

Determinação da emissão de partículas e COV's libertados por velas

AUTOR

Paulo Leandro Moreira Costa

Dissertação de MIEM

ORIENTADOR

Professor Doutor Armando Manuel da Silva Santos

Docente do Departamento de Engenharia Mecânica, secção de Fluidos e Calor da
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

CO-ORIENTADORA

Doutora Gabriela Ventura Silva

Directora Técnica do Laboratório da Qualidade do Ar Interior (LQAI) do IDMEC da
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



FEUP

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Setembro

2010

Resumo

O mercado das velas aromáticas tem experimentado um crescimento considerável nos últimos anos, tornando-se estas cada vez mais populares entre os consumidores. A recente popularidade das velas aromáticas tem motivado muitas empresas a introduzi-las nas suas linhas de produção. No entanto algumas dessas empresas não possuem os conhecimentos necessários para uma produção segura, no que diz respeito à saúde das pessoas, não obstante saber-se que da combustão das velas resulta a emissão de poluentes diversos, nomeadamente compostos orgânicos voláteis, partículas e metais. Os fabricantes de velas não são obrigados a divulgar os perigos inerentes da queima das velas, bem como a divulgar as substâncias tóxicas ou cancerígenas utilizadas no seu fabrico. A intensidade aromática produzida pelas velas tem uma grande influência nas vendas, o que origina a inclusão de diversos tipos de óleos perfumados na matéria-prima utilizada no processo de fabrico.

Este trabalho teve como objectivo principal efectuar um estudo sumário sobre as emissões em diversos tipos de velas disponíveis no mercado. Pela inexistência de uma instalação experimental apropriada para o efeito, foi necessário desenvolver uma câmara de testes que permitisse não só a análise de partículas bem como dos compostos orgânicos voláteis.

Os testes efectuados demonstraram que a instalação experimental desenvolvida funciona adequadamente para este tipo de experiências, tendo-se obtido resultados que permitem caracterizar as emissões de alguns tipos de velas e identificaram-se factores de influência como por exemplo a heterogeneidade das velas.

A existência de flutuações a nível do caudal, temperatura ou humidade relativa também poderão ter a sua influência. No caso de uma das velas levantou-se a hipótese de haver uma transferência de um composto menos volátil entre a fase gasosa e a matéria particulada, o que poderia explicar as grandes diferenças observadas nos 2 ensaios. No que diz respeito à caracterização das emissões das velas conseguiu-se identificar uma série de compostos orgânicos voláteis, tendo sido detectados compostos perigosos para a saúde das pessoas, como é o caso do benzeno e do ftalato de dietilo que foram detectados numa das velas. Efectuou-se uma análise de risco associado ao uso de cada tipo de vela no que respeita aos valores de COVs.

Abstract

The market for scented candles has experienced considerable growth in recent years, becoming increasingly popular among consumers. The recent popularity of aromatic candles have motivated many companies to incorporate them into their production lines. However some of these companies lack the knowledge necessary to safe, with regard to health, despite knowing that the burning of candles results in the emission of several pollutants, including volatile organic compounds, particulates and metals. The sailmakers are not required to publicize the dangers of burning candles, as well as publicizing the toxic or carcinogenic chemicals used in their manufacture. The aromatic intensity produced by candles has a great influence on sales, leading to the inclusion of various types of fragrance oils in the raw material used in the manufacturing process.

This paper's main objective was to conduct a study summary of emissions in different types of candles available. The lack of an experimental setup suitable for the purpose it was necessary to develop a test chamber that would not only allow the analysis of particles and volatile organic compounds.

The tests showed that the developed experimental setup works well for this type of experiments with results that are obtained allow the characterization of emissions from some types of candles and identified the influence factors such as the heterogeneity of the candles.

The existence of fluctuations in the flow, temperature or humidity can also have its influence. In the case of a candle rose the hypothesis of a transfer of a less volatile compound between the gaseous and particulate matter, which could explain the large differences observed in two trials. Regarding the characterization of emissions from candles we were able to identify a series of volatile organic compounds have been detected hazardous to human health, such as benzene and diethyl phthalate were detected in one of the candles. Conducted an analysis of risk associated with using each type of candle in relation to the values of VOCs.

Agradecimentos

De forma geral, gostaria de agradecer a todas as pessoas que me apoiaram durante a realização desta dissertação, em particular:

Ao meu orientador, Professor Doutor Armando Manuel da Silva Santos, pela contribuição a nível teórico e prático, bem como pela sua sempre disponível ajuda e empenho ao longo desta dissertação.

À Doutora Gabriela Ventura Silva e ao pessoal do LQAI pela permanente disponibilidade demonstrada, bem como pelo apoio a nível técnico e teórico sobre a análise de COV's e partículas.

Ao Mestre Mário J. D. Guindeira pelo seu apoio inigualável para a resolução de situações construtivas surgidas ao longo desta dissertação.

Ao Engenheiro Fonseca e as pessoas das Oficinas de Mecânica do DEMec-FEUP, pela ajuda na concepção e fabrico da câmara de testes.

À minha família pelo apoio incondicional que me prestou no decorrer da realização desta dissertação.

Índice

1.	Introdução	1
1.1	Objectivos	3
1.2	Organização da dissertação	4
2.	Estado-da-arte: bases teóricas	5
2.1	Breve História das velas	5
2.2	Considerações sobre o processo de combustão	7
2.3	Tipo de velas	8
2.4	Matéria-prima.....	8
2.5	Emissão de poluentes por velas.....	9
2.5.1	Compostos orgânicos voláteis.....	9
2.5.2	Formaldeído	12
2.5.3	Partículas	12
2.5.4	Metais.....	13
2.5.5	Legislação nacional e Europeia.....	15
2.6	Metodologias de amostragem dos COVs e Partículas.....	16
2.6.1	Cromatografia gasosa com detector por espectrometria de massa	19
2.6.2	Captação de partículas ou aerossóis em suspensão no ar (PMx).....	20
3.	Estudo experimental.....	21
3.1	Descrição da instalação experimental	22
3.2	Procedimento para a realização da experiência.....	24
3.3	Análises preliminares	30
3.3.1	Objecto de estudo	30
3.3.2	Resultados obtidos nos ensaios preliminares – COV's	31
3.3.3	Considerações finais sobre os ensaios preliminares.....	36
4.	Discussão e análise de resultados.....	37
4.1	Objectos de estudo	37
4.2	Resultados obtidos.....	37

4.2.1	Avaliação das emissões das velas estudadas	38
4.2.1	Comparação entre os valores de COV's emitidos pelas várias velas	49
4.2.2	Partículas	51
4.3	Previsão das concentrações geradas em ambientes reais pelas emissões das velas estudadas	52
4.4	Cálculo do Índice de Risco para as velas estudadas.....	57
5.	Conclusão	61
6.	Bibliografia	62

Índice de Figuras

Figura 1 - Esquema de um cromatógrafo gasoso	19
Figura 2 - Instalação experimental (câmara de testes)	23
Figura 3 - cabeça de amostragem	23
Figura 4 - Balança e cabeça de amostragem	24
Figura 5 - medição do caudal de ar na cabeça de amostragem	25
Figura 6 - colocação dos tubos de Tenax no equipamento.....	25
Figura 7 - Medição da temperatura e humidade.....	26
Figura 8 - Pesagem da vela	26
Figura 9 - Colocação da vela na câmara de testes.....	26
Figura 10 - Bomba acoplada ao tubo de Tenax.....	27
Figura 11 - Análise dos dados recolhidos utilizando o software Instrument #1 Data Analysis..	29

Índice de Gráficos

Gráfico 1 - Valores dos factores de emissão ($\mu\text{g/h}$ por grama de vela queimada) dos COV's emitidos nos dois ensaios pela vela tipo 1 em câmara de teste	40
Gráfico 2 - Valores dos factores de emissão ($\mu\text{g/h}$ por grama de vela queimada) dos COV's emitidos nos dois ensaios pela vela tipo 2 em câmara de teste	42
Gráfico 3 - Valores dos factores de emissão ($\mu\text{g/h}$ por grama de vela queimada) dos COV's emitidos nos dois ensaios pela vela tipo 3 em câmara de teste	44
Gráfico 3 - Valores dos factores de emissão ($\mu\text{g/h}$ por grama de vela queimada) dos COV's emitidos nos dois ensaios pela vela tipo 3 em câmara de teste	46
Gráfico 5 - Valores dos factores de emissão ($\mu\text{g/h}$ por grama de vela queimada) dos COV's emitidos nos dois ensaios pela vela tipo5 em câmara de teste	48
Gráfico 6 – Valores dos factores de emissão ($\mu\text{g/h}$ por grama de vela queimada) do Benzaldeído emitidos nos dois ensaios pelas velas tipo1 a 5 em câmara de teste	49
Gráfico 7 - Valores dos factores de emissão ($\mu\text{g/h}$ por grama de vela queimada) da Acetofenona emitidos nos dois ensaios pelas velas tipo1 a 5 em câmara de teste	49
Gráfico 8 - Valores dos factores de emissão ($\mu\text{g/h}$ por grama de vela queimada) do Ácido Benzoíco emitidos nos dois ensaios pelas velas tipo1 a 5 em câmara de teste	50
Gráfico 9 – Valores dos factores de emissão ($\mu\text{g/h}$ por grama de vela queimada) do Estireno emitidos nos dois ensaios pelas velas tipo1 a 5 em câmara de teste	50
Gráfico 10 – Valores de concentração ($\mu\text{g/m}^3$) das partículas emitidas pelas velas tipo 1 a 5 em câmara de testes nos ensaios realizados	52

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Fontes típicas de poluição do ar em ambientes interiores	9
Tabela 2 - Impactos no ar interior devido à queima de velas [EPA 2001].....	11
Tabela 3 - Concentração máxima de referência para os parâmetros referidos no RSECE	15
Tabela 4 - Classificação dos compostos orgânicos voláteis e respectivos pontos de ebulição ...	17
Tabela 5 - Processos de recolha dos diversos tipos de COV's	17
Tabela 6 - Parâmetros do sistema analítico durante as análises dos tubos de Tenax TA.....	28
Tabela 7 - Descrição das velas utilizadas nas análises preliminares	30
Tabela 8 - Parâmetros dos ensaios preliminares	31
Tabela 9 - Valores de concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e respectivos factores de emissão ($\mu\text{g}/\text{h}$ e $\mu\text{g}/\text{h}$ por grama de vela queimada) dos COV's emitidos no primeiro ensaio pela vela tipo 1 na câmara de testes.....	32
Tabela 10 - Valores de concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e respectivos factores de emissão ($\mu\text{g}/\text{h}$ e $\mu\text{g}/\text{h}$ por grama de vela queimada) dos COV's emitidos no segundo ensaio pela vela tipo 1 na câmara de testes.....	33
Tabela 11 - Valores de concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e respectivos factores de emissão ($\mu\text{g}/\text{h}$ e $\mu\text{g}/\text{h}$ por grama de vela queimada) dos COV's emitidos no terceiro ensaio pela vela tipo 1 na câmara de testes.....	34
Tabela 12 - Valores de concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e respectivos factores de emissão ($\mu\text{g}/\text{h}$ e $\mu\text{g}/\text{h}$ por grama de vela queimada) dos COV's emitidos no quarto ensaio pela vela tipo 1 na câmara de testes.....	34
Tabela 13 – Valores das concentrações ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de partículas emitidas pelas velas tipo 1 e 2 nos ensaios preliminares realizados em câmara de testes.....	36
Tabela 14 - Descrição das velas utilizadas nos ensaios.....	37
Tabela 15 - Parâmetros dos ensaios nº1 e 2	38
Tabela 16 - Valores de concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e respectivos factores de emissão ($\mu\text{g}/\text{h}$ e $\mu\text{g}/\text{h}$ por grama de vela queimada) dos COV's emitidos nos dois ensaios pela vela tipo 1 na câmara de testes.....	39
Tabela 17 - Parâmetros dos ensaios nº1 e 2	40
Tabela 18 - Valores de concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e respectivos factores de emissão ($\mu\text{g}/\text{h}$ e $\mu\text{g}/\text{h}$ por grama de vela queimada) dos COV's emitidos nos dois ensaios pela vela tipo 2 na câmara de testes.....	41
Tabela 19 - Parâmetros dos ensaios nº1 e 2	43

