	4,68
Tolueno													
Local de amostragem	1	8,53	7,64	3,48	1,07	3,63	0,342	0,764			3,36	8,26	
	2	5,07	4,30	3,32	1,03		0,506	5,01	10,8	2,97	5,28	13,6	2,61
	3	4,21	9,47	4,37		3,26	2,41		0,924				
	4	7,39		3,78	1,87	4,41	4,00	3,03					5,53
Média		6,30	7,13	3,74	1,32	3,77	1,82	2,94	5,87	2,97	4,32	10,9	4,07
m/p-Xileno													
Local de amostragem	1	4,90	5,47	3,37	1,27	3,41	2,22	2,41			3,68	6,82	
	2	2,90	2,94	3,09	1,26		0,548	6,19	5,30	1,99	7,08	6,48	2,38
	3	2,53	7,26	3,69		3,73	2,03		1,37				
	4	4,62		3,66	3,04	4,46	2,60	2,85					4,86
Média		3,74	5,22	3,45	1,86	3,86	1,85	3,82	3,33	1,99	5,38	6,65	3,62
2-Etiltolueno													
Local de amostragem	1	2,08	1,53	2,15	1,01	1,43	1,24	1,10			0,963	1,33	
	2	2,05	1,84	1,72	1,29		1,39	1,93	1,82		1,51	1,10	1,35
	3	1,96	3,01	1,70		1,49	1,02		1,25				
	4	2,07			0,949	1,84	1,08	1,56					1,97
Média		2,04	2,12	1,39	1,08	1,59	1,18	1,53	1,53		1,24	1,22	1,66
1,2,3-Trimetilbenzeno													
Local de amostragem	1	1,32		1,64		0,818	1,07				1,48	1,95	
	2						1,23	1,89	1,77	1,47	2,18	0,583	
	3		3,03				0,974		0,802				
	4	1,96		2,40	0,513	1,06	0,615	1,57					
Média		0,819	1,01	1,01	0,171	0,625	0,973	1,16	1,28	1,47	1,83	1,26	
1,3,5-Trimetilbenzeno													
Local de amostragem	1	1,20	0,962	1,27	0,663	0,679	0,899	0,738			0,743	1,29	
	2	1,13	0,933	0,950	0,826		1,04	1,26	1,40	0,992	1,06	1,15	0,869
	3	1,07	1,82	1,59		0,929	0,702		0,800				
	4	1,16		1,38	0,699	0,842	0,649	0,858					1,25
Média		1,14	1,24	1,30	0,729	0,817	0,821	0,953	1,10	0,992	0,902	1,22	1,06
1,2,4-Trimetilbenzeno													
Local de amostragem	1	4,08	3,03	3,61	1,65	2,47	2,23	1,75			2,09	3,29	
	2	3,56	2,61	2,88	1,77		2,51	4,40	4,55	2,71	3,13	3,82	2,46
	3	2,98	5,34	3,62		1,82	1,56		1,97				
	4	3,83		3,41	1,95	1,95	1,77	2,44					3,38
Média		3,61	3,66	3,38	1,79	2,08	2,02	2,86	3,26	2,71	2,81	3,55	2,92
2-Butoxietanol													
Local de amostragem	1	62,8	2,76	2,82									
	2	119	2,31	6,89	4,44				2,83			0,848	3,78
	3	102	10,2	6,31									
	4	64,1		4,13	1,28								0,926
Média		87,0	5,08	5,04	1,91				1,41			0,424	2,35
Fenol													
Local de amostragem	1	21,5	20,9	21,5	14,3	8,71	9,62	6,55			2,88	4,37	
	2	32,5	25,2	25,3	12,7		9,81	8,51	8,64	10,1	3,93	0,645	9,52
	3	26,9	33,0	25,1		10,7	8,76		6,34				
	4	24,2		25,1	10,2	4,27	9,12	7,04					15,3
Média		26,3	26,4	24,2	12,4	7,90	9,33	7,37	7,49	10,1	3,41	2,51	12,4
1-Metil-2-pirrolidinona													
Local de amostragem	1	12,6	12,1	13,1	8,35	7,45	8,49	5,90				5,99	
	2	20,4	15,2	13,9			8,11	7,01	9,75	5,16		12,4	10,0
	3	16,1	18,8	16,8		8,29	7,50		8,82				
	4	12,3		15,0	4,56	4,10	8,17	6,74					13,3
Média		15,4	15,4	14,7	4,30	6,61	8,07	6,55	9,29	5,16		9,19	11,6
Benzoato de 1-metoxietanol													
Local de amostragem	1	1,31	1,24	0,864	0,748	0,364							
	2	2,37	1,35	1,18	0,659								0,250
	3	1,47	1,93	1,17									
	4	1,23		1,06									0,441
Média		1,59	1,51	1,07	0,469	0,121							0,345
COVsT identificado													
Local de amostragem	1	137	64,2	63,3	34,4	33,5	30,0	23,9			25,5	38,1	
	2	200	66,9	70,6	30,4		29,9	40,5	50,3	28,5	30,6	44,8	37,3
	3	169	106	73,6		35,8	29,3		26,1				
	4	132		66,2	30,3	29,3	32,6	32,3					52,5

* Apresentados por ordem crescente do ponto de ebulição.

** Sobre a localização dos pontos ver 2.2.2.

3.5.2- Efeito da aplicação do verniz “W1000”

36 dias após a colocação do revestimento PM03 Cherry, este foi envernizado com “W1000”. Os resultados da monitorização da atmosfera da sala nos 28 dias seguintes encontram-se na tabela 3.10.

Tabela 3.10. Concentrações ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dos COVs* e COVsT encontrados na sala após a aplicação do “W1000”**.

Tempo de exposição (dia)		1	2	3	8	10	17	22	24	28
Tetrahydrofurano										
Local de amostragem	1	5,76	4,41		3,05		1,49		1,54	
	2	3,65	4,10				1,75			
	3	8,96	3,60	6,36	4,65	2,03	3,83	4,86	5,54	3,91
	4	6,14	4,67		3,95			4,62		3,03
Média		6,12	4,19	6,36	2,91	0,68	2,36	2,37	2,36	1,73
1-Metoxi-2-propanol										
Local de amostragem	1	144	55,4		20,0	17,2	15,6	32,2	14,2	14,4
	2	104	54,5		14,8	13,0	16,1	43,4	18,6	11,5
	3	176	77,5	73,5	22,7	10,6	22,4	44,3	18,6	15,0
	4	135	48,6		21,6			55,5		20,4
Média		140	59,0	73,5	19,8	13,6	18,1	43,9	17,1	15,3
2-Etiltolueno										
Local de amostragem	1	1,45	1,33		1,32	1,14	1,11	1,14	1,71	2,16
	2	0,976	1,25		1,21	1,21	1,03	1,29	1,43	2,17
	3	2,21	1,93	2,56	1,88	1,15	1,42	1,96	3,06	1,82
	4	2,12	1,39		1,89			1,67		1,54
Média		1,69	1,48	2,56	1,58	1,16	1,19	1,51	2,07	1,93
1,2,3-Trimetilbenzeno										
Local de amostragem	1	1,76			1,11			1,17	1,58	1,96
	2		1,21					1,49		
	3	2,33	1,88	2,32			2,04	4,68	3,09	1,54
	4	2,01	1,44		2,11					
Média		1,53	1,13	2,32	0,806		0,682	1,84	1,56	0,875
1,3,5-Trimetilbenzeno										
Local de amostragem	1	1,08	0,941		0,861		0,732	0,647	1,23	1,30
	2		0,909			0,743	0,705		0,758	0,860
	3	1,07	1,43	1,58	1,28	0,836	0,864	1,08	2,18	1,07
	4	1,50	0,859		1,10			1,26		1,03
Média		0,912	1,03	1,58	0,809	0,526	0,767	0,746	1,39	1,06
1,2,4-Trimetilbenzeno										
Local de amostragem	1	2,34	2,64		3,01	1,85	1,80	1,58	3,23	3,37
	2	1,48	2,03		2,46	2,73	1,83	1,79	2,37	2,70
	3	3,88	3,85	5,17	3,56	2,10	2,38	3,13	5,45	3,56
	4	3,24	2,00		3,47			2,71		2,28
Média		2,74	2,63	5,17	3,13	2,22	2,00	2,31	3,68	2,98
Fenol										
Local de amostragem	1	12,2	5,34		4,73	4,71	4,50	9,02	8,13	8,27
	2	10,6	7,63		4,57	6,09	4,47	9,52	9,54	9,10
	3	21,6	7,89	10,1	12,0	6,22	6,14	11,0	18,4	11,0
	4	19,7	4,67		10,9			18,4		8,68
Média		16,0	6,39	10,1	8,04	5,68	5,04	12,0	12,0	9,26
1-Metil-2-pirrolidinona										
Local de amostragem	1	229	80,2		19,3	18,3	13,2	40,0	24,0	12,9
	2	220	68,6		15,2	19,8	13,3	42,3	26,1	13,0
	3	420	71,3	82,5	27,4	10,4	14,8	58,1	33,3	13,4
	4	294	64,6		23,6			55,3		12,9
Média		291	71,2	82,5	21,4	16,2	13,7	48,9	27,8	13,1
COVsT identificado										
Local de amostragem	1	398	150		53,4	43,3	38,4	85,8	55,7	44,4
	2	340	140		38,2	43,5	39,2	99,8	58,8	39,3
	3	636	169	184	73,4	33,3	53,9	129	89,6	51,3
	4	464	128		68,7			139		49,9
Média		460	147	184	58,4	40,0	43,8	114	68,0	46,2

* Apresentados por ordem crescente do ponto de ebulição.