Tabela 20 - Valores de concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e respectivos factores de emissão ($\mu\text{g}/\text{h}$ e $\mu\text{g}/\text{h}$ por grama de vela queimada) dos COV's emitidos nos dois ensaios pela vela tipo 3 na câmara de testes.....	43
Tabela 21 - Parâmetros dos ensaios nº1 e 2	44
Tabela 22 - Valores de concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e respectivos factores de emissão ($\mu\text{g}/\text{h}$ e $\mu\text{g}/\text{h}$ por grama de vela queimada) dos COV's emitidos nos dois ensaios pela vela tipo 4 na câmara de testes.....	45
Tabela 23 - Parâmetros dos ensaios nº1 e 2	46
Tabela 24 - Valores de concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e respectivos factores de emissão ($\mu\text{g}/\text{h}$ e $\mu\text{g}/\text{h}$ por grama de vela queimada) dos COV's emitidos nos dois ensaios pela vela tipo 5 na câmara de testes.....	47
Tabela 25 - Valores das concentrações ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de partículas emitidas pelas velas tipo 1 a 5 nos ensaios realizados em câmara de testes.....	51
Tabela 26 - Simulação em ambiente real – Vela tipo 1.....	53
Tabela 27 - Simulação em ambiente real – Vela tipo 2.....	54
Tabela 28 - Simulação em ambiente real – Vela tipo 3.....	55
Tabela 29 - Simulação em ambiente real – Vela tipo 4.....	55
Tabela 30 - Simulação em ambiente real – Vela tipo 5.....	56
Tabela 31 - Informação toxicológica disponível dos compostos identificados nas emissões das velas estudadas.....	58
Tabela 32 - Determinação do índice de risco das velas	60

Siglas

COMV	Compostos orgânicos muito voláteis
COSV	Compostos orgânicos semi-voláteis
COV's	Compostos orgânicos voláteis
COVT	Compostos orgânicos voláteis totais
LQAI	Laboratório da Qualidade do Ar Interior
QAI	Qualidade de Ar Interior
OMS	Organização Mundial de Saúde
USEPA	United States Environmental Agency
STEL	Short-Term Exposure Level
PEL	Permissible Exposure Limit
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
RfC	Inhalation Reference concentration
EPA	Environmental Protection Agency
NCA	National Candle Association
UFC	Unidades formadoras de colónias

Abreviaturas

C	Concentração
FE	Factor de emissão
Q	Caudal
Ci	Concentração do composto i
LCli	Concentração limite do composto i
R	Índice de risco

1. Introdução

Nos dias de hoje, as pessoas passam grande parte do tempo em espaços fechados, não só em casa mas também em escritórios, locais de trabalho e de lazer, entre outros. Devido a este facto a preocupação em torno da Qualidade do Ar Interior (QAI) tem vindo a assumir um papel importante no dia-a-dia das pessoas. Caso a qualidade do ar interior não seja a adequada para o espaço em questão podem ocorrer problemas de saúde tais como mal-estar ou alergias do foro respiratório, e em casos extremos cancro. Estes factos têm levado algumas entidades a estudar a qualidade do ar interior bem como os seus efeitos sobre a saúde.

Um dos principais factores que pode comprometer a qualidade do ar interior são as fontes de poluição interna ou externa a um determinado espaço. Existem numerosas fontes de poluição do ar interior estando identificadas como mais importantes os materiais de construção, de revestimento e decoração, os sistemas de ventilação e climatização, as actividades dos indivíduos e o ar exterior. No que se refere às actividades desenvolvidas no interior destacam-se o acto de fumar, o uso de impressoras e fotocopiadoras, o acto de cozinhar, o uso de uma série de produtos de consumo para limpeza e manutenção, o uso de ambientadores, a queima de incenso e velas aromáticas, etc.. Entre os poluentes emitidos por estas fontes destacam-se os compostos orgânicos voláteis (COV's) e partículas. O facto dos compostos orgânicos voláteis (COV's) existirem em maiores concentrações em espaços interiores do que em espaços exteriores fez com que muitos cientistas tenham estudado as emissões de COV's, bem como os seus níveis de emissão e suas consequências. As partículas são uma das principais fonte de poluentes em termos de efeito na saúde das pessoas, nomeadamente as partículas de menor dimensão que são inaláveis, e vão danificar o sistema respiratório, e contribuem para o aparecimento de doenças cardíacas e respiratórias tais como o asma e a bronquite.

Tanto os COVs como as partículas são dos principais poluentes emitidos por velas, fonte essa que está no centro da investigação realizada nesta dissertação.

O mercado das velas teve um crescimento considerável na última década, nomeadamente o das velas aromáticas. O estudo sobre as emissões provocadas pelas velas surgiu devido ao facto de antigamente se utilizar chumbo como núcleo dos pavios. A utilização do chumbo fez com que fossem emitidos quantidades apreciáveis desse metal para o ar interior, sendo necessário determinar se as concentrações eram prejudiciais para a saúde das pessoas. Felizmente a utilização do chumbo foi substituída praticamente na totalidade por outros materiais menos nocivos para a saúde. O facto das velas comercializadas, na sua grande maioria

fabricadas a partir de parafina, emitirem COV's e partículas levou à realização de investigações no sentido de caracterizar as emissões de COV's e partículas quer quanto à natureza, quer quanto aos níveis de concentração resultantes do processo de combustão.

1.1 Objectivos

Tendo em conta que a crescente utilização de velas aromáticas podem resultar na degradação da qualidade do ar com consequentes riscos para a saúde dos ocupantes de espaços interiores, e dada a inexistência no LQAI de uma instalação experimental adequada para estudos de emissão resultantes da queima de velas, elegeram-se os seguintes objectivos para esta dissertação:

- Projecto, fabrico e montagem de uma câmara de testes que possa captar simultaneamente o material particulado e os COV's libertados pelas velas;
- Recolha e análise de COV's e partículas emitidas por velas, com vista à identificação e quantificação das emissões;
- Estudar diversos tipos de velas disponíveis em diferentes pontos de venda.

1.2 Organização da dissertação

Ao longo da dissertação, que se encontra dividida em seis capítulos, é feito um enquadramento do tema em análise e das diversas problemáticas relacionadas, aprofundando o conhecimento de conceitos teóricos e métodos de amostragem.

- Assim, para além deste primeiro capítulo de introdução, no segundo capítulo – *Estado-da-arte* – são descritos aspectos relacionados com as velas, nomeadamente sobre as matérias-primas utilizadas no seu fabrico, metodologias associadas à amostragem de COV's e partículas.
- No terceiro capítulo – *Estudo experimental* – é apresentada a instalação laboratorial, bem como a metodologia seguida durante os ensaios. São apresentados também os resultados das análises preliminares realizadas.
- No quarto capítulo – *Discussão e análise de resultados* – apresentam-se os resultados obtidos durante os ensaios realizados, consequente discussão desses mesmos resultados e comparação das emissões libertadas pelas diferentes velas estudadas.
- Finalmente, no quinto capítulo – *Conclusão* – são apresentadas as conclusões retiradas a partir dos resultados obtidos durante os ensaios.

2. Estado-da-arte: bases teóricas

Este capítulo contempla uma pequena introdução sobre a história das velas, bem como os diferentes tipos de velas existentes e matérias-primas utilizadas. Apresentam-se igualmente algumas investigações realizadas sobre a combustão de velas e as emissões de poluentes pelas mesmas.

2.1 Breve História das velas

Ao longo do tempo as velas sofreram alterações não só no seu campo de aplicações mas também nos materiais utilizados para a sua concepção.

Por volta do ano 50000 a.C., surgiram as primeiras velas, criadas para serem utilizadas como fontes de luz. Nessa altura, utilizavam-se pratos ou cubas contendo gordura de origem animal, sendo o pavio constituído por fibras vegetais. A gordura que era utilizada para a queima encontrava-se na fase líquida.

Durante a Idade Média, a produção de velas estabeleceu-se como um comércio, principalmente para serem utilizadas em grandes salões e igrejas. A matéria-prima mais utilizada para a sua produção era a gordura animal (sebo), no entanto a sua utilização apresentava grandes desvantagens, tais como, libertação de fumo e odores desagradáveis. Outra matéria-prima utilizada era a cera dos favos das colmeias de abelhas, no entanto a oferta nunca conseguiu satisfazer a procura. O material utilizado no fabrico das velas determina a qualidade da luz emitida. Por exemplo, as velas fabricadas a partir de cera de abelhas produzem uma chama mais brilhante do que as velas fabricadas a partir de sebo.

Durante muitos séculos as velas foram consideradas artigos de luxo, pois apresentavam um preço considerável. Essas velas eram fabricadas a partir de cera ou sebo, sendo depois colocadas em castiçais de prata ou madeira.

No século XVI, devido à melhoria das condições de vida das pessoas, permitindo dessa forma uma maior disponibilidade para comprar castiçais ou suportes, as velas passaram a ser vendidas em grupos de 8, 10 ou 12 unidades ou vendidas a peso.

No século XIX, com a introdução da iluminação a gás, bem como o desenvolvimento de técnicas para a produção de velas, foi possível abrir o seu mercado para as pessoas com menos posses. De forma a proteger a indústria das velas, o governo inglês instaurou uma lei que não permitia a sua produção sem uma licença especial, não possibilitando o seu fabrico artesanal.

Em 1811, Michel Eugene Chevreul descobriu que o sebo não era uma substância única, mas sim uma composição de dois ácidos gordos combinados com glicerina para formar um material não-inflamável. Ao remover a glicerina da mistura de sebo, Chevreul descobriu uma substância a que chamou "Estearina", que era mais dura que o sebo e queimava por mais tempo e com mais brilho. Essa descoberta impulsionou uma melhoria na qualidade das velas e trouxe também, em 1825, melhorias no fabrico dos pavios, que, devido à estrutura da vela, deixaram de ser pavio de algodão para se tornar um pavio enrolado de algodão, como são conhecidos nos dias de hoje. Essa mudança fez com que a queima da vela se tornasse uniforme e completa ao contrário da queima desordenada, característica dos pavios de algodão.