** Os COVs encontrados pela primeira vez em concentrações apreciáveis após a aplicação do verniz estão em negrito.

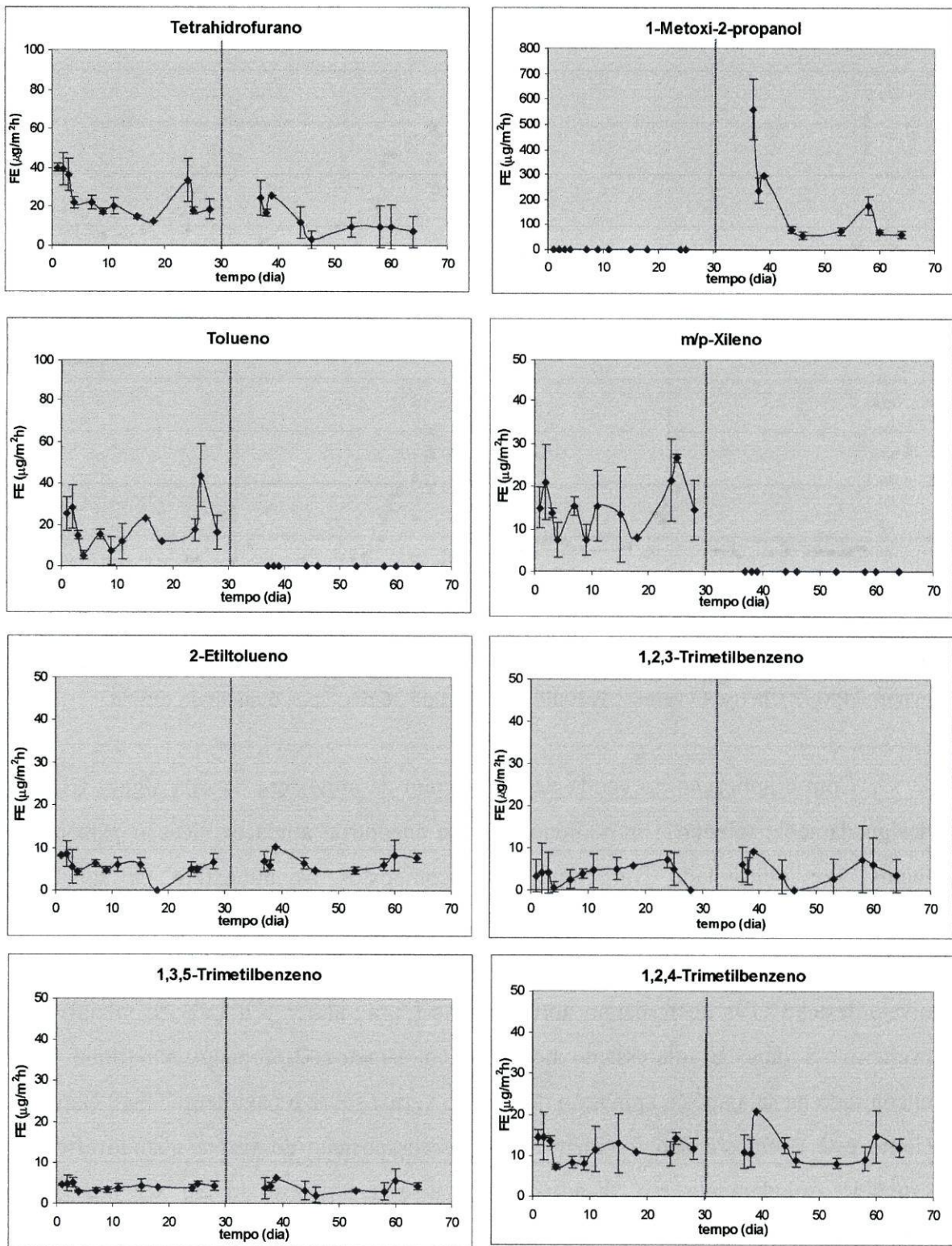


Figura 3.7. Valores médios e respectivos desvios padrão (n= 4) dos factores de emissão dos COVs determinados na atmosfera da sala durante todo o período de estudo relativo ao material PM₃ Cherry. O verniz “W1000” foi aplicado 36 dias após o início do estudo.

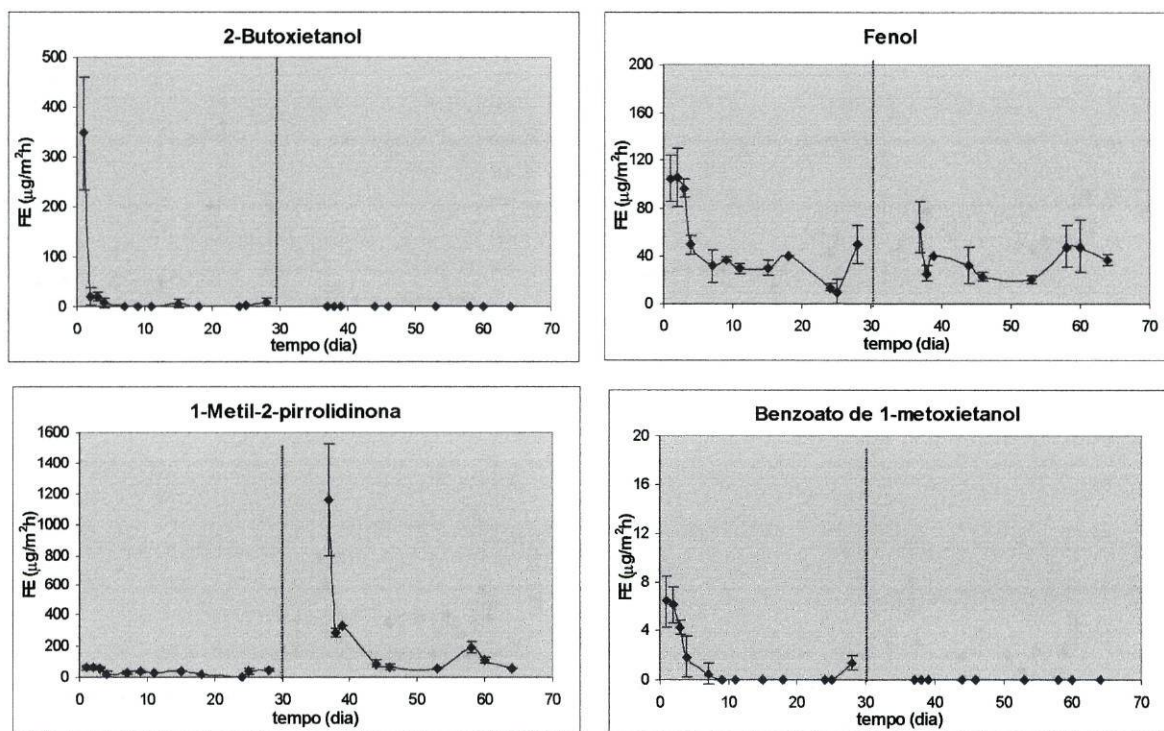


Figura 3.7.(cont.) Valores médios e respectivos desvios padrão ($n=4$) dos factores de emissão dos COVs determinados na atmosfera da sala durante todo o período de estudo relativo ao material PM03 Cherry. O verniz “W1000” foi aplicado 36 dias após o início do estudo.

Com a aplicação do verniz desapareceram da atmosfera da sala alguns COVs, designadamente tolueno e m/p-xileno. Não se encontrou ainda explicação para estes factos. Por outro lado, surgiram novos compostos na atmosfera da sala em concentrações relativamente elevadas quando comparadas com as encontradas para o revestimento PM03 Cherry: 1-metoxi-2-propanol e 1-metil-2-pirrolidinona. Porém, os níveis destes COVs decresceram abruptamente (para valores 8 a 15% do inicial) nos primeiros 8 dias. É interessante notar que o 1-metoxi-2-propanol não tinha sido encontrado na sala após a aplicação do mesmo verniz sobre o pavimento CS10 Natural. Como este composto não foi identificado na composição do verniz quando este foi estudado isoladamente em “head-space” põe-se a hipótese de ele ser um COV secundário formado na sala.

3.6- AVALIAÇÃO COMPARATIVA DA INFLUÊNCIA DOS DIVERSOS MATERIAIS DE REVESTIMENTO DE PAVIMENTOS NA QAI

Na tabela 3.11 apresenta-se os valores de concentrações ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dos principais COVs encontrados na atmosfera da sala na presença dos quatro materiais de revestimento estudados. Uma análise da tabela mostra que, o material que mais afectou a QAI na sala foi o NJ01 Rome envernizado com verniz W2000. Dos restantes materiais, antes do envernizamento (quando existiu), o que mais afectou a QAI na sala foi o PT03 Cherry. De notar, porém, que para tal contribuiu marcadamente o facto da taxa de renovação do ar na sala ter sido muito mais baixa para o PT03 Cherry, 0,21 rph, do que para os restantes três materiais, entre 1,2 e 1,3 rph. Portanto, a influência de materiais de construção na QAI depende marcadamente da ventilação do espaço interior. As taxas de ventilação baixas, que são vulgares nos novos edifícios, contribuem bastante para a permanência de COVs nos ambientes e para o aparecimento de sintomas de mal estar nos ocupantes desses espaços.

Comparando os três materiais que foram estudados à mesma taxa de ventilação, pode concluir-se que o PM03 Cherry foi o que menos prejudicou a QAI.

O verniz “W1000” foi aplicado no revestimento CS10 Natural e no PM03 Cherry. Impõe-se pois comparar as alterações observadas na atmosfera da sala após o envernizamento nos dois casos. Ora, uma análise da tabela 3.11 mostra o seguinte: o número de compostos novos presentes na atmosfera da sala 24 h após o envernizamento foi muito maior no caso do CS10 Natural. Concretamente, no caso do PM03 Cherry não se encontraram concentrações relativamente elevadas (a merecer quantificação) de 4-etilmorfolina, 2-butoxietanol e 2-butoxietilacetato. Porém, para CS10 Natural as concentrações destes COVs foram bastante elevadas nos primeiros dias de exposição. Para o único COV proveniente do verniz que foi encontrado na sala após envernizamento dos dois materiais referidos, 1-metil-2-pirrolidinona, a sua concentração foi mais de dez vezes superior no caso do CS10 Natural. Estes resultados sugerem que os fenómenos de adsorção ocorreram em extensão muito diferente nas duas situações. Os dois revestimentos estavam recobertos por uma camada de PVC, a que se seguia cortiça, no caso do CS10 Natural, e uma folha de madeira, no caso do PM03 Cherry. Provavelmente não terá sido o revestimento do pavimento o responsável

pela disparidade dos resultados. Uma diferença importante nestes dois estudos residiu no facto de aquando da colocação do PM03 Cherry as estantes com livros terem sido retiradas da sala. Põe-se então a hipótese das estantes com livros terem sido as responsáveis pela permanência na sala de quantidades apreciáveis de COVs durante os primeiros dias que se seguiram à aplicação do verniz sobre o CS10 Natural, actuando como adsorventes numa fase inicial, seguida de desadsorção. A presença de 1-metoxi-2-propanol apenas no caso do PM03 Cherry não é compatível com esta justificação e poderá ser um COV secundário formado na sala. Este aspecto merece investigação futura.