Em 1830 com o início da exploração petrolífera, a parafina começou a ser utilizada como matéria-prima para a produção de velas, devido ao facto de ser menos gordurosa e mais dura. Em 1854 a parafina foi combinada com estearina, produzindo velas muito parecidas com as produzidas nos dias de hoje.

Após a 2ª Guerra Mundial surgiu a parafina sintética e devido à sua melhor qualidade tornou-se a matéria principal para compostos de cera e plásticos modernos.

Com a introdução de essências no fabrico das velas, estas tornaram-se um importante difusor de aromas. O uso de citronela repele insectos, há essências que neutralizam o odor do tabaco, bem como as essências que permitem a obtenção de aromas [<http://www.anozero.com/info/content/view/17/51/1/3/>].

2.2 Considerações sobre o processo de combustão

O processo de combustão pode ser dividido nas seguintes fases:

1. Fusão do combustível;
2. Transporte do combustível pela acção capilar do pavio;
3. Conversão de combustível líquido em gás;
4. A decomposição térmica (pirólise) do combustível;
5. Oxidação dos produtos de pirólise.

Do ponto de vista do balanço energético o processo de combustão só pode ocorrer se a energia libertada pela reacção (calor de combustão) for igual, ou de preferência superior, à energia que é necessária para realizar a ignição de mais partículas de combustível. A cera de parafina utilizada nas velas encontra-se num estado sólido à temperatura ambiente (25°C). Após a ignição do pavio, a cera de parafina começa a derreter devido ao fornecimento de energia de ignição.

Um maior fornecimento de energia resulta na vaporização e por consequência a degradação (pirólise) em hidrocarbonetos gasosos, fragmentos de hidrocarbonetos e carbonos sólidos. Os componentes gasosos e as partículas de carbono são, numa primeira fase, misturados com oxigénio na zona de queima. Após a temperatura de ignição ser atingida e a mistura com o oxigénio estar completa, o processo de combustão inicia-se com a libertação de calor. O fornecimento de energia externa deve ser contida até se atingir a temperatura mínima de combustão. Uma vez que a temperatura mínima de combustão é atingida, é libertada energia de combustão suficiente para permitir a manutenção processo de combustão. A energia externa necessária durante esse tempo pode ser definida como a energia mínima de ignição [Michael Matthäi, 2004].

Os pavios são normalmente feitos de algodão e podem ser fabricados com diferentes espessuras e formas. O pavio controla a fusão, evaporação e queima da vela, e transfere também a cera líquida para a zona de queima. De forma a manter a rigidez do pavio, este pode ser impregnado com diferentes tipos de cera ou fibras de papel. Anteriormente, um fio de metal era incorporado no pavio de forma a manter a sua rigidez. O núcleo de metal era constituído por chumbo, zinco ou estanho [http://www.mst.dk/NR/rdonlyres/4DBF68B7-77DD-4D13-8911-B42581EBACCC/0/lys_uk.pdf].

2.3 Tipo de velas

As velas presentes no mercado são produzidas por moldagem ou imersão. Os tipos de vela mais importantes, de acordo com um estudo realizado pela *Danish Technological Institute* são:

- **Tea lights** – feitas de cera de parafina, são normalmente colocadas num reservatório de alumínio. As velas são produzidas em diversas cores e podem ser adicionadas fragrâncias;
- **Taper candles** – podem ser produzidas através de parafina, estearina ou uma mistura de ambas. As velas podem ser fabricadas por moldagem ou por imersão, e estão disponíveis em diversas cores, fragrâncias e podem ter um revestimento metálico;
- **Pilares (coluna)** – este tipo de vela pode ser fabricada recorrendo a parafina, estearina ou uma mistura de ambas. As velas estão disponíveis em diversos formatos. Elas são principalmente moldadas e estão disponíveis em diversas cores. Podem ser adicionadas fragrâncias.
- **Container candles** – podem ser fabricadas recorrendo a parafina, estearina, uma mistura das duas ou *gelled mineral oil*. A cera é colocada num recipiente de vidro, cerâmica ou metal e podem ser fabricados com diversos formatos. Estão disponíveis em diversas cores e fragrâncias podem ser adicionadas.
[http://www.mst.dk/NR/rdonlyres/4DBF68B7-77DD-4D13-8911-B42581EBACCC/0/lys_uk.pdf].

2.4 Matéria-prima

As principais matérias-primas, parafina, estearina, gordura e cera de abelha, podem ser utilizadas num estado puro ou numa mistura para a produção de velas. A composição das velas deve ser conhecida pelos consumidores. Devido à facilidade de trabalhar com a cera de parafina, esta matéria-prima é de longe a mais utilizada na produção de velas.

Os níveis de substâncias nocivas têm de ser baixos de forma a não permitir que possam pôr em perigo a saúde das pessoas ou o ambiente. A pureza das matérias-primas e produtos é constantemente monitorizada com a ajuda de procedimentos analíticos [Michael Matthäi, 2004].

2.5 Emissão de poluentes por velas

A queima de velas constitui uma das muitas fontes de poluição do ambiente interior.

Na tabela 1 encontram-se descritos alguns dos poluentes mais comuns no ambiente interior bem como as respectivas fontes de emissão.

Tabela 1 - Fontes típicas de poluição do ar em ambientes interiores

Poluente	Maior fonte de emissão
Dióxido de carbono	Actividade metabólica, actividades de combustão, veículos motores em garagens
Monóxido de carbono	Queima de combustível fóssil, aquecedores a gás ou querosene, fogão, fumo de cigarro
Formaldeído	Materiais de construção e mobiliário
COV's	Adesivos, solventes, materiais de construção, volatilização, combustão, pintura, fumo de cigarro, actividades de limpeza, fotocopiadoras, impressoras a laser
Partículas	Fumo de cigarro, produtos de combustão, actividades de limpeza

A queima de velas em espaços interiores pode originar a emissão de todos estes poluentes. Um outro poluente emitido pela queima de velas que não sendo dos mais habituais no ar interior, tendo o ar exterior como fonte principal, é o chumbo. De seguida estão apresentados alguns estudos efectuados sobre os potenciais problemas causados pela queima de velas em espaços fechados, nomeadamente sobre a emissão para o ar interior de chumbo, COV's, formaldeído e partículas.

2.5.1 Compostos orgânicos voláteis

Os compostos orgânicos voláteis são encontrados no ar interior, sendo que nas últimas décadas foram identificadas algumas centenas de substâncias químicas. Apesar de normalmente estas substâncias serem encontradas em concentrações muito baixas, estas substâncias constituem um risco para a saúde humana e algumas delas podem até causar cancro. A Organização Mundial de Saúde (OMS), classificou os compostos orgânicos voláteis como uma das mais importantes classes de poluentes.

Os níveis de poluentes de fontes individuais podem não oferecer risco muito significativo para a saúde humana se forem considerados separadamente das outras fontes de poluição. No entanto, em espaços interiores existe mais do que uma fonte de poluição. A

libertação de diversos poluentes por parte das diferentes fontes de poluentes em simultâneo torna-se perigosa para a saúde humana. Segundo a *United States Environmental Agency* (USEPA), os níveis de poluição de diversas substâncias orgânicas podem ser 2 a 5 vezes maiores em ambientes fechados em comparação com o exterior.

Do conjunto dos compostos orgânicos voláteis salientam-se o benzeno, etilbenzeno, tolueno e xilenos, que podem ser cancerígenos, como é o caso do benzeno, e para além disso, podem ter efeitos neurotóxicos.

Vários compostos orgânicos têm sido detectados durante a queima de velas. Três artigos focam especificamente este tema. Lau *et al.*, (1997), mediram níveis de compostos seleccionados nos materiais das velas e modulou a exposição humana no caso mais crítico; 30 velas a queimar simultaneamente durante 3 horas num espaço com 40m³, com condições de fluxo de ar realista. Schwind e Hosseinpour (1994) analisaram os materiais das velas e o processo de combustão e criaram um cenário onde 30 velas queimando simultaneamente durante 4 horas num espaço com 50m³, com um fluxo de ar de aproximadamente 0,7 L/min. Fine *et al.* (citado em EPA 2001), também realizaram uma série de ensaios sobre a combustão de velas de parafina e velas de cera de abelha numa câmara com um volume de aproximadamente 0,64m³ e um fluxo de ar de 100 L/min. Os resultados destes estudos são resumidos na tabela 2, que apresenta os poluentes emitidos por velas em alguns dos estudos referidos. Para além de referenciar os valores máximos obtidos para o poluente em análise, a tabela apresenta os valores limite referenciado pelas normas *Short-Term Exposure Level* (STEL), *Permissible Exposure Limit* (PEL) ambas da *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA), *inhalation reference concentration* (RfC) da *U.S. Environmental Protection Agency* (EPA),

Tabela 2 - Impactos no ar interior devido à queima de velas [EPA 2001]

Contaminante	Estudo	Concentração máxima	STEL	PEL	RfC	Limite para Risco de cancro
Chumbo	Nriagu e Kim	0,02-13,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NA	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NA	NA
	van Alphen	42,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$				
	Sobel et al. (2000)	15,2 a 54,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$				
Zinco	Nriagu e Kim	1,2 a 124 $\mu\text{g}/\text{h}$	NA	NA	NA	NA
Acetaldeído	Lau et al.	0,834 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NA	360000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Formaldeído	Lau et al.	0,19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2456,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	921,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NA	0,08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Schwind e Hosseinpour	17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$				
Acroleína	Lau et al.	0,073 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NA	250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NA
	Schwind e Hosseinpour	<1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$				
Benzo [a] pyrene	Lau et al.	0,002 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NA	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NA	NA
naftalina	Schwind e Hosseinpour	0,04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NA	50000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NA

N/A – não aplicável

Como se pode verificar através da tabela 2, os valores obtidos durante os diversos ensaios realizados por outros cientistas que estudaram sobre as emissões provocadas pela queima de velas, não ultrapassam os valores referenciados pela PEL. No entanto, alguns desses valores ultrapassam os valores estabelecidos pelo EPA para o risco de cancro.

Acetaldeído - Os níveis de acetaldeído emitidos por 30 velas num espaço fechado durante 3 horas foram 0,834 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Lau et al., 1997, citado em EPA 2001), valor acima do limite referenciado pelo EPA's para o risco de cancro de 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mas abaixo da concentração de referência para inalação (RfC) do EPA de 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [EPA, 2001].

Acroleína - As concentrações máximas de acroleína foram medidas em 0,073 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Lau et al., 1997) e <1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Schwind e Hosseinpour, 1994). Estes níveis estão acima do RfC de 0,02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e abaixo do PEL de 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. A queima de um cigarro num ambiente similar produz níveis de acroleína de 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Lau et al., 1997, citados em EPA 2001).

2.5.2 Formaldeído

Os níveis de formaldeído medidos foram em 0,190 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Lau et al., 1997) e 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Schwindand Hosseinpour, 1994, citados em EPA 2001). Esses valores também estão situados acima do valor estabelecido pelo EPA's para o risco de cancro de 0,08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mas abaixo do valor máximo da OSHA PEL de 921,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. para ambos os estudos, os níveis de folrmaldeído estão muito abaixo do máximo da OSHA's STEL de 2456,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [EPA, 2001].

2.5.3 Partículas

Quando inaladas, as partículas podem ser depositadas nas vias respiratórias ou nos alvéolos pulmonares. Uma vez depositados, muitas coisas podem acontecer. As partículas podem ser removidas pelos mecanismos naturais de defesa do corpo, como a acumulação nas superfícies, ou absorção pelos tecidos adjacentes. Os componentes solúveis das partículas finas, juntamente com as partículas muito finas (ultra finas), podem entrar na corrente sanguínea. Algumas partículas podem reagir quimicamente no organismo, enquanto outras permanecem na sua forma original.

Os efeitos mais graves das partículas estão associados a doenças cardíacas ou pulmonares. Diversos estudos relacionaram a poluição causada pelas partículas com o aumento de admissões em hospitais e atendimentos de emergência, e mesmo à morte por doença cardíaca ou pulmonar. A exposição de curta duração tem sido associada ao agravamento de doenças pulmonares, incluindo ataques de asma e bronquite aguda. Em pessoas com doenças cardíacas, as partículas têm sido associadas a ataques de coração e arritmias cardíacas. Indícios recentes indicam que alguns destes efeitos podem resultar de uma exposição muito curta, possivelmente até exposições com a duração de uma hora aproximadamente.

Segundo uma investigação publicada por Lynn Knight, Arlene Levin, and Catherine Mendenhall (citados em EPA2001), os níveis de emissão de partículas libertadas pelas velas varia bastante mesmo sendo velas supostamente idênticas. Durante os ensaios realizados, onde foram testadas quatro velas idênticas, as emissões de partículas variaram entre 454 $\mu\text{g}/\text{h}$ e 2552 $\mu\text{g}/\text{h}$ [EPA, 2001].

2.5.4 Metais

Conhecem-se estudos de emissões de chumbo, zinco e estanho pela queima de velas. O principal metal que foi estudado foi o chumbo e o seu impacto na saúde humana.

O chumbo foi inicialmente adicionado nos pavios de forma a lhes transmitir rigidez quando a cera começa a derreter e a impedir a sua extinção. A *US Candle Manufacturing Industry* concordou voluntariamente em cessar a produção de velas contendo chumbo em 1974, uma vez que foi demonstrado que a queima desse tipo de velas pode elevar as concentrações de chumbo no ar interior (Sobel et al. 2000, citado em EPA 2001). No entanto, apesar dessa “proibição”, velas contendo pavios com chumbo ainda podem ser encontradas no mercado. De acordo com a National Candle Association (NCA), a maioria dos fabricantes de velas nos EUA deixaram de utilizar o chumbo no processo de fabrico de pavios. Além disso a NCA enviou uma carta a todos os fabricantes de velas a alertar sobre os riscos do chumbo na saúde humana. A NCA também constatou que apenas uma pequena quantidade de empresas fabricam os seus próprios pavios [EPA, 2001].

Emissão de chumbo

A universidade de Michigan realizou um estudo no qual investigaram velas compradas no sudeste do Michigan. Esse estudo indicou que algumas velas que existem no mercado emitem níveis de chumbo potencialmente perigosos para a saúde. Este estudo foi realizado por Jerome Nriagu, que estudou as emissões de chumbo de 15 marcas diferentes de velas feitas nos Estados Unidos, México e China. Nriagu analisou também os níveis de concentração de chumbo que ficou no ar num espaço fechado, de 12m por 12m e 10m de altura, ao fim de uma hora e novamente ao fim de cinco horas. O estudo de Nriagu mostra que a taxa de emissão de chumbo das velas variou entre 0,5 e 327 $\mu\text{g/h}$. Após a queima de uma vela durante uma hora, os níveis de chumbo no ar num espaço fechado foram estimados entre 0,04 e 13,1 $\mu\text{g/m}^3$, valores que são superiores a 1,5 $\mu\text{g/m}^3$, valor recomendado pela Agência de Protecção Ambiental. Depois de uma hora, cinco das velas testadas por Nriagu, emitiram níveis inseguros de chumbo para o ar. Depois de cinco horas, os níveis de chumbo emitidos para um espaço fechado variaram entre 0,21 e 65,3 $\mu\text{g/m}^3$. As velas produzidas na China e nos Estados Unidos foram as que emitiram níveis mais altos de chumbo para o ar.

Uma exposição regular a este tipo de emissão, num espaço fechado, pode representar riscos para a saúde das pessoas com fraco sistema imunitário, tais como crianças ou idosos, afirmou Nriagu.

"A intoxicação por chumbo continua a ser uma das mais graves doenças da saúde ambiental no país e em outras partes do mundo. Afecta muitos órgãos e os processos bioquímicos com as sequelas mais graves a ocorrerem frequentemente no sistema nervoso central, cardiovascular e dos sistemas de sangue", disse Nriagu.

Estudos têm demonstrado que o sistema nervoso central da criança é particularmente sensível ao chumbo. Alguns dos efeitos mais prejudiciais da intoxicação por chumbo por parte das crianças são a dificuldade de aprendizagem e distúrbios comportamentais. Esses efeitos têm sido associados com a exposição crónica de baixos níveis de chumbo e são considerados irreversíveis [Jerome Nriagu, 1999, citado em EPA 2001].

No estudo anteriormente identificado, foram testadas 16 velas contendo chumbo nos pavios. Os valores de emissão de chumbo das velas testadas variaram entre os 100 e 1700 $\mu\text{g/h}$. Esses valores facilmente excedem o valor indicado pela *US Environment Protection Agency* (EPA) de 1,5 $\mu\text{g/m}^3$. A queima simultânea de velas pode elevar esse valor acima do valor limite de exposição referenciado pela OSHA de 50 $\mu\text{g/m}^3$.

Emissões de Zinco

Após a proibição dos pavios contendo chumbo, os fabricantes de velas começaram a procurar alternativas ao chumbo, alternativa essa que deve manter as mesmas características fornecidas pelo chumbo, sem produzir emissões nocivas. Muitas empresas optaram por pavios entrançados, que consistem em 3 pavios mais pequenos amarrados juntos de forma a permitir alguma rigidez. Núcleos de zinco também são bastante utilizados pois permitem obter uma adequada rigidez, queima facilmente com o resto do pavio e não tem os mesmos efeitos tóxicos que os produzidos pelo chumbo. No entanto, a inalação de grandes quantidades de zinco (tais como pó de zinco, fumos de solda) durante um curto período de tempo (exposição aguda) pode causar uma doença chamada de "febre dos fumos metálicos". Muito pouco se sabe sobre os efeitos a longo prazo de poeiras ou fumos de zinco (Eco-USA.net, 2000).

Nriagu e Kim (2000) constataram que o zinco emitido por pavio com núcleo de zinco varia de 1,2 a 124 $\mu\text{g/h}$, o que é demasiado baixo para ser uma preocupação para a qualidade do ar interior.

Todos os metais não ferrosos têm vestígios de impurezas de chumbo, o teor máximo de chumbo no zinco é de 0,004% (Barker Co., 2000). As emissões de chumbo a partir de pavios de zinco estão abaixo do nível de detecção da maioria dos métodos de ensaio (Barker Co., 2000), embora um estudo tenha encontrado taxas de emissão de 0,014 $\mu\text{g/h}$ de chumbo (Ungers and Associates, 2000, citados em EPA 2001).

Emissão de Estanho

O estanho também é utilizado como reforçador dos pavios no fabrico de velas. É considerado não tóxico (Chemglobe, 2000). O estanho tem um teor máximo de chumbo de 0,08%, mas tal como o zinco, abaixo do limite de detecção (Barker Co., 2000, citados em EPA 2001).

2.5.5 Legislação nacional e Europeia

Actualmente não existe informação suficiente para que estejam estabelecidos valores limite para todos os COVs. Existem alguns compostos eleitos como sendo os mais nocivos e os mais relevantes para a Qualidade do Ar Interior para os quais são sugeridos alguns valores, mas tendo sempre em conta que são valores sugeridos à luz do conhecimento científico actual, e que novos desenvolvimentos poderão vir a alterar essas propostas. De seguida apresentam-se os valores das concentrações máximas de referência da legislação que regula o desempenho energético e ambiental dos edifícios em Portugal: “Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização em Edifícios” – RSECE (2006).

Tabela 3 - Concentração máxima de referência para os parâmetros referidos no RSECE

Parâmetro	Concentração Máxima de referência
Partículas suspensas no ar	0,15 mg/m ³
Dióxido de carbono	1800 mg/m ³
Monóxido de Carbono	12,5 mg/m ³
Ozono	0,2 mg/m ³
Formaldeído	0,1mg/m ³
Compostos Orgânicos Voláteis Totais	0,6 mg/m ³
Bactérias	500 UFC/m ³
Fungos	500 UFC/m ³
Legionella	100 UFC/L água

Nota: UFC – Unidades formadoras de colónias

Valores limite para emissões de poluentes por produtos de consumo

Actualmente não existe legislação que estabeleça valores limite de emissões para produtos de consumo e em particular velas. Existem no entanto valores limite para emissões de materiais de construção, que poderão ser usados como valores de referência.

Para os materiais de construção desenvolveu-se o conceito de limite máximo aceitável para concentrações em ambientes interiores, LCI ("lowest concentrations of interest") para verificar se as concentrações estão dentro dos limites aconselháveis à saúde humana. Os valores de LCI foram encontrados tendo em conta os valores limites de qualidade do ar (AQGs - "air quality guidelines") ou limites de exposição ocupacional (OELs), como por exemplo TLVs ("threshold limit value"). No caso de existirem valores de AQGs, considera-se esse o valor de LCI; no caso de existirem vários AQGs estabelecidos por diferentes organizações, o valor mínimo é adoptado como valor de LCI. No entanto os valores de AQGs estão estabelecidos para poucos COVs, pelo que se teve que recorrer aos valores de OEL. Nestes casos o valor de LCI é calculado dividindo o valor de OEL por um factor de segurança (FS) que varia conforme o tipo de compostos:

FS = 100 no caso de compostos normais

FS = 1000 no caso de compostos teratogénicos e no caso de compostos carcinogénicos da categoria 3 de acordo com a classificação europeia (ECA, 1997).

Estes valores LCI podem, ser obtidos na publicação da ECA (1997) ou no documento de base do AgBB (2008), método de avaliação das emissões para materiais de revestimento criado pelo Instituto Alemão de Técnicas de Construção (DIBt).

2.6 Metodologias de amostragem dos COVs e Partículas

Na recolha de compostos orgânicos voláteis, o processo de recolha a utilizar vai depender da natureza dos compostos bem como do meio ambiente.

Na tabela 4, estão representados as diferentes categorias de compostos orgânicos, tendo em conta o seu ponto de ebulição. Esta categorização foi realizada pela OMS. [Agência Portuguesa do Ambiente, 2010].

Tabela 4 - Classificação dos compostos orgânicos voláteis e respectivos pontos de ebulição

Categoria	Descrição	Abreviatura	Gama de ponto de ebulição (°C)
1	Compostos Orgânicos muito voláteis	COMV	0 a 50-100
2	Compostos orgânicos voláteis	COV	50-100 a 240-260
3	Compostos orgânicos semivoláteis	COSV	240-260 a 380-400
4	Compostos orgânicos associados a matéria particulada ou a matéria Orgânica particulada	MOP	>380

Na tabela 5 estão descritos os processos de recolha utilizados para as quatro categorias de compostos orgânicos anteriormente referidas.