Para se poder fazer uma comparação da influência dos quatro materiais em condições de ventilação idênticas, calcularam-se os factores de emissão dos diferentes COVs para uma taxa de renovação do ar de 0,75 rph (correspondendo a um caudal de ar novo de 30 m³/h.pessoa e considerando uma presença média de duas pessoas na sala). A partir dos factores de emissão calcularam-se valores de concentração padronizados que são apresentados na tabela 3.12. Com base nesta estimativa é possível comparar a qualidade “ecológica” dos diversos materiais estudados.

Tabela 3.11. Concentrações ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dos COVs encontrados na sala após aplicação de quatro materiais de revestimento diferentes.

Tempo de exposição Material	24 h				3 dia			
	PT03	CS10	NJ01	PM03	PT03	CS10	NJ01*	PM03
	s/ verniz	c/ verniz#	s/ verniz	c/ verniz#	s/ verniz	c/ verniz#	s/ verniz	c/ verniz#
Tetrahydrofurano	509	400	55,8	10,0	687	249	48,3	9,12
1-Metoxi-2-propanol								6,36
4-Etilmorfolina			494	74,4			181	73,5
1,2,3-Trimetilbenzeno	8,95	4,19	12,8	0,819	12,0	3,24	5,60	1,01
2-Butoxietanol	21,2	42,6	709	239	24,2	38,6	198	2,32
Fenol			12,8	26,3			14,9	10,1
2-Butoxiacetato			334	453			69,4	
1-Metil-2-pirrolidiona			$3,70 \times 10^3$	$5,46 \times 10^3$			735	$2,06 \times 10^3$
Benzoato de 1-metoxietanol	3,36	4,17		1,59	1,91	2,23		1,07
COVs T identificado	564	451	$5,31 \times 10^3$	$6,29 \times 10^3$	754	293	$1,25 \times 10^3$	$2,06 \times 10^3$

Tempo de exposição Material	15 dia				28 dia			
	PT03	CS10	NJ01***	PM03	PT03	CS10	NJ01	PM03
	s/ verniz	c/ verniz#	s/ verniz	c/ verniz#	s/ verniz	c/ verniz#	s/ verniz	c/ verniz#
Tetrahydrofurano	384	149	33,6	3,66	213	77,1	22,7	4,68
1-Metoxi-2-propanol								1,73
4-Etilmorfolina			10,1	1,28			3,39	15,3
1,2,3-Trimetilbenzeno	10,4	3,85	4,28	7,49	7,82	3,08	2,86	0,875
2-Butoxietanol	37,3	26,0	23,6	27,0	38,2	15,8	30,6	24,5
Fenol			16,6	7,49			10,6	12,4
2-Butoxiacetato			9,32	30,4			10,7	9,26
1-Metil-2-pirrolidiona			65,2	248			48,9	13,1
Benzoato de 1-metoxietanol	2,59	1,98		38,2	2,35	1,53		0,345
COVs T identificado	467	181	163	308	291	96,6	126	44,9

- tempo de amostragem contado a partir da aplicação do verniz, * - valor medido ao 4º dia; ** - valor medido ao 16º dia; *** - valor medido ao 17º dia. Os espaços em branco indicam que o composto ou não foi detectado ou apresentava concentração relativamente baixa e não foi quantificado.

Tabela 3.12. Concentrações ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dos COV's, esperadas na sala para uma taxa de ventilação ideal (caudal de ar novo de $30\text{m}^3/\text{h}$. pessoa).

Tempo de exposição	24 h						3 dia						
	PT03	CS10	NJ01		PM03		PT03	CS10	NJ01*		PM03		
Material		s/ verniz	c/ verniz#	s/ verniz	c/ verniz#	s/ verniz	c/ verniz#	s/ verniz	c/ verniz#	s/ verniz	c/ verniz#	s/ verniz	c/ verniz#
Tetrahydrofurano	143	688	96,1		17,0	10,4		193	428	83,2		15,4	10,8
1-Metoxi-2-propanol						237							125
4-Etilmorfolina			850	118				3,37	5,59	312	29,2		
1,2,3-Trimetilbenzeno	2,51	7,22	22,1		6,12	2,58				9,64		5,72	3,92
2-Butoxietanol			$1,22 \times 10^3$	380				6,77	66,4	342	160		
Fenol	5,94	73,3	22,1	720	44,5	27,1				25,6	247		17,1
2-Butoxiacetato			575							119			
1-Metil-2-pirrolidiona			$6,36 \times 10^3$	$8,67 \times 10^3$	2,70	492		0,536	3,85	$1,27 \times 10^3$	$3,28 \times 10^3$	1,81	140
Benzoato de 1-metoxietanol	0,942	7,17			270	778		211	504	$2,16 \times 10^3$	$3,75 \times 10^3$	116	312
COV's T identificado	158	776	$9,15 \times 10^3$	$9,99 \times 10^3$									

Tempo de exposição	15 dia						28 dia						
	PT03	CS10	NJ01***		PM03		PT03	CS10	NJ01		PM03		
Material		s/ verniz	c/ verniz#	s/ verniz	c/ verniz#	s/ verniz	c/ verniz#	s/ verniz	c/ verniz#	s/ verniz	c/ verniz#	s/ verniz	c/ verniz#
Tetrahydrofurano	108	257	57,8		6,20	3,99		59,7	133	39,1		7,93	2,94
1-Metoxi-2-propanol						30,6							25,9
4-Etilmorfolina			17,4					2,19	5,31	4,93	5,38		
1,2,3-Trimetilbenzeno	2,92	6,63	7,37		5,52	1,15				52,7	38,9	4,94	1,48
2-Butoxietanol			40,7	42,9				10,7	27,3	18,3		21,0	15,7
Fenol	10,5	44,7	28,6		12,7	8,53				18,4	43,5		
2-Butoxiacetato			16,1	48,3		23,3				84,2	433		22,1
1-Metil-2-pirrolidiona			112	394				0,660	2,63			0,585	
Benzoato de 1-metoxietanol	0,725	3,40			64,7	74,2		81,5	166	218	550	76,0	78,3
COV's T identificado	131	312	280	490									

- tempo de amostragem contado a partir da aplicação do verniz, * - valor medido ao 4º dia; ** - valor medido ao 16º dia; *** - valor medido ao 17º dia. Os espaços em branco indicam que o composto ou não foi detectado ou apresentava concentração relativamente baixa e não foi quantificado.

A tabela 3.12 evidencia que o material NJ01 Rome envernizado com verniz W2000 é, sem dúvida, o que mais afecta a QAI. Dos materiais sem verniz, o CS10 Natural é o que emite a maior quantidade de COVs, embora seja também aquele em que o decréscimo dessas emissões ao longo do tempo é mais acentuado.

Nestas condições padronizadas quanto à ventilação, o material que inicialmente originou um valor de COVsT mais baixo foi o PT03 Cherry. Porém, o que apresentou ao fim de 28 dias o valor mais baixo, foi o PM03 Cherry. Mas recorda-se que a sala tinha estantes em todos os casos menos na presença de PM03, o que limita o alcance destas comparações. Parece no entanto legítimo afirmar que os revestimentos PT03 e PM03 Cherry foram os que apresentaram emissões mais baixas, sendo por isso os mais recomendáveis em termos ecológicos.

De notar que a concentração de 1,2,3-trimetilbenzeno se manteve aproximadamente constante ao longo de todo o tempo de monitorização, para todos os materiais, e foi ligeiramente superior nos estudos em que houve uma taxa de renovação do ar mais elevada. Este resultado indica que este COV constitui uma contaminação da atmosfera exterior.

Uma outra conclusão é que 28 dias após a aplicação dos materiais a presença na sala de COVs originários dos mesmos era ainda notória, embora a QAI fosse já muito superior à inicial.

3.7- COMPARAÇÃO DA QAI NA SALA COM A DE OUTRAS ATMOSFERAS INTERIORES

Considerando individualmente os COVs presentes na atmosfera da sala em concentrações mais elevadas, a tabela 3.11 mostra que, nas condições em que foi realizado o estudo, os valores foram normalmente inferiores a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para todos os compostos em todos os materiais. Constituem excepção tetrahydrofurano, que foi um pouco superior na presença de CS10 Natural, $77 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e bastante superior na presença de PT03 Cherry, $213 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (que foi estudado a uma taxa de renovação de ar de apenas 0,21 rph), e 1-metil-2-pirrolidina, $272 \mu\text{g}/\text{m}^3$, na presença de NJ01 Rome.