Tabela 5 - Processos de recolha dos diversos tipos de COV's

Classe dos compostos	Processo de recolha
COMVs	Adsorventes à base de carbono
COVs	Adsorventes à base de carbono ou resinas poliméricas orgânicas
Compostos orgânicos associados a matéria particulada	Filtros
Formaldeído	Água desionizada ou cartuchos de DNPH
Acetona, acetaldeído	Cartuchos de DNPH

No que diz respeito à amostragem dos COV's, esta pode ser efectuada recorrendo a métodos passivos ou métodos activos. Uma das grandes diferenças entre estes dois métodos consiste no tempo de amostragem necessário. Na amostragem passiva, o período de amostragem pode estender-se de várias horas até vários dias, enquanto que na amostragem activa, o período de amostragem abrange períodos de minutos até algumas horas [Agência Portuguesa do Ambiente, 2010].

A recolha de compostos orgânicos voláteis presentes no ar pode ser realizada através de adsorventes sólidos. Podem ser utilizados diversos materiais como adsorventes, entre eles:

- Carvão activado;
- Sílica-gel;
- Alumina activada;
- Peneiros moleculares;
- Tenax.

Os três primeiros, denominados normalmente por adsorventes amorfos, apresentam áreas específicas entre 200 e 1200 m²/g e uma distribuição de tamanhos de poros alargada. Os peneiros moleculares possuem tamanhos de poros exactos, sendo definidos pela sua estrutura cristalina.

A selecção dos adsorventes é condicionada pela afinidade do adsorvente com a natureza dos compostos que se pretende detectar, capacidade de adsorção e as condições ambientais.

Os adsorventes usados para a recolha de COV's de fluxos gasosos dividem-se em duas categorias:

- Adsorventes à base de carbono;
- Resinas poliméricas orgânicas.

O Tenax TA é o adsorvente mais utilizado nos estudos de COVs em ambientes interiores, pois apresenta uma elevada estabilidade térmica, permitindo dessa forma a completa desadsorção térmica dos compostos orgânicos recolhidos. Outras das vantagens do Tenax TA é a capacidade de reter uma larga gama de classes de compostos e a sua baixa afinidade para a água.

O Tenax TA (polímero do óxido de 2,6-difenil fenileno) é um polímero macroporoso semicristalino e com baixa polaridade, possuindo uma área entre 20 e 35 m²/g. Como já foi referido, o Tenax é o adsorvente mais utilizado por desadsorção térmica devido à sua alta estabilidade térmica, afinidade com numerosos compostos e tem um baixo valor de branco (referente ao valor encontrado na análise de tubos adsorventes).

A principal desvantagem do Tenax é a baixa capacidade de adsorção para compostos muito voláteis. De forma a aumentar a capacidade de adsorção, por vezes, são preparados tubos com uma mistura de adsorventes selectivos. Por exemplo, os adsorventes à base de carbono são mais eficientes na colheita de compostos orgânicos muito voláteis em comparação com os polímeros orgânicos, podendo ser usados em combinação com o Tenax. Há

que ter em conta, também, o facto de o Tenax TA ser um polímero que se vai degradando com o tempo, não obstante pode ser regenerado através de tratamento térmico.

O volume recolhido em Tenax TA não pode ultrapassar os 5 litros, de forma a não exceder a sua capacidade de adsorção. Após a amostragem os tubos são imediatamente selados, sendo analisados de seguida através de cromatografia gasosa. As análises dos COV's são efectuadas por cromatografia gasosa com espectrometria de massa, permitindo obter, com base numa calibração, as massas dos compostos e determinar as concentrações respectivas.

2.6.1 Cromatografia gasosa com detector por espectrometria de massa

Na cromatografia gasosa (GC), os componentes da mistura gasosa são transportados por uma fase móvel gasosa, normalmente hélio ou azoto, através de uma coluna que contém uma fase estacionária. A separação baseia-se na afinidade existente entre os analitos e a fase estacionária. A amostra pode ser colocada na coluna através de um injector, quer na forma gasosa, quer na forma líquida. A injeção pode ser feita sem repartição (splitless) ou com repartição (split) permitindo assim a transferência total ou apenas parcial da amostra para a coluna, funcionando como uma diluição da amostra.

Na figura 1, apresenta-se um esquema dos componentes básicos de um cromatógrafo gasoso.

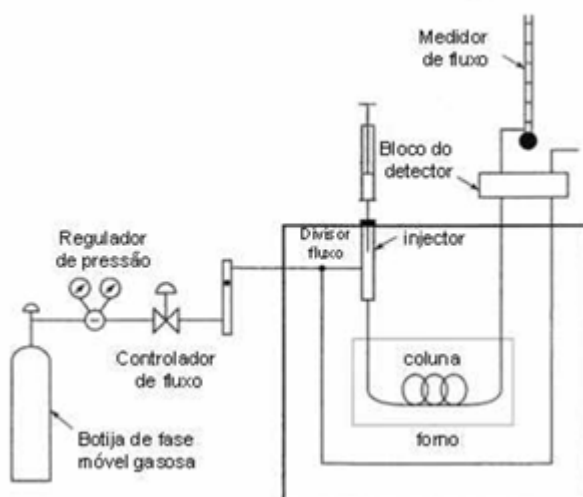


Figura 1 - Esquema de um cromatógrafo gasoso

A detecção por espectrometria de massa (MS) associada a GC permite identificar e determinar quantitativamente um número muito elevado e diversificado de compostos voláteis e semi-voláteis.

2.6.2 Captação de partículas ou aerossóis em suspensão no ar (PM_x)

Os principais métodos de medição de partículas ou aerossóis em suspensão no ar baseiam-se nos métodos gravimétricos e nos métodos ópticos.

Método gravimétrico

O método gravimétrico usa uma bomba de amostragem para fazer passar uma determinada quantidade de ar através de um filtro que se encontra dentro de uma cassete. As partículas que foram recolhidas são depositadas num filtro (37mm de diâmetro). A diferença de peso existente no filtro antes e depois da amostragem corresponde à massa de partículas existentes por unidade de volume de ar.

Para permitir a separação de partículas em fracções inferiores a 10 µm, pode-se utilizar um ciclone.

Os métodos gravimétricos são os métodos disponíveis mais simples e que acarretam menor custo. No entanto, são necessários procedimentos rigorosos de controlo e acondicionamento dos filtros antes e depois das pesagens, bem como a necessidade de uma balança analítica de elevada resolução no mínimo 0,01mg [Agência Portuguesa do Ambiente, 2010].

As partículas suspensas no ar foram monitorizadas por método gravimétrico com cabeça de amostragem selectiva para PM₁₀.

Os filtros ‘vazios’, filtros de fibra de vidro de 37 mm, eram condicionados numa sala com Temperatura e Humidade Relativa regulada ($T = 22^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$ e $HR = 50\% \pm 5\%$) num período mínimo de 48h antes de serem utilizados. A mesma estabilização era repetida após a amostragem de partículas no filtro.

Na amostragem foram utilizadas cabeças CIS (conical inhalable sampler – figura 3) da Casella com PUF específico para PM₁₀.

3. Estudo experimental

Existem diversos métodos possíveis de utilizar para a recolha de compostos orgânicos voláteis e partículas emitidos por velas. Alguns investigadores desenvolveram câmaras de testes próprias para a realização dos ensaios. Outros optaram por analisar os COV's e partículas em espaços bem definidos, como por exemplo igrejas, ou seja, optaram por não utilizar um ambiente laboratorial.

Para a realização da dissertação, optou-se pela utilização de uma câmara de testes, de forma recolher os COV's e as partículas num ambiente parcialmente controlado.

Devido ao facto de não existir nenhuma câmara de testes no IDMEC preparada para a recolha de material particulado, foi necessário desenvolver uma câmara de testes específica para a análise de emissões libertadas pelas velas.

Os desenhos técnicos da câmara de testes foram desenvolvidos em *SolidWorks*.

Após terem sido desenhadas as peças usando o *SolidWorks*, foi necessário realizar algumas alterações, nomeadamente no que diz respeito à forma como iria ser insuflado o ar para dentro da câmara de testes, bem como encontrar uma forma de elevar a vela a uma altura adequada que permitisse uma correcta insuflação do ar.

Após concluir esta etapa, foi necessário maquinar os elementos anteriormente projectados. Para tal, recorreu-se às Oficinas de Mecânica do DEMec-FEUP.

3.1 Descrição da instalação experimental

Para a realização das experiências necessárias para determinar a quantidade de partículas e COV's emitidos por velas, foi necessário elaborar uma câmara de testes de forma a ser possível captar todas as emissões produzidas pela combustão das velas.

A câmara de testes projectada (Figura 2) tem um volume de 0,0479 m³, sendo o ar fornecido assegurado por um compressor (KNF, modelo N035 AT.18) isento de óleo, passando por um filtro de carvão activado que assegura a purificação do ar antes de entrar na câmara. O ar é fornecido sensivelmente a uma taxa de 0,45 m³/h.

O controlo de temperatura é efectuado através do controlo da temperatura da sala, que se encontra equipada com um sistema de ar condicionado. O controlo da humidade relativa (HR) é efectuado através de um sistema baseado no ponto de orvalho. O ar, já purificado, passa por um recipiente em aço contendo água desionizada, onde é mantido a uma temperatura próxima da do ponto de orvalho. A HR pretendida obteve-se através de um aquecimento até à temperatura de 23 °C. O controlo da taxa de renovação é efectuado através da regulação do caudal de ar à saída do compressor, com o auxílio de um rotâmetro Cole-Parmer, que possui as seguintes características:

- Escala de 0 a 7590 ml/min;
- Precisão de $\pm 0.25\%$.

As amostras do ar presente na câmara de testes foram recolhidas através de tubos de aço, da marca DANI, empacotados com uma substância adsorventes, neste caso, o Tenax TA. Cada tubo tem capacidade para cerca de 160 ± 2 mg de adsorvente. Nas duas extremidades do recipiente colocou-se lã de vidro silanizada. Após o empacotamento, os tubos são descontaminados a uma temperatura de 300°C durante um período de 16 horas, com um fluxo de azoto constante (15-20 ml/min). Antes de poderem ser utilizados, os tubos são sujeitos a um período de limpeza, 20 minutos, através da utilização de um caudal de hélio (15 ml/min) a uma temperatura de 300°C.

As recolhas do ar são realizadas com o auxílio de uma bomba, da marca Apex com regulador de baixo fluxo, com um caudal de 50-90 ml/min.

A determinação dos compostos orgânicos voláteis é efectuado através de um sistema de desadsorção térmica seguida de uma pré-concentração criogénica da marca DANI, modelo SDT

33.50, acoplado a um cromatógrafo gasoso da marca Hewlet Packard, modelo HP 5890, que possui um detector selectivo de massa.

No que diz respeito às partículas, estas são recolhidas recorrendo a uma cabeça de amostragem da marca IOM, acoplado a uma bomba da marca Apex, com um caudal constante de 2,40 l/min.