Os valores de COVsT na sala no final do estudo de cada material, incluindo processos de tratamento, limpeza e envernizamento, situaram-se entre 46 – 346 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sendo da mesma ordem de grandeza dos observados em estudos anteriores em atmosferas interiores. Existem na literatura diversos estudos da QAI quanto a COVs. Foram monitorizadas atmosferas de escritórios e residências, e as concentrações de COVs variam muito conforme o espaço estudado (Daisey et al., 1994; Otson et al., 1994; Kostianen, 1995; Baek et al., 1997; Brickus et al., 1998). Por exemplo, em edifícios de escritórios finlandeses, valores típicos de COVsT situaram-se no intervalo de 50-1300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (NKB, 1991) que eram duas a dez vezes superiores a valores típicos presentes no respectivo ar exterior. Os valores encontrados no presente trabalho enquadram-se neste intervalo. Skov et al. (1987) determinou COVsT em catorze edifícios de escritórios dinamarqueses e encontrou valores variáveis entre 430-2630 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, portanto mais elevados do que os observados neste estudo e no finlandês (NKB 1991). Em escritórios na Suécia os COVsT variaram entre 3-740 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Sundell, 1993), mais baixos do que nos estudos referidos anteriormente. Também na Suécia, numa biblioteca (Berglund et al., 1989; Lundin, 1991) foram observados valores de 51-362 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Norback et al. estudaram onze residências suecas e encontraram valores de COVsT de 50-1380 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Norback et al., 1990a). Em escolas, os mesmos autores, encontraram apenas 70-180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Norback et al., 1990b). Num estudo em quatro bibliotecas da Universidade de Modena e Reggio Emilia, no norte de Itália (Righi et al., 2002), os valores de COVsT situaram-se no intervalo 203–749 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Num estudo britânico em 179 residências (Brown and Crump, 1996) os valores de COVsT médios observados estavam no intervalo 200-500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Valores da mesma ordem de grandeza foram registados em estudos na Dinamarca (Wolkoff et al., 1991), na Alemanha (Adlkofer et al., 1993) e nos Estados Unidos (Hartwell, 1987).

Em resumo, uma comparação dos resultados da literatura com os obtidos neste trabalho permite concluir que os níveis de COVsT na sala, um mês após a colocação dos diversos pavimentos novos, foram semelhantes ou mesmo inferiores aos encontrados em bibliotecas na Suécia e mais baixos do que os que têm sido encontrados noutras bibliotecas, residências e escritórios de vários países.

Porém, alguns dos compostos encontrados na sala têm limiares de odor, OTs, relativamente baixos (ver tabela 1.4), podendo causar impacto nas pessoas expostas, mesmo aos níveis a que foram observados. Por exemplo para 2-butoxietanol o OT é de $5,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, concentração bastante inferior à observada na sala mesmo um mês após a aplicação do verniz nos pavimentos CS10 Natural e NJ01 Rome. Assim, os valores de concentrações de COVs observados na sala, ainda que bastante inferiores aos limites máximos recomendados por algumas organizações, como por exemplo a ECA (1997), poderão ser suficientes para gerar queixas da QAI e mesmo sintomas de SBS nas pessoas expostas (Wolkoff et al., 1991; Norbäck et al., 1995; Jones, 1999).

3.8- COMPARAÇÃO DA QAI OBSERVADA NA SALA E AVALIADA NUMA CÂMARA DE TESTE

Câmaras de teste com condições experimentais padronizadas têm sido muito usadas no estudo das emissões de COVs por parte de materiais usados no acabamento de edifícios. Do ponto de vista operacional, esta metodologia tem muitas vantagens: (1) fornece resultados padronizados que, por isso, podem ser comparados com outros obtidos em diferentes laboratórios a nível internacional; (2) é muito mais fácil de realizar e mais económica; (3) não está sujeita a interferências (emissões e/ou adsorções) por parte de outros materiais instalados no mesmo espaço interior. No entanto, por outro lado, os estudos em câmara de teste poderão ter a desvantagem de não fornecer resultados realistas.

Os estudos comparativos de resultados obtidos em salas reais e câmaras de teste que foram publicados são ainda muito escassos e inconclusivos. Por isso, neste trabalho, procurou-se também avaliar comparativamente a informação fornecida pela câmara de teste para os revestimentos de pavimento com os resultados obtidos na sala onde os revestimentos de pavimento estavam aplicados. De notar que a sala dispunha de paredes e tecto de cimento pintados e para três dos quatro materiais estudados (os três primeiros) existiam na sala móveis estantes, com uma área de ca. 26 m^2 , em aglomerado de madeira revestido a madeira de carvalho envernizada, que estavam parcialmente ocupados com livros e revistas. Em contraste, a câmara de teste era construída em material inerte (aço e vidro), tinha sido meticulosamente limpa e só continha uma placa

(0,18 m²) do revestimento do pavimento a estudar. A taxa de ventilação na câmara foi sempre ca. 0,85 rph.

Para os materiais PT03 Cherry e PM03 Cherry, apenas foi possível comparar resultados para 3 e 28 dias de exposição, únicos dados obtidos na câmara (tabela 3.13). Para o CS10 Natural e para o NJ01 Rome envernizado com “W2000” a monitorização em câmara de teste foi regular ao longo de vinte e oito dias. Para o último destes materiais, problemas logísticos levaram a que as amostragens de ar não fossem feitas após períodos de exposição rigorosamente coincidentes nas duas situações (sala e câmara), pelo que os resultados são representados na forma gráfica (figura 3.8). Porém, na tabela 3.13 incluíram-se também os resultados para estes materiais, para comparação.

Uma análise da tabela mostra o seguinte. Para o revestimento PT03 Cherry (que quando foi estudado na sala esta tinha uma taxa de renovação de ar reduzida, 0,21 rph) os valores dos factores de emissão de tetrahydrofurano (e de COVsT em consequência disso) foram significativamente mais elevados na sala, mas para os outros COVs e particularmente para fenol foram superiores na câmara. As diferenças foram mais marcadas após três dias de exposição, mas ainda eram importantes após vinte e oito dias. Para os outros revestimentos observou-se as mesmas tendências mas as diferenças só foram muito extensas para tetrahydrofurano. Comportamento semelhante ao tetrahydrofurano foi observado para 2-butoxietanol no revestimento NJ01 Rome envernizado com “W2000”.

O tetrahydrofurano é emitido fundamentalmente através das juntas entre as placas do material. Como na câmara as juntas são previamente seladas, para se medir só as emissões da superfície do material, e na sala estariam expostas em alguma extensão, os níveis na sala foram superiores. Para 2-butoxietanol pode ter ocorrido algo semelhante.

Porém, para diversos COVs os valores obtidos nos dois ambientes foram praticamente coincidentes (ver tabela 3.13 e figura 3.8). Este é um resultado interessante, uma vez que a sala continha superfícies de naturezas diversas que podiam actuar como adsorventes/desadsorventes e participarem em reacções secundárias.

Tabela 3.13. Factores de emissão ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$) dos COVs específicos e COVsT encontrados na sala e em câmara contendo o mesmo revestimento.

Tempo de exposição	PT03 Cherry *				COVsT ident.	
	THF	Fenol	1,2,3-TMB	BME		
3 dias	câmara	19,6	283	11,7	5,40	320
	sala	510	18,0	8,93	1,42	539
28 dias	câmara	17,0	84,8	10,7	6,51	119
	sala	158	28,4	5,81	1,75	194
CS10 Natural **						
3 dias	câmara	74,8	191	14,1	4,99	284
	sala	$1,13 \times 10^3$	176	14,8	10,2	201
28 dias	câmara	48,8	88,6	14,3	6,31	158
	sala	352	72,2	14,1	7,00	445
NJ01 + W2000						
4 dias	câmara					
	sala					
28 dias	câmara					
	sala					
PM03 Cherry **, #						
3 dias	câmara	4,75	103	2,21	5,01	129
	sala	36,4	96,9	4,00	4,30	166
28 dias	câmara	3,38	3,79	53,8	1,85	76,5
	sala	18,7	6,60	49,5	4,20	92,1
Taxa de renovação de ar na sala: * 0,21 rph; ** 1,28 rph; # - A sala não continha estantes com documentação: n.d. - não detectado.						
THF- tetrahydrofurano, TMB- trimetilbenzeno, BME- benzoato de 1-metoxietanol, BE- butoxietanol, 1-M-2-P- 1-metil-2-pirrolidinona, BEA- butoxietilacetato.						

Merece também referência o facto das diferenças para tetrahydrofurano (o composto mais volátil) terem sido menores para PM03 Cherry (5 vezes maior na sala aos 28 dias) do que para CS10 Natural (6 vezes) e PT03 Cherry (8 vezes). Para esta situação poderá ter contribuído a remoção da sala das estantes durante o estudo do PM03 Cherry.

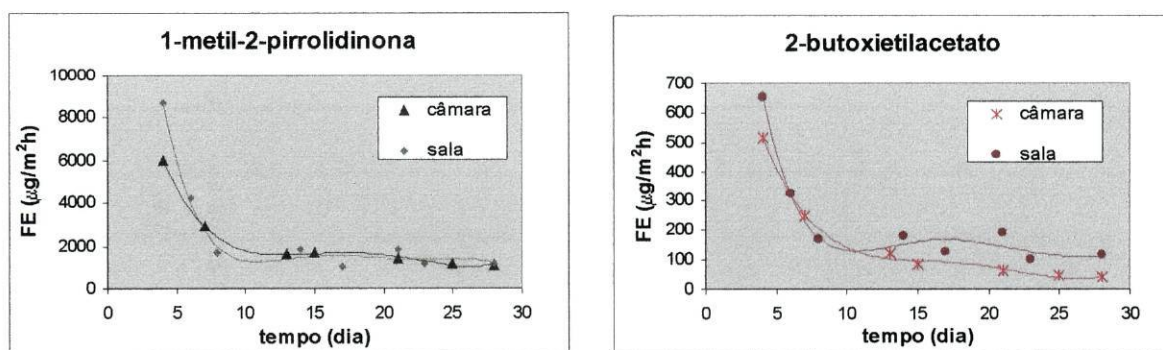


Figura 3.8. Comparação da variação, ao longo do tempo, dos factores de emissão ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$), obtidos em sala e em câmara, para dois dos compostos emitidos pelo material NJ01 Rome envernizado com W2000.

Na figura 3.9 apresenta-se o gráfico de correlação dos valores dos factores de emissão de COVs medidos em sala e na câmara de teste para o material CS10 Natural.

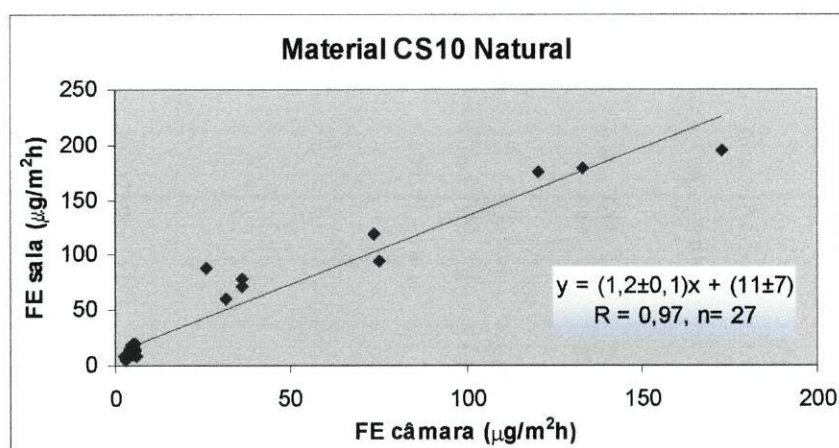


Figura 3.9. Correlação entre os factores de emissão ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$) obtidos em sala e em câmara para diferentes compostos (com excepção do tetrahydrofurano) emitidos pelo material CS10 Natural.

E na figura 3.10 apresenta-se o gráfico de correlação para COVs emitidos pelo conjunto dos quatro materiais estudados.

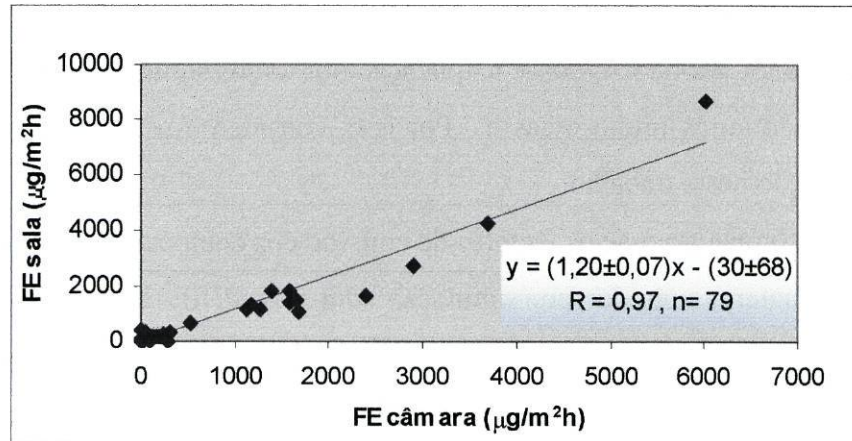


Figura 3.10. Correlação entre os factores de emissão ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$) obtidos em sala e em câmara para diferentes compostos (com excepção do tetrahydrofurano e do 2-butoxietanol) emitidos pelos quatro materiais estudados.

Quer no caso particular do CS10 Natural quer para a generalidade dos materiais observou-se uma correlação significativa e aproximadamente linear. A recta obtida no ajuste passa pela origem (o intervalo de confiança da ordenada na origem contém a ordenada nula), mas tem um declive significativamente superior à unidade, indicando que os níveis de COVs foram ligeiramente superiores na sala. A presença de materiais adsorventes na sala explicará estes resultados.

No entanto, estes resultados mostram que a câmara de teste fornece informações bastante semelhantes às obtidas numa sala real. Sendo um método muito mais simples e expedito e além disso padronizado, pode concluir-se que medições em câmara de teste são adequadas ao estudo da qualidade “ecológica” dos materiais de construção.

3.9- COMPARAÇÃO DE RESULTADOS REAIS COM OS SIMULADOS COM O PROGRAMA SOPHIE

No âmbito de um projecto europeu foi recentemente elaborado um programa/base de dados denominado SOPHIE (do inglês “Sources of Pollution for a Healthy and Comfortable Indoor Environment”), que entre muitas informações que fornece, permite

estimar as concentrações de COVs emitidas por um dado material quando colocado numa sala, a partir das características da sala (área de material exposto, volume da sala, ventilação, temperatura e humidade relativa) e dos factores de emissão dos diversos COVs obtidos em câmara de teste para esse material.

Os resultados publicados sobre a aplicação dos dados simulados pela SOPHIE a situações reais são ainda muito escassos. Por isso, considerou-se vantajoso fazer esse tipo de comparação neste trabalho.

Para tal, compararam-se os factores de emissão dos compostos emitidos por cada um dos quatro materiais obtidos por simulação com o SOPHIE, a partir dos dados da câmara de teste, com os realmente encontrados na sala. Dado que o programa SOPHIE está preparado para fazer a simulação utilizando apenas os valores obtidos nos testes efectuados em câmara para tempos de exposição de 3 e 28 dias, foram os valores de factores de emissão obtidos para esses períodos de exposição que foram utilizados nos cálculos. Constatou-se que, para tetrahydrofurano em todas as situações em que ele ocorreu (na presença de PT03 Cherry, CS10 Natural e PM03 Cherry) e para fenol apenas na presença de PT03 Cherry (embora o fenol também aparecesse na presença de CS10 Natural e PM03 Cherry), os valores simulados foram muito inferiores, no caso do tetrahydrofurano, e muito mais elevados no caso do fenol, do que os medidos na sala e a correlação não era significativa. No caso do tetrahydrofurano, como foi já referido, os níveis mais altos na sala do que na câmara (nos quais o SOPHIE baseia a simulação) resultarão do COV ser emitido pelas juntas, que estão seladas no material colocado na câmara. No caso do fenol na presença de PT03 Cherry não se encontrou uma justificação cabal para os resultados obtidos. Como a taxa de ventilação na sala foi muito mais baixa do que na câmara, põe-se a hipótese de os fenómenos de adsorção/desadsorção terem tido uma influência muito marcada, que não foi adequadamente compensada pelo programa SOPHIE.

Para o conjunto de todos os outros COVs observados na presença dos diferentes revestimentos de pavimento traçaram-se gráficos de correlação (figura 3.11).

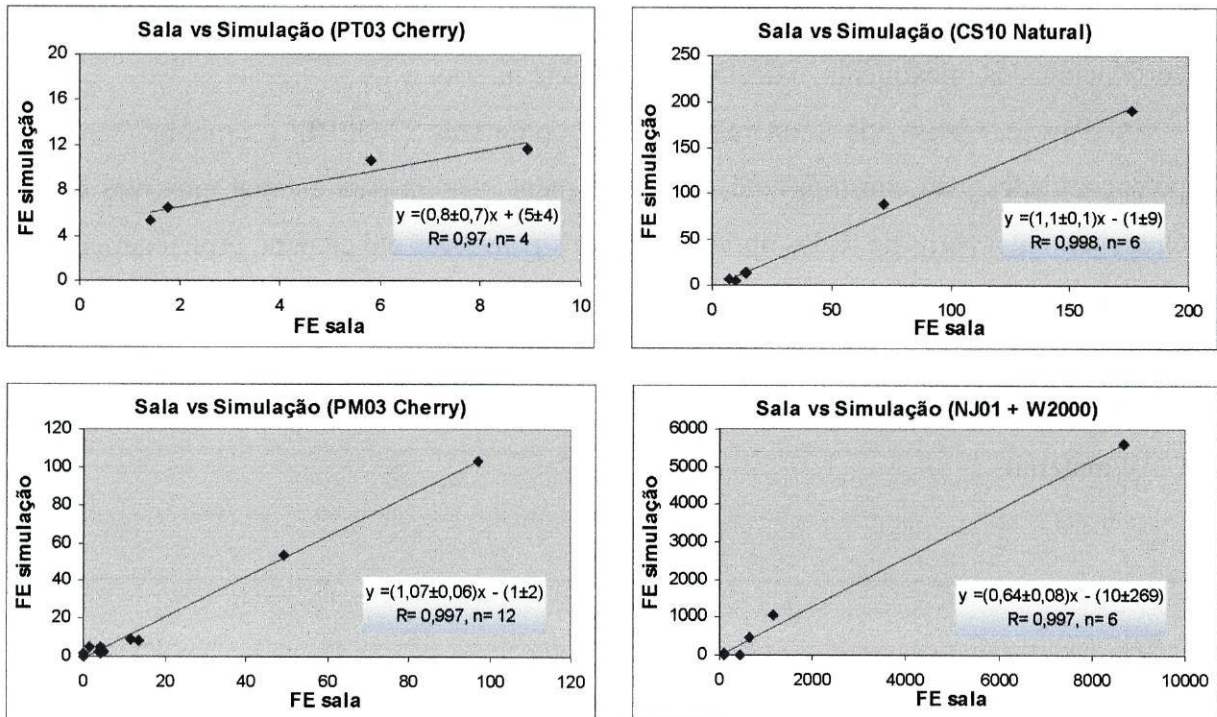


Figura 3.11. Correlação entre os factores de emissão ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$) obtidos por simulação com o programa SOPHIE e os obtidos na sala, para diferentes compostos (com excepção do tetrahydrofurano e no caso do PT03 Cherry também do fenol) emitidos pelos quatro materiais estudados.

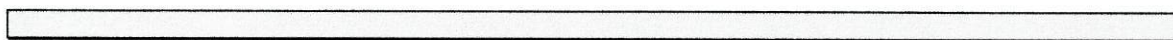
A figura 3.11 mostra que na presença dos materiais de revestimento CS10 Natural e PM03 Cherry os resultados obtidos por simulação e os reais foram praticamente coincidentes: a correlação foi linear com declive 1 e a passar pela origem. Porém, na presença de NJ01 Rome envernizado com W2000, a simulação conduziu a resultados irrealistas (mais baixos do que os medidos na sala). Na presença de PT03 Cherry a simulação também não foi muito eficaz (a precisão dos resultados foi muito baixa e não se utilizaram os dados do fenol além dos do tetrahydrofurano). Na origem destas diferenças poderão estar fenómenos de adsorção/desadsorção, que não foram devidamente compensados pelo programa SOPHIE.

No caso do PT03 Cherry, o facto da ventilação da sala ter sido muito mais reduzida do que a usada nos estudos em câmara poderá ter estado na origem das diferenças observadas, isto é o programa SOPHIE não conseguiu simular o ambiente real.