Figura 2 - Instalação experimental (câmara de testes)

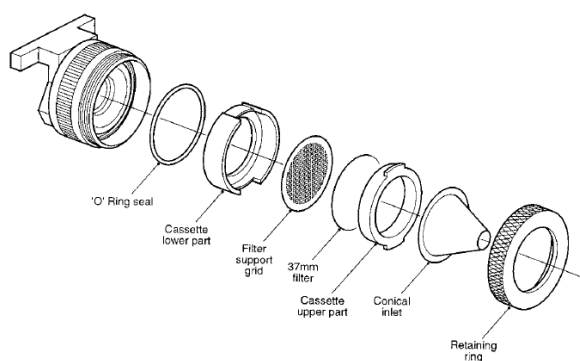


Figura 3 - cabeça de amostragem

3.2 Procedimento para a realização da experiência

Neste capítulo descreve-se o procedimento seguido para a realização dos ensaios, que compreendem as seguintes etapas.

1ª Etapa – Branco

Antes de começar a experiência propriamente dita, é necessário realizar um “branco” da câmara de testes. O “branco” consiste numa análise prévia das concentrações existentes na câmara de testes. Esta etapa é necessária pois não é possível eliminar todos os vestígios de COV's existentes dentro da câmara antes de se iniciar a experiência.

2ª Etapa - Pesagem dos filtros

A pesagem dos filtros, que irão ser utilizados na análise de partículas, são pesados numa balança modelo CP2P-F da marca Sartorius. De forma a determinar com exactidão o peso dos filtros é necessário recorrer a múltiplas medições.



Figura 4 - Balança e cabeça de amostragem

3ª Etapa – Colocação dos filtros no ciclone

Após concluir a pesagem dos filtros, estes são colocados no ciclone.

4ª Etapa – medição do caudal de ar na cabeça de amostragem

Acoplar o ciclone e a bomba de amostragem ao rotâmetro de forma a determinar o fluxo inicial que atravessa a cabeça de amostragem.



Figura 5 - medição do caudal de ar na cabeça de amostragem

5ª Etapa – colocação dos tubos de Tenax no equipamento

Antes de se iniciar a amostragem com o tubo de Tenax, é necessário verificar se não existem fugas nas ligações da bomba de amostragem ao tubo de Tenax. Caso não existam fugas, procede-se ao acoplamento do tubo à câmara de testes.



Figura 6 - colocação dos tubos de Tenax no equipamento

6ª Etapa – Medição da temperatura e humidade presente na câmara de testes

É necessário medir a temperatura e humidade antes de se iniciar o teste, pois estes parâmetros podem influenciar as análises que vão ser recolhidas. Para o efeito recorreu-se a um aparelho de medição da Testo 452.



Figura 7 - Medição da temperatura e humidade

7ª Etapa – Pesagem da vela

Antes de iniciar os ensaios é necessário determinar o peso inicial da vela, de forma a obter-se, posteriormente, a massa libertada durante o ensaio.



Figura 8 - Pesagem da vela

8ª Etapa – Colocação da vela na câmara de testes

Antes de iniciar o teste é necessário acender a vela e colocá-la dentro da câmara de testes.



Figura 9 - Colocação da vela na câmara de testes

9ª Etapa – Início do teste

Após a realização das etapas anteriormente referidas, é possível iniciar os testes.

Os equipamentos que irão realizar as análises dos COV's são ligados sensivelmente 2 horas após o início dos ensaios, com uma duração de 30 minutos, de forma a permitir que a câmara de testes atinja o regime permanente.

A análise das partículas libertadas durante o teste é realizada ao longo de todo o tempo necessário até ao fim do teste.



Figura 10 - Bomba acoplada ao tubo de Tenax

10ª Etapa – Finalização

Após a vela ter-se auto-extinguido, são removidos os equipamentos de medição.

Posteriormente, a câmara é aberta de forma a remover a vela. Após a vela ter sido removida, efectuar medição da temperatura e humidade presentes na câmara.

11ª Etapa – medição do fluxo do ciclone

Realizar o mesmo processo referido na 3ª etapa de forma a determinar o fluxo final da amostragem do material particulado.

12ª Etapa – Registo dos dados e armazenamento dos tubos de Tenax e filtros

Registar os valores obtidos durante o ensaio numa ficha de registo adequada nos termos usados no LQAI.

Armazenar os filtros e os tubos de Tenax em locais adequados.

13ª Etapa - Processamento da análise e dos dados

Analisar os tubos de Tenax, utilizados durante a experiência, com o auxílio do cromatógrafo gasoso. Os parâmetros de análise são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Parâmetros do sistema analítico durante as análises dos tubos de Tenax TA

		Temperatura (°C)	Tempo (min)	Caudal (ml/min)
STD	Desarsorção	260	10	10
	Pré-injector	-35	10	10
	Injecção	300	5	10
	Backfluch	320	25	2
GC Injector		250		
Forno	Valor inicial	40	5	
	Rampa	6°C/min	40	
	Valor final	280	5	
MSD		280		

Posteriormente, é necessário analisar os dados obtidos, através do software *Instrument #1 Data Analysis*. A quantificação dos picos cromatográficos (figura 11a) é efectuada com base no factor de resposta do tolueno, obtido através de uma calibração diária. A identificação é efectuada pela observação do espectro de massa (figura 11b) de cada pico, tendo-se em conta dois factores

- Picos com concentrações inferiores a 2,0 µg/m³ não são considerados;
- Compostos com uma qualidade de identificação inferior a 50% não são reportados.

No que diz respeito à análise das partículas durante o ensaio, após a realização dos ensaios, é necessário deixar os filtros estabilizarem durante aproximadamente cinco dias, sendo então possível realizar a sua pesagem.

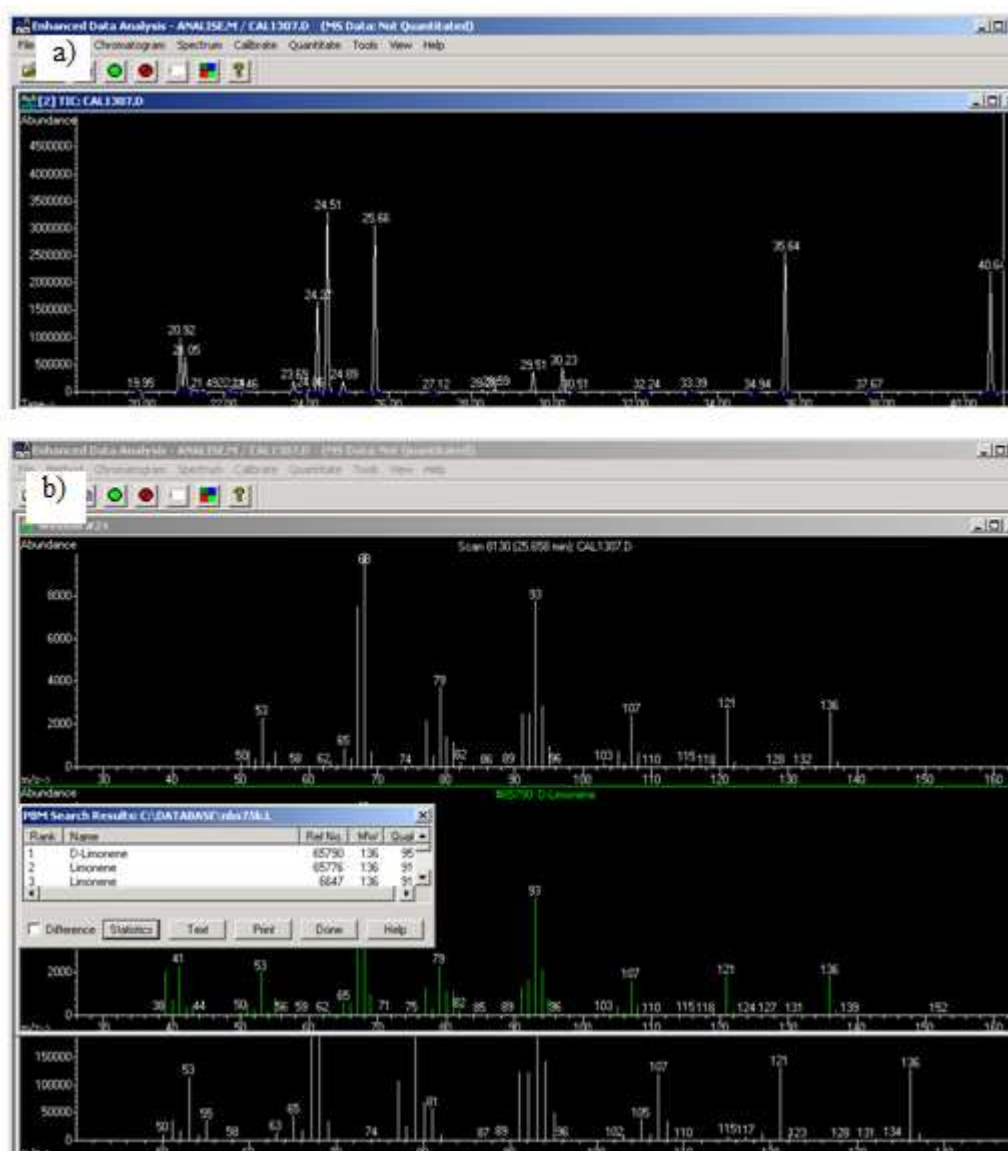


Figura 11 - Análise dos dados recolhidos utilizando o software Instrument #1 Data Analysis.

14ª Etapa – Limpeza

Após a conclusão do ensaio é necessário realizar a limpeza da câmara de testes de forma a eliminar ao máximo possível os vestígios de compostos presentes na câmara antes do próximo ensaio.

3.3 Análises preliminares

De forma a determinar as condições mais adequadas para a realização dos ensaios foi necessário realizar alguns testes e a partir dos resultados obtidos, foi possível verificar se os parâmetros dos ensaios eram adequados ou se devia proceder-se ao seu ajustamento.

3.3.1 Objecto de estudo

Nesta fase, ainda inicial, não foi possível estabelecer uma relação criteriosa e consistente da quantidade e tipo de velas a ensaiar. Assim, apenas se recorreu a informações recolhidas junto de comerciantes, com vista a identificar os tipos de velas mais vendidos. Deste modo, as velas que vieram a ser escolhidas são constituídas à base de parafina e apresentam tempos de duração e morfologias diferentes. Algumas das características são indicadas na tabela 7.

Tabela 7 - Descrição das velas utilizadas nas análises preliminares

Nº ID	Fabricado	Aroma	Ingredientes	Duração
em:				
1	Portugal	Flores da primavera	Não Identificado	3h51
1	Portugal	Flores da primavera	Não Identificado	3h44
1	Portugal	Flores da primavera	Não Identificado	2h58
1	Portugal	Flores da primavera	Não Identificado	3h

Numa primeira fase dos ensaios foi testado a vela do tipo 1, com uma duração aproximada de 4 horas, período durante o qual foi realizado um *branco* (teste de ensaio das condições iniciais da câmara de teste – zero do equipamento) e amostragem de COV's em duplicado com duração de 30 minutos cada. A análise de partículas foi determinada durante o período total de duração da vela, ou seja durante 4 horas.