No caso do material NJ01 envernizado com W2000, a simulação conduziu a resultados consistentemente inferiores aos realmente obtidos em sala. Embora correlacionados linearmente, o declive foi bastante inferior a 1.

Parece, pois, de concluir que o programa SOPHIE, embora tenha potencialidades, não constitui ainda uma ferramenta segura para estimar emissões em ambiente real a partir de dados obtidos em testes realizados em câmara, principalmente quando se trata de materiais líquidos que poderão originar fenómenos de adsorção/desadsorção extensos. Tal resultará de não serem ainda conhecidos os comportamentos em termos de fenómenos de adsorção/desadsorção para muitos pares COV/material.

4. *CONCLUSÕES*



Neste trabalho avaliou-se a influência que tinha na qualidade do ar de uma sala a aplicação de quatro materiais de revestimento de pavimento. Para tal monitorizou-se a atmosfera da sala durante cerca de um mês após a aplicação de cada material e também após a aplicação sobre o mesmo de materiais de limpeza ou de restauro, incluindo vernizes.

Todos os materiais estudados foram produzidos pela empresa Amorim Revestimentos S.A., tratando-se portanto de materiais à base de cortiça mas com diferentes tipos de acabamentos e incorporando materiais diferentes.

O estudo foi realizado em condições de ventilação, temperatura e humidade relativa conhecidas. Para três dos quatro materiais estudados a taxa de ventilação foi aumentada de modo controlado por meio de um ventilador, que permitia a entrada de mais ar do exterior.

Constatou-se que a taxa de ventilação natural média da sala, 0,21 rph, era bastante baixa, mas vulgar em residências novas, contribuindo bastante para a permanência de COVs no ambiente interior. O estudo do material PT03 Cherry foi realizado à taxa de ventilação natural da sala, mas os restantes três materiais foram estudados a uma taxa de ventilação de cerca de 1 rph.

Os materiais PM03 Cherry e PT03 Cherry foram os que mostraram ter factores de emissão mais baixos, concentração total de COVs (COVsT) menor que $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no final do estudo (considerando uma taxa de ventilação de 0,75 rph), sendo por isso os mais recomendáveis em termos ecológicos, no conjunto dos quatro estudados, que incluía também o CS10 Natural e o NJ01 Rome envernizado com W2000.

Os materiais de limpeza e de tratamento dos pavimentos excepto envernizamento enriqueceram a atmosfera da sala com alguns novos COVs. Porém os níveis dos mesmos decaíam ao fim de pouco tempo, atingindo valores muito baixos ao fim de um período máximo de cerca de 10 dias.

Os valores de COVsT no final do estudo de cada material, incluindo os processos de tratamento a que foram sujeitos incluindo envernizamento, situaram-se

entre 46 e 346 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estes valores foram semelhantes ou mesmo inferiores aos encontrados em bibliotecas na Suécia e mais baixos do que os que têm sido encontrados noutras bibliotecas, residências e escritórios em vários países.

Em termos de COVs individuais, só muito raramente as concentrações excederam 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Foi o caso do tetrahidrofurano, na presença de CS10 Natural, 77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, e na de PT03 Cherry, 213 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (este material foi estudado a uma taxa de ventilação de apenas 0,21 rph), e 1-metil-2-pirrolidinona na presença de NJ01 Rome, 272 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. No entanto, constatou-se que um mês após a colocação dos materiais de revestimento a presença de COVs provenientes desses materiais era ainda notória, embora a QAI fosse muito superior à inicial.

A concentração de formaldeído na sala, 44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, foi superior, por exemplo, à observada em duas bibliotecas do Norte de Itália (14 e 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Righi et al., 2002), em habitações de diversos países ($< 22 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Lee et al., 2002) e em atmosferas exteriores. Porém, o formaldeído não provinha do pavimento mas das estantes com livros, de aglomerado de madeira revestido (já com 5 anos de existência). Por isso o nível de formaldeído foi considerado “de fundo” e não foi contabilizado nos valores de COVsT neste estudo.

Alguns dos compostos encontrados na sala têm limiares de odor, OTs, bastante baixos, podendo causar impacto nas pessoas expostas. Por exemplo, para 2-butoxietanol o limiar de odor é de 5,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, que é uma concentração bastante inferior à que foi observada na sala um mês após a aplicação do verniz nos pavimentos CS10 Natural e NJ01 Rome. Assim, as concentrações de COVs observadas na sala, embora tenham sido bastante inferiores aos limites máximos recomendados por algumas organizações, como a ECA (1997), poderão ser suficientes para gerar queixas da qualidade do ar interior e mesmo sintomas de SBS nas pessoas expostas.

Neste trabalho procurou-se também avaliar até que ponto seriam comparáveis os resultados obtidos em câmara de teste para materiais de revestimento de pavimento e os observados numa sala onde os mesmos tinham sido aplicados. Para tal, os quatro materiais foram também estudados em câmara de teste. Constatou-se que para tetrahidrofurano, um composto bastante volátil que foi emitido por todos os materiais excepto NJ01 Rome envernizado com W2000, e para 2-butoxietanol emitido por este

último, os valores foram bastante mais elevados na sala. Admite-se que estes compostos sejam emitidos fundamentalmente pelas juntas entre as placas do material e não pela superfície superior. Como nas placas colocadas na câmara de teste as juntas são previamente seladas e na sala pode ocorrer alguma exposição das mesmas, as emissões serão mais extensas na sala. Para os restantes COVs os resultados foram semelhantes na câmara e em sala. [$|\text{COVs}|_{\text{sala}} = (1,20 \pm 0,07) |\text{COVs}|_{\text{câmara}} - (30 \pm 68)$; $R = 0,97$, $n = 79$] Estes resultados mostram que as informações fornecidas pela câmara de teste não diferem muito das obtidas numa sala real. Sendo um método muito mais simples e expedito e além disso padronizado, a câmara de teste constitui uma metodologia adequada ao estudo da qualidade “ecológica” de materiais de construção.

Compararam-se também os factores de emissão dos compostos emitidos por cada um dos quatro materiais (excepto o tetrahidrofurano e no caso do PT03 Cherry também o fenol), obtidos por simulação com o programa SOPHIE a partir dos dados da câmara de teste, e os realmente encontrados na sala. Na presença dos materiais de revestimento CS10 Natural e PM03 Cherry os resultados obtidos por simulação e os reais foram praticamente coincidentes: a correlação foi linear com declive 1 e a passar pela origem. Porém, na presença de NJ01 Rome envernizado com W2000, a simulação conduziu a resultados irrealistas (mais baixos do que os medidos na sala). Na presença de PT03 Cherry a simulação também não foi muito eficaz. Na origem destas diferenças poderão estar fenómenos de adsorção/desadsorção, que não foram devidamente compensados pelo programa SOPHIE. Parece, pois, de concluir que o programa SOPHIE não constitui ainda uma ferramenta segura para estimar emissões em ambiente real a partir de dados obtidos em testes realizados em câmara, principalmente quando se trata de materiais líquidos que poderão originar fenómenos de adsorção/desadsorção extensos.

Bibliografia

Adlkofer, F., Angerer, J., Ruppert, T., Scherer, G., Tricker, A.R., 1993. Determination of benzene exposure from occupational and environmental sources. In: (Anon) Volatile Organic Compounds in the Environment. Indoor Air International, Rotherfleet, pp. 511-518.

American Society for Testing and Materials, 1997. Standard guide for small scale environmental chamber determinations of organic emissions from indoor materials/products. ASTM D5116. Philadelphia.

Anderson, I., Lundquist, G.R., Mølhave, L., 1975. Indoor air pollution due to chipboard used as a construction material. *Atmospheric Environment*, 9: 1121-1127.

ASHRAE, 1989. Standard 62, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, Atlanta, GA, American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers.

Baek, R.S., Kim, Y.S. and Perry, R., 1997. Indoor air quality in homes, offices and restaurants in Korean urban areas – indoor/outdoor relationships. *Atmospheric Environment*, 31 (4): 529-544.

Bardana, E.J., Montanaro, A., 1991. Formaldehyde: an analysis of its respiratory, cutaneous and immunologic effects. *Annals of Allergy*, 66 (6): 441-452.

Bascom, R., Kesevanathan, J., Swift, D.L., 1995. Human susceptibility to indoor contaminants. *Occupational Medicine*, 10 (1): 119-132.

Berglund, B., Johansson, I., Lindvall, T. and Lundin, L., 1989. Air quality and symptoms in a sick library building with a return-air ventilation system. In: Kulic, E., Todovoric, B., Norvak, P. (Eds.) CLIMA 2000, Amersfoort, REEHVA, Vol. III: Air Conditioning Components and Systems, 13-18.

Bernhard, C.A., Kirchner, S., Knutti, R. and Lagoudi, A., 1995. Volatile organic compounds in 56 European office buildings In: Maroni, M. (Ed.), Proceedings of Healthy Buildings '95, Milan, Vol. 3: 1347-1352.

Bowler, R.M., Mergler, D., Huel, G. and Cone, J.E., 1994. Aftermath of a chemical spill: psychological sequelae. *Neurotoxicology*, 15: 723-729.

Brickus, S.R.L., Cardoso, J.N., Neto, F.E.D.A., 1998. Distributions of indoor and outdoor air pollutants in Rio de Janeiro, Brazil: implications to indoor air quality in bayside offices. *Environmental Science and Technology*, 32: 3485-3490.

Brooks, B.O., Utter, G.M., DeBroy, J.A., Schimke, R.D., 1991. Indoor air pollution: an edifice complex. *Clinical Toxicology*, 29 (3): 315-374.