Numa fase posterior analisou-se a emissão provocada pela queima simultânea de duas velas do tipo 1, com as mesmas condições de recolha de COV's e partículas.

3.3.2 Resultados obtidos nos ensaios preliminares – COV's

Nas tabelas seguintes estão apresentados os resultados obtidos para as emissões nos vários ensaios realizados.

Os parâmetros utilizados constam na tabela 8.

Tabela 8 - Parâmetros dos ensaios preliminares

Ensaio 1 – vela tipo 1			Ensaio 2 – vela tipo 1		
	Início	Fim		Início	Fim
Temp. (°C)	22,3	23,2	Temp. (°C)	22,5	24
Humidade (%)	44,7	61,4	Humidade (%)	45,2	58,7
Peso (g)	143,93	131,15	Peso (g)	143,82	133
Caudal (l/h)	221,2		Caudal (l/h)	226,1	
Ensaio 3 – 2 velas tipo 1			Ensaio 4 – 2 velas tipo 1		
	Início	Fim		Início	Fim
Temp. (°C)	22	27,6	Temp. (°C)	21,9	25,7
Humidade (%)	45,5	64,6	Humidade (%)	51,4	86,8
Peso (g)	156,64	136,06	Peso (g)	158,69	141,02
Caudal (l/h)	229,3		Caudal (l/h)	234,1	

Compostos Orgânicos Voláteis

As experiências nº1 e nº2 consistem na queima da vela tipo 1 na câmara de testes. Os ensaios tiveram a duração aproximada de 4 horas, tendo sido realizados para todos os ensaios o *branco* da câmara. Os valores de concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e respectivos factores de emissão ($\mu\text{g}/\text{h}$ e $\mu\text{g}/\text{h}$ por grama de vela queimada) dos COV's emitidos nos dois ensaios pela vela tipo 1 na câmara de testes estão apresentados nas tabelas 9 e 10.

Tabela 9 - Valores de concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e respectivos factores de emissão ($\mu\text{g}/\text{h}$ e $\mu\text{g}/\text{h}$ por grama de vela queimada) dos COV's emitidos no primeiro ensaio pela vela tipo 1 na câmara de testes

Ensaio nº1			
Composto	Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)(t=0h30)	FE ($\mu\text{g}/\text{h}$)	FE ($\mu\text{g}/\text{h}$ por g de vela queimada)
Benzeno	24,9	5,59	0,57
1-Heptene	10,4	2,34	0,23
Benzaldeído	84,6	19	1,93
2-Propenoic acid, 2-methyl-, butyl ester	42,2	9,48	0,96
1-Decene	15,4	3,47	0,35
Benzonitrilo	19,5	4,37	0,44
2-Propanol, 2-(2-hydroxypropoxy)-	325,4	73,2	7,43
Methane, diethoxy-	23,6	5,3	0,54
7-Octen-e-ol, 2,6-dimethyl-	102	22,8	2,31
1,2-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	104	23,3	2,36
Phenylethyl Alcohol	192	43,2	4,38
Acetic acid, phenylmethyl ester-	100	22,5	2,28
1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	19,7	4,42	0,45
6-Octen-1-ol, 3,7-dimethyl-, ®-	22,9	5,14	0,52
Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-,(1S)-	20,1	4,51	0,46
Piperonal	25,7	5,78	0,59
Diethyl Phthalate	24,5	5,5	0,56

Tabela 10 - Valores de concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e respectivos factores de emissão ($\mu\text{g}/\text{h}$ e $\mu\text{g}/\text{h}$ por grama de vela queimada) dos COV's emitidos no segundo ensaio pela vela tipo 1 na câmara de testes

Ensaio nº2			
Composto	Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)(t=0h30)	FE ($\mu\text{g}/\text{h}$)	FE ($\mu\text{g}/\text{h}$ por g de vela queimada)
Benzeno	14,1	3,18	0,29
1-Heptene	5,83	1,32	0,12
Benzaldehyde	82	18,5	1,71
Fenol	8,25	1,87	0,17
Benzonitrilo	20,4	4,6	0,43
2-Propanol, 1-methoxy-2-methyl-	62,7	14,2	1,31
Methane, diethoxy-	49,1	11,1	1,03
1-Propanol. 2-(2-hydroxypropoxy)-	78,8	17,8	1,65
1-Propanol. 2-(2-hydroxypropoxy)-	21,8	4,92	0,45
Methane, diethoxy-	8,79	1,99	0,18
7-Octen-2-ol, 2,6-dimethyl-	93,7	21,2	1,96
Acetofenona	33,7	7,62	0,7
1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	105	23,9	2,21
Phenylethyl Alcohol	163	37	3,42
Acetic acid, phenylmethyl ester	122	27,6	2,55
1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	8,99	2,03	0,19
1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	16,8	3,8	0,35
.beta.-Pinene	15,9	3,6	0,33
Piperonal	16,8	3,79	0,35
Diethyl Phthalate	12,7	2,87	0,27

As experiências nº3 e nº4 consistem na queima de duas velas tipo 1 em simultâneo na câmara de testes. Os ensaios tiveram a duração aproximada de 4 horas. Durante as análises realizadas, os seguintes compostos foram detectados.

Tabela 11 - Valores de concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e respectivos factores de emissão ($\mu\text{g}/\text{h}$ e $\mu\text{g}/\text{h}$ por grama de vela queimada) dos COV's emitidos no terceiro ensaio pela vela tipo 1 na câmara de testes

Ensaio nº3			
Composto	Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)(t=0h30)	FE ($\mu\text{g}/\text{h}$)	FE ($\mu\text{g}/\text{h}$ por g de vela queimada)
Benzaldeído	43,9	10,1	0,49
Benzonitrilo	17,2	3,94	0,19
Acetofenona	23,1	5,29	0,26

Tabela 12 - Valores de concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e respectivos factores de emissão ($\mu\text{g}/\text{h}$ e $\mu\text{g}/\text{h}$ por grama de vela queimada) dos COV's emitidos no quarto ensaio pela vela tipo 1 na câmara de testes

Ensaio nº4			
Composto	Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)(t=0h30)	FE ($\mu\text{g}/\text{h}$)	FE ($\mu\text{g}/\text{h}$ por g de vela queimada)
Ácido acético	19,5	4,57	0,26
Arsenous acid, tris(trimethylsilyl) ester	58,8	13,8	0,78
Benzaldeído	14,1	3,29	0,19
Benzonitrilo	6,12	1,43	0,08
Acetofenona	7,23	1,69	0,1

Os resultados apresentados dizem respeito apenas ao segundo tubo de Tenax amostrado. Verificou-se que o primeiro tubo de Tenax captava muito poucos compostos.

Partículas

Tabela 13 – Valores das concentrações ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de partículas emitidas pelas velas tipo 1 e 2 nos ensaios preliminares realizados em câmara de testes

Ensaio	Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Vela 1	395,4
Vela 1	473,7
2x Vela 1	222,1
2x Vela 1	452,7

Como se pode verificar, o valor de emissão de partículas libertadas pelos diferentes tipos de velas varia.

Os resultados obtidos nos dois ensaios realizados sobre a vela 1 apresentam valores relativamente semelhantes. No que diz respeito aos ensaios onde foram estudados duas velas do tipo 1 em simultâneo, os valores obtidos diferem bastantes dos obtidos anteriormente, já que seria suposto os valores serem superiores, o que não ocorreu. A diferença existente entre esses valores deve-se ao facto de durante as duas experiências realizadas, a humidade ser muito elevada, o que provocou acumulação de água nos filtros onde se analisava a emissão de partículas. Devido a essa ocorrência não é possível afirmar com certeza quais os valores emitidos durante essas três experiências.

3.3.3 Considerações finais sobre os ensaios preliminares

Tendo em conta os parâmetros utilizados nestes ensaios, verificou-se a existência de humidade na câmara de testes bem como nos tubos que fazem a ligação entre a câmara e a bomba utilizada na recolha de partículas. Devido a elevada humidade presente, os filtros colocados na cabeça de amostragem absorveram essa humidade, resultando num erro de medição do valor real do peso dos filtros. Por essa razão aumentou-se o caudal na câmara de testes.

Também se concluiu que, devido ao facto de haver grandes diferenças no nº de compostos detectados entre as amostras dos dois tubos de Tenax amostrados, os testes de recolha de COV's deveriam iniciar mais tarde em relação ao início do processo de queima das velas (cerca de 2 horas), com vista a garantir as condições de regime permanente.

4. Discussão e análise de resultados

4.1 Objectos de estudo

Durante a investigação realizada, foram efectuados 10 ensaios a 5 velas diferentes. De forma a abranger um maior leque de tipo de velas presentes no mercado, as velas testadas foram escolhidas de forma possuir características diferentes, nomeadamente no que diz respeito ao tempo de duração, bem como aos aromas. Na tabela 14 estão apresentados os objectos de estudo investigados bem como algumas características.

Tabela 14 - Descrição das velas utilizadas nos ensaios

Nº ID	Fabricado	Aroma	Ingredientes	Duração
	em:			
1	Portugal	Flores da primavera	Não	3h32min
			Identificado	3h26min
2	Portugal	Spring Lavender	Não	3h58min
			Identificado	4h02min
3	Espanha	Não Identificado	Não	4h21min
			Identificado	4h31min
4	Tunísia	Bambu do Cambodja	Não	3h48min
			Identificado	4h01min
5	Tunísia	Baunilha de Madagáscar	Baunilha de	4h22min
			Madagáscar	5h26min

4.2 Resultados obtidos

Neste capítulo estão apresentados os resultados obtidos nos dez ensaios realizados.

Os resultados apresentados nas tabelas seguintes, referentes aos resultados obtidos para as cinco velas estudadas, referem-se aos compostos que foram detectados nos dois ensaios realizados para cada tipo de vela. É possível que alguns compostos não estejam presentes nessas tabelas, mas que, de facto, sejam emitidos durante a queima das velas, devido ao facto de poderem estar dissimulados noutros compostos e não terem sido detectados, apresentarem uma concentração inferior a $2\mu\text{g}/\text{m}^3$ ou uma qualidade de identificação inferior a 50%.

4.2.1 Avaliação das emissões das velas estudadas

Vela nº 1

Foram realizados dois ensaios tendo como objecto de estudo a vela nº1. O primeiro ensaio teve a duração 3h32min. O segundo ensaio teve a duração 3h26min. Em ambos os casos foi realizado anteriormente o branco da câmara.

Os parâmetros referentes a este ensaio estão representados na tabela 15.

Tabela 15 - Parâmetros dos ensaios nº1 e 2

	Ensaio nº1		Ensaio nº2	
	Início	Fim	Início	Fim
Temp. (°C)	21,8	25,8	24,1	25,9
Humidade (%)	32,2	31	41,3	28,4
Peso (g)	143,82	133,22	143,89	132,88
Caudal (l/h)	450,5		431,2	

Os compostos detectados durante as análises realizadas nos ensaios 1 e 2 são apresentados na tabela 16 e gráfico 1.

Tabela 16 - Valores de concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e respectivos factores de emissão ($\mu\text{g}/\text{h}$ e $\mu\text{g}/\text{h}$ por grama de vela queimada) dos COV's emitidos nos dois ensaios pela vela tipo 1 na câmara de testes

Composto	Ensaio nº1- Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)(t=2h00)	FE ($\mu\text{g}/\text{h}$)	FE ($\mu\text{g}/\text{h}$ por g de vela queimada)	Ensaio nº2- Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)(t=2h30min)	FE ($\mu\text{g}/\text{h}$)	FE ($\mu\text{g}/\text{h}$ por g de vela queimada)	Média do FE
Benzaldeído	21,2	9,55	0,90	29,9	12,9	1,17	1,04
Fenol	3,95	1,78	0,17	6,95	3,00	0,27	0,22
1-Decene	3,80	1,71	0,16	5,10	2,20	0,20	0,18
Benzonitrile	5,45	2,46	0,23	5,85	2,52	0,23	0,23
1-Propanol, 2-(2-hydroxypropoxy)-	36,1	16,3	1,53	59,9	25,8	2,35	1,94
Methane, diethoxy-	19,9	8,94	0,84	5,70	2,46	0,22	0,53
7-Octen-2-ol, 2,6-dimethyl-	8,85	3,99	0,38	11,3	4,85	0,44	0,41
Acetofenona	10,9	4,91	0,46	14,9	6,42	0,58	0,52
Phenylethyl Alcohol	31,1	14,0	1,32	28,9	12,5	1,13	1,23
Ácido Benzoíco	19,1	8,58	0,81	26,6	11,5	1,04	0,93
Acetic acid, phenylmethyl ester	24,6	11,1	1,04	17,5	7,52	0,68	0,86
Piperonal	9,70	4,37	0,41	9,95	4,29	0,39	0,40

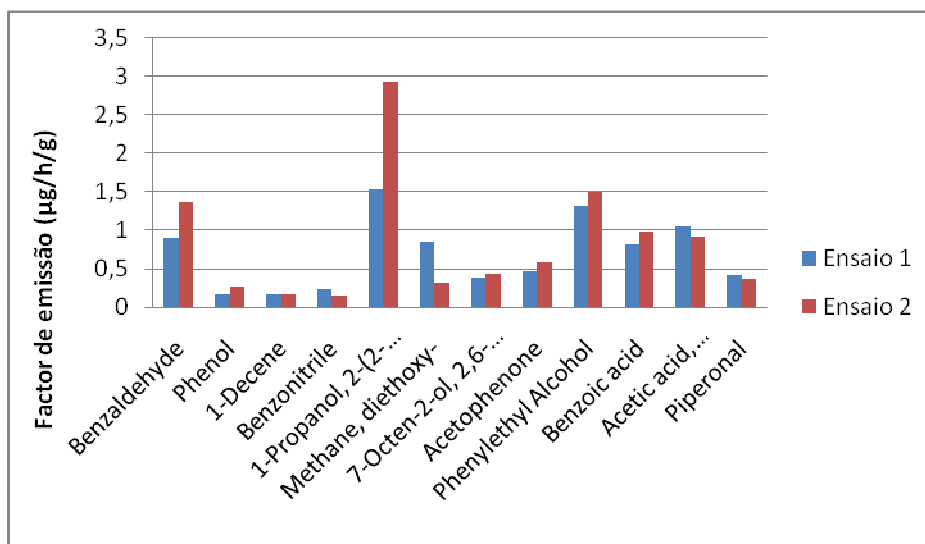


Gráfico 1 - Valores dos factores de emissão ($\mu\text{g/h}$ por grama de vela queimada) dos COV's emitidos nos dois ensaios pela vela tipo 1 em câmara de teste

Os valores obtidos durante os dois ensaios apresentam quase todos valores relativamente semelhantes. As diferenças detectadas durante esses ensaios podem dever-se à heterogeneidade das velas. O facto do caudal de ar insuflado dentro da câmara de testes não ser exactamente o mesmo para os dois ensaios poderia ter alguma influência, sendo que o factor de emissão depende do caudal de ar insuflado. O facto da temperatura inicial no segundo ensaio ser superior poderá também ter afectado as emissões da vela que apresentaram valores mais elevados para a maior parte dos compostos identificados.

Vela nº 2

Foram realizados dois ensaios tendo como objecto de estudo a vela nº2. O primeiro ensaio teve a duração 3h58min. O segundo ensaio teve a duração 4h02min.

Os parâmetros referentes aos ensaios estão representados na tabela 17.

Tabela 17 - Parâmetros dos ensaios nº1 e 2

	Ensaio nº1		Ensaio nº2	
	Início	Fim	Início	Fim
Temp. (°C)	21,5	28,5	21,7	29,3
Humidade (%)	34,4	30,1	27,6	21,9
Peso (g)	307,08	287,96	306,61	287,21
Caudal (l/h)	431,2		457	

Os compostos detectados durante as análises realizadas nos ensaios 1 e 2 são apresentados na tabela 18 e gráfico 2.

Tabela 18 - Valores de concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e respectivos factores de emissão ($\mu\text{g}/\text{h}$ e $\mu\text{g}/\text{h}$ por grama de vela queimada) dos COV's emitidos nos dois ensaios pela vela tipo 2 na câmara de testes

Composto	Ensaio nº1- Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)(t=2h00)	FE ($\mu\text{g}/\text{h}$)	FE ($\mu\text{g}/\text{h}$ por g de vela queimada)	Ensaio nº2- Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)(t=2h30min)	FE ($\mu\text{g}/\text{h}$)	FE ($\mu\text{g}/\text{h}$ por g de vela queimada)	Média do FE
2,4-Octadiene	130	56,4	2,95	23,9	10,9	0,56	1,76
2-Butenal, 3-methyl-	67,6	29,1	1,52	20,9	9,57	0,49	1,01
Estireno	18,8	8,08	0,42	2,71	1,24	0,06	0,24
Benzaldeído	82,2	35,4	1,85	20,7	9,44	0,49	1,17
Fenol	23	9,93	0,52	6,42	2,93	0,15	0,34
.beta.-Myrcene	58,4	25,2	1,32	14	6,41	0,33	0,83
D-Limonene	58,5	25,2	1,32	12,9	5,92	0,3	0,81
Eucalyptol	86,7	37,4	1,96	27,3	12,5	0,64	1,30
2(3H)-Furanone, 5-ethenyldihydro-5-methyl	65,7	28,3	1,48	15,6	7,11	0,37	0,93
7-Octen-2-ol, 2,6-dimethyl-	3680	1587	83	921	421	21,7	52,4
2-Furanmethanol, 5-ethenyltetrahydro-.alpha., .alpha., 5-trimethyl-, cis-	388	167	8,75	77,5	35,4	1,82	5,29
1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	6473	2791	146	1685	770	39,7	92,9
1,5,7-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	267	115	6,03	72,3	33	1,7	3,87
Camphor	1009	435	22,8	274	125	6,46	14,6
2H-Pyran-3-ol, 6-ethenyltetrahydro-2,2,6-trimethyl-	196	84,5	4,42	43,8	20	1,03	2,73
3,7-Octadiene-2,6-diol, 2,6-dimethyl-	272	117	6,14	65	29,7	1,53	3,84
Benzaldehyde, 4-methoxy-	529	228	11,9	123,2	56,3	2,9	7,40
2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, acetate, (Z)-	583	251	13,1	139	63,3	3,26	8,18
2H-1-Benzopyran-2-one	95,9	41,3	2,16	19,6	8,97	0,46	1,31

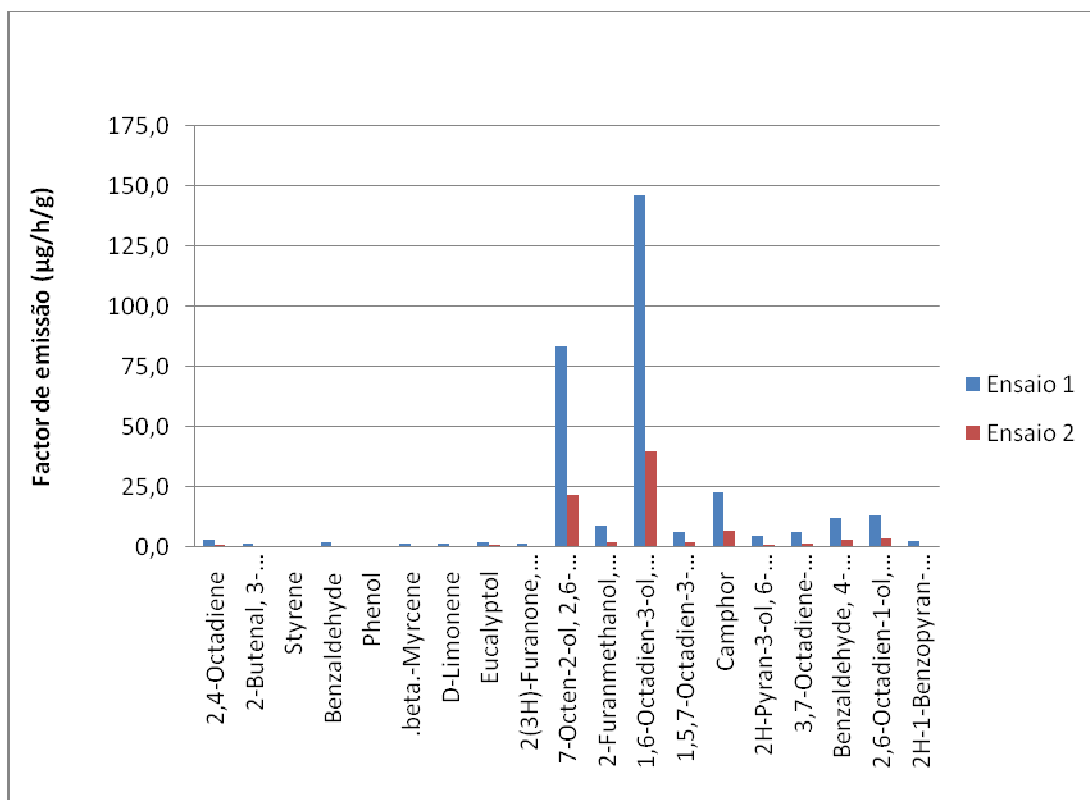


Gráfico 2 - Valores dos factores de emissão (µg/h por grama de vela queimada) dos COV's emitidos nos dois ensaios pela vela tipo 2 em câmara de teste

Os resultados obtidos apresentam valores bastante diferentes entre os dois ensaios. No entanto, a nível qualitativo os resultados são semelhantes. Foram detectados os mesmos compostos e em ambas as velas os compostos com concentrações mais elevadas são os compostos 7-Octen-2-ol, 2,6-dimethyl seguido de 1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl. Os resultados obtidos no primeiro ensaio são bastante superiores aos valores obtidos no segundo ensaio. A diferença de caudal existente entre os dois ensaios não pode justificar por si só uma diferença tão elevada dos resultados. Essa diferença pode dever-se à heterogeneidade existente entre as duas velas.

Vela nº 3

Foram realizados dois ensaios tendo como objecto de estudo a vela nº3. O primeiro ensaio teve a duração 4h21min. O segundo ensaio teve a duração 3h31min. Em ambos os casos foi realizado anteriormente o branco da câmara.

Os