Brown, S.K., 1999. Occurrence of volatile organic compounds in indoor air. In: Salthammer, T. (Ed.), Organic Indoor Air Pollutants. Occurrence – Measurement – Evaluation. Wiley – VCH, Germany. (Chapter 3.1)

- Brown, V.M., Crump, D.R., 1996. Volatile organic compounds. In: Berry, R.W., Brown, V.M., Coward, S.K.D. et al. (Eds.), *Indoor Air Quality in Homes, the Building Research Establishment Indoor Environment Study, part 1*. Construction Research Communications, London.
- Burton, B.T., 1997. Volatile organic compounds. In: Bardana, E.J., Montanaro, A. (Eds.), *Indoor Air Pollution and Health*. Marcel Dekker, New York, pp. 127-153.
- CEN, 1998. Building products – determination of volatile organic compounds – Part 1: emission test chamber method, Part 2: emission cell method, Part 3: procedure for sampling, specimen preparation and preconditioning of materials and products. PrENV 13419.
- Colombo, A., De Bortoli, M., Knöppel, H., Pecchio, E. and Vissers, H., 1993. Adsorption of selected volatile organic compounds on a carpet, a wall coating and a gypsum board in a test chamber. *Indoor Air*, 3: 276-282 (Suppl.).
- Chang, J.C.S. and Guo, Z., 1992. Characterization of organic emissions from a wood finishing product – wood stain. *Indoor Air*, 2: 146-153.
- Chang, J.C.S., Tichenor, B.A., Guo, Z. and Krebs, K.A., 1997. Substrate effects on VOC emissions from latex paint. *Indoor Air*, 7 (4): 241-247.
- Clausen, G., Petjersen, J., Saarela, K., Tirkkonen, T., Tahtinen, M. and Dickson, D., 1998. European Data Base on Indoor Air Pollution Sources in Buildings. Protocol for testing of Building Materials. Version 1.1.
- Clausen, P.A., Wolkoff, P., Holst, E., Nielsen, P.A., 1991. Long term emission of volatile organic compounds from waterborne paints – methods of comparison. *Indoor Air*, 1: 562-576.
- D’Amato, G., Liccardi, G., D’Amato, M., 1994. Environment and the development of respiratory allergy. II: Indoors. *Monaldi Archive of Chest Disorders* 49(5): 412-420.
- Daisey, J.M., Hodgson, A.T., Fisk, W.J., Mendell, M.J. and Brinke, J.T., 1994. Volatile organic compounds in twelve California office buildings: classes, concentrations and sources. *Atmospheric Environment*, 28 (22): 3557-3562.
- Dunn, J.E. and Tichenor, B.A., 1988. Compensating for sink effects in emission test chambers by mathematical modelling. *Atmospheric Environment*, 22, S. 885-894.
- Eberlein-König, B., Przybilla, B., Kühnl, P., Pechak, J., Gebefügi, I., Klenschmidt, J., Ring, J., 1998. Influence of airborne nitrogen dioxide or formaldehyde on parameters of skin function and cellular activation in patients with atopic eczema and control subjects. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 101 (1): 141-143.
- ECA (European Collaborative Action “Indoor Air Quality and Its Impact on Man”), 1997. *Evaluation of VOC emissions from building products - Solid flooring materials*. Report Nr.18, EUR17334 EN. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

ECA (European Collaborative Action "Indoor Air Quality and Its Impact on Man"), 1991. *Guideline for the characterization of volatile organic compounds emitted from indoor materials and products using small test chambers*. Report Nr.8, EUR13593 EN. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

ECJRC (European Commission Joint Research Centre), 1997. Total volatile organic compounds (TVOC) in indoor air quality investigations. European Commission, Luxembourg.

Groes, L., Petjersen, J., Valbjørn, O., 1996. Perceptions and symptoms as a function of indoor environmental factors and building characteristics in office buildings. In: *Proceedings of the Sixth International Conference on Indoor Air Quality and Climate*. Vol. 4. Nagoya, Japão. pp. 237-242.

Grosjean, D., Williams, E.L., Seinfeld, J.H., 1992. Atmospheric oxidation of selected terpenes and related carbonyls: gas-phase carbonyl products. *Environmental Science and Technology*, 26 (8): 1526-1533.

Harrison, P.T.C., 1997. Health impacts of indoor air pollution. *Chemistry and Industry*, 17: 677-681.

Hartwell, T.D., Pellizzari, E.D., Perritt, R.L., 1987. Results from the Total Exposure Assessment Methodology (TEAM) study in selected communities in Northern and Southern California. *Atmospheric Environment*, 21: 1995-2004.

Hines, A.L., Ghosh, T.K., Loyalka, S.K., Warder, R.C. (Eds.) 1993. *Indoor Air – Quality and Control*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Holcomb, L.C. and Seabrook, B.S., 1995. Indoor concentrations of volatile organic compounds: implications for comfort, health and regulation. *Indoor Environment*, 4: 7-26.

Horvath, E.P., 1997. Building-related illness and sick building syndrome: from the specific to the vague. *Cleveland Clinical Journal of Medicine*, 64 (6): 303-309.

Jensen, B. and Wolkoff, P., 1996. VOCBASE- Odor Thresholds, Mucous Membrane Irritation Thresholds and Physico-Chemical Parameters, Copenhagen, National Institute of Occupational Health (PC program, version 2.1)

Jones, A.P., 1999. Indoor air quality and health. *Atmospheric Environment*, 33: 4535-4564.

Jørgensen, R.B. and Bjørseth, O., 1999a. Sorption behaviour of volatile organic compounds on material surfaces- the influence of combinations of compounds and materials compared to sorption of single compounds on single materials. *Environment International*, 25 (1): 17-27.

Jørgensen, R.B., Bjørseth, O., Malvik, B., 1995. Emission from wall paints – the influence of the wall material. In *Healthy Buildings '95*. Marco Maroni (Ed.). University of Milano and International Centre for Pesticide Safety, Milano, 2: 977-983.

Jørgensen, R.B., Bjørseth, O., Malvik, B., 1999b. Chamber testing of adsorption of volatile organic compounds (VOCs) on material surfaces. *Indoor Air*, 9: 2-9.

- Kim, Y.M., Harrad, S. and Harrison, R.M., 2001. Concentrations and sources of VOCs in urban domestic and public microenvironments. *Environ. Sci. Technol.*, 35 (6): 997-1004.
- Knasko, S.C., 1992. Ambient odor's effect on creativity, mood and perceived health. *Chemical Senses*, 17: 27-35.
- KoECK, M., Pichler-Semmelrock, F.P., Schlacher, R., 1997. Formaldehyde – study of indoor air pollution in Austria. *Central European Journal of Public Health*, 5 (3):127-130.
- Kostiainen, R., 1995. Volatile organic compounds in the indoor air of normal and sick houses. *Atmospheric Environment*, 29 (6): 693-702.
- Lagercrantz, L., Wistrand, M., Willén, U., Wargocki, P., Witterseh, T. and Sundell, J., 2000. Negative impact of air pollution on productivity: previous Danish findings repeated in new Swedish test room. Paper for *Healthy Buildings 2000*, Espoo, Finland, August 2000.
- Lahtinen, M., Huuhtanen, P., Reijula, K., 1998. Sick building syndrome and psychosocial factors – a literature review. *Indoor Air*, (Suppl 4), 71-80.
- Lee, S.C., Li, W.-M. and Ao, C.-H., 2002. Investigation of indoor air quality at residential homes in Hong-Kong – case study. *Atmospheric Environment*, 36: 225-237.
- Lindstrom, A.B., Proffitt, D. and Fortune, C.R., 1995. Effects of modified residential construction on indoor air quality. *Indoor Air*, 5: 258-269.
- Lundin, L., 1991. On building related causes of the sick building syndrome. Stockholm, Almqvist & Wiksell.
- Maroni, M., Seifert, B., Lindvall, T. (Eds.), 1995. *Indoor Air Quality – a Comprehensive Reference Book*. Elsevier, Amsterdam.
- Miksch, R.R., Anthon, D.W., Fanning, L.Z., Hollowell, C.D., Revzan, K. and Glanville, J., 1981. Modified pararosaniline method for the determination of formaldehyde in air. *Analytical Chemistry*, 53: 2118-2123.
- Miyake, Y., Nakagawa, M. and Asakura, Y., 1991. Effects of odors on humans (I): Effects on sleep latency, and (II): Reducing effects of mental stress and fatigue. *Chemical Senses*, 16: pp. 183.
- Mølhave, L., 1990. Volatile organic compounds, indoor air quality and health. In: Walkinshaw, D. (Ed.), *Proceedings of Indoor Air '90*. Ottawa, International Conference on Indoor Air Quality and Climate, 5: 15-33.
- Morgan, K.T., 1997. A brief review of formaldehyde carcinogenesis in relation to rat nasal pathology and human health risk assessment. *Toxicologic Pathology*, 25 (3): 291-307.
- Namieśnik, J., Górecki, T., Kozdroń-Zabiegała, B., Łukasiak, J., 1992a. Indoor air quality pollutants their sources and concentration levels. *Building and Environment*, 27: 339-356.

- Namieśnik, J., Górecki, T., Kozdroń-Zabiegała, B., Janicki, W., 1992b. Investigations on the applicability of some commercial polyethylene films to permeation-type passive samplers for organic vapours. *Indoor Air*, 2: 115-120.
- Namieśnik, J., Zygmunt, B., Kozdroń-Zabiegała, B., 1994. Some aspects of indoor air pollution and analysis. *Polish Journal of Environmental Studies*, 3 (4): 5-19.
- Nelson, P.F. and Quigley, S.M., 1983. The hydrocarbon composition of exhaust emitted from gasoline fuelled vehicles. *Atmospheric Environment*, 18(1): 79-84.
- NKB, Nordic Committee on Building Regulations, 1991. Indoor Climate – Air Quality, Helsinki, Nordic Committee on Building Regulations, NKB Publication nr. 61E.
- Norbäck, D., Björnsson, E., Janson, C., Widström, J. and Boman, G., 1995. Asthmatic symptoms and volatile organic compounds, formaldehyde, and carbon dioxide in dwellings. *Occupational and Environmental Medicine*, 52: 388-395.
- Norbäck, D., Michel, I. and Widström, J., 1990a. Indoor air quality and personal factors related to the sick building syndrome. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 16: 121-128.
- Norbäck, D., Torgen, M. and Edling, C., 1990b. Volatile organic compounds, respirable dust and personal factors related to prevalence and incidence of the sick building syndrome in primary schools. *British Journal of Industrial Medicine*, 47: 733-741.
- Norbäck, D., Wieslander, G., Nordström, K. and Wålinder, R., 2000. Asthma symptoms in relation to measured building dampness in upper concrete floor construction, and 2-ethyl-1-hexanol in indoor air. *Int. J. Tuberc. Lung Dis.* 4 (11): 1016-1025.
- Nordtest, 1990. Building materials, emission of volatile compounds, chamber method. Nordtest method 358, Espoo.
- Nordtest, 1995. Building materials, emission of volatile compounds, field and laboratory emission cell. Nordtest method 438, Espoo.
- Otson, R., Fellin, P., Tran, Q., 1994. VOCs in representative Canadian residences. *Atmospheric Environment*, 28 (22): 3563-3569.
- Otto, D., Hundell, H., House, D., Mølhave, L., Counts, W., 1992. Exposure of humans to a volatile organic mixture. I. Behavioural assessment. *Archives of Environmental Health*, 47 (1): 23-30.
- Phillips, K., McKenna, A.M., Howard, D.A., Bentley, M.C., Cook, J.N., 1997. Volatile organic compounds (VOCs): their concentration inside and outside the homes of the residents of six European cities. In: Proceedings of the Volatile Organic Compounds in the Environment. Risk Assessment and Neurotoxicity. Pavia, Italy, October.
- Platts-Mills, T.A.E., Woodfolk, J.A., Chapman, M.D., Heymann, P.W., 1996. Changing concepts of allergic disease: the attempt to keep up with real changes in lifestyles. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 98 (Suppl), S297-S306.

- Punter, P.H., 1983. Measurement of human olfactory thresholds for several groups of structurally related groups. *Chemical Senses*, 7: 215-235.
- Redlich, C.A., Sparer, J., Cullen, M.R., 1997. Sick building syndrome. *Lancet*, 349 (90507): 1013-1016.
- Reiss, R., Ryan, P.B., Koutrakis, P., Tibbetts, S.J., 1995. Ozone reactive chemistry on interior latex paint. *Environmental Science and Technology*, 29 (8): 1906-1912.
- Righi, E., Aggazzotti, G., Fantuzzi, G., Ciccarese, V. and Predieri, G., 2002. Air quality and well-being perception in subjects attending university libraries in Modena (Italy). *Science of Total Environment*, 286: 41-50.
- Robinson, J., Nelson, W.C., 1995. National Human Activity Pattern Survey Data Base. United States Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.
- Rodes, C.E., Kamens, R.M., Wiener, R.M., 1991. The significance and characteristics of the personal activity cloud on exposure assessments for indoor contaminants. *Indoor Air*, 2: 123-145.
- Rotton, J. and White, S.M., 1996. Air pollution, the sick building syndrome and social behaviour. *Environment International*, 22: 53-60.
- Saarela, K., 1999. Emission from floor coverings. In: Salthammer, T. (Ed.), *Organic Indoor Air Pollutants. Occurrence – Measurement – Evaluation*. Wiley – VCH, Germany. (Chapter 3)
- Samfield, M.M., 1992. Indoor air Quality database for organic compounds. EPA 600/13.
- Sandmeyer, E.E., 1982. Aromatic hydrocarbons. In: Clayton, G.D., Clayton, F.E. (Eds.), *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology*, Vol. 2, 3^a Ed. Wiley, New York, pp. 3253-3431.
- Schneider, T., Bohgard, M., Gudmundsson, A., 1994. A semiempirical model for particle deposition onto facial skin and eyes. Role of air currents and electric fields. *Journal of Aerosol Science*, 25 (3): 583-593.
- Seifert, B., 1990. Regulating indoor air. In: Walkinshaw, D. (Ed.), *Proceedings of Indoor Air '90*. Ottawa, International Conference on Indoor Air Quality and Climate, 5: 35-49.
- Seltzer, J.M., 1997. Sources, concentrations and assessment of indoor air pollution. In: Bardana, E.J., Montanaro, A. (Eds.), *Indoor Air Pollution and Health*. Marcel Dekker, New York, pp. 11-60.
- Shusterman, D., 1992. Critical review: the health significance of environmental odor pollution. *Archives of Environmental Health*, 47: 76-87.
- Shusterman, D., Lipscomb, J., Neutra, R. and Satin, K., 1991. Symptom prevalence and odor-worry interaction near hazardous waste sites. *Environmental Health Perspectives*, 94: pp. 2530.
- Silva, G.V.A., 2000. Estudo de Emissões de COVs por Materiais Usados em Interiores de Edifícios. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

- Silva, G.V.A., Vasconcelos, M.T.S.D., Santos, A.M. and Fernandes, E.O., 2002. Comparison of the substrate effect on VOC emissions from Water Based Varnish and Latex Paint. *Environmental Science Pollution Research*, accepted 2002.
- Skov, P., Valbjörn, O. and the Danish Indoor Study Group (DISG), 1987. The sick building syndrome in the office environment: the Danish town hall study. *Environment International*, 13: 339-349.
- Small, G.W., Feinberg, D.T., Steinberg, D. and Collins, M.T., 1994. A sudden outbreak of illness suggestive of mass hysteria in school children. *Archives of Family Medicine*, 3: 711-716.
- Spengler, J.D., Sexton, K., 1983. Indoor air pollution: a public health perspective. *Science*, 221 (4605): 9-17.
- Sterling, D.A., 1985. Indoor air and human health. In: Gammage, R.B., Kaye, S.B., Jacobs, V.A. (Eds.), *Volatile organic compounds in indoor air; an overview of sources, concentrations and health effects*. pp. 387.
- Stevens, D.A. and O'Connell, R.J., 1991. Individual differences in thresholds and quality reports of human subjects to various odors. *Chemical Senses*, 16: 57-67.
- Stolwijk, J.A., 1992. Risk assessment of acute health and comfort effects of indoor air pollution. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 641: 56-62.
- Sundell, J., Andersson, B., Andersson, K. and Lindvall, T., 1993. Volatile organic compounds in ventilating air in buildings at different sampling points in the buildings and their relationship with the prevalence of occupant symptoms. *Indoor Air*, 3: 82-93.
- Teichman, K.Y., 1995. Indoor air quality: research needs. *Occupational Medicine*, 10 (1): 217-227.
- Tichenor, B.A., 1992. Characterization material sources and sinks – current approaches. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 641: 63-78.
- Van Der Wal, J.F., Hoogeveen, A.W. and Wouda, P., 1997. The influence of temperature on the emission of volatile organic compounds from PVC flooring, carpet and paint. *Indoor Air*, 7: 215-221.
- Vaughan, T.L., Strader, C., Davis, S., Daling, J.R., 1986. Formaldehyde and cancers of the pharynx, sinus and nasal cavity: II. Residential exposures. *International Journal of Cancer*, 38 (5): 685-688.
- Wallace, L.A., 1991a. Personal exposure to 25 volatile organic compounds. EPA's 1987 team study in Los Angeles, California. *Toxicology and Industrial Health*, 7 (5-6): 203-208.
- Wallace, L.A., 1991b. Comparison of risks from outdoor and indoor exposure to toxic chemicals. *Environmental Health Perspectives*, 95 (1): 7-13.
- Wallace, L.A., 1997. Sick building syndrome. In: Bardana, E.J., Montanaro, A. (Eds.), *Indoor Air Pollution and Health*. Marcel Dekker, New York, pp. 83-103.

Wallace, L.A., Nelson, W.C., Ziegenfus, R., Pellizzari, E., 1991. The Los Angeles TEAM study: Personal exposures, indoor-outdoor air concentrations and breath concentrations of 25 volatile organic compounds. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 1 (2): 37-72.

Wargocki, P., Wyon, D.P., Baik, Y.K., Clausen, G. and Fanger, P.O., 1999. Perceived air quality, sick building syndrome (SBS) symptoms and productivity in an office with two different pollution loads. *Indoor Air*, 9: 165-179.

Wieslander, G., Norbäck, D., Björnsson, E., Janson, C., Boman, G., 1997. Asthma and the indoor environment: the significance of emission of formaldehyde and volatile organic compounds from newly painted indoor surfaces. *International Archives of Occupational Environmental Health*, 69 (2): 115-124.

Wiglusz, R., Igielska, B., Sitko, E., Nikel, G. and Jarnuszkiewicz, I., 1998. Emission of volatile organic compounds (VOCs) from PVC floor coverings. *Bull. Inst. Marit. Trop. Med.*, 49, 1/4, 101:107.

Wolkoff, P., 1995. Volatile Organic Compounds - Sources, measurements, emissions and the impact on indoor air quality. *Indoor Air*, Suppl. 3.

Wolkoff, P., Clausen, P.A., Jensen, B., Nielsen, G.D. and Wilkins, C.K., 1997. Are we measuring the relevant indoor pollutants?. *Indoor Air*, 7: 92-106.

Wolkoff, P., Clausen, P.A., Nielsen, P.A., 1995. Application of field and laboratory cell "FLEC" – performance study, intercomparison study and case study of damaged linoleum. *Indoor Air*, 5: 196-203.

Wolkoff, P., Clausen, P.A., Nielsen, P.A., Møhlhave, L., 1991. The Danish twin apartment study; part 1: formaldehyde and long-term VOC measurements. *Indoor Air*, 4: 478-490.

Wong, O., 1983. A epidemiologic mortality study of cohort of chemical workers potentially exposed to formaldehyde, with a discussion on SMR and PMR. In: Gibson, J.E. (Ed.), *Formaldehyde Toxicity*. Hemisphere Publishing Corporation, New York, NY.

Zellweger, C., Hill, M., Gehrig, R., and Hofer, P., 1997. Emissions of volatile organic compounds (VOC) from building materials. Report from research Programme "Energy Conservation in Buildings", Swiss Federal Institute for materials testing and research.

Ziem, G.E., 1992. Illness from chemical 'odors': is the health significance understood? (editorial). *Archives of Environmental Health*, 47: 88-91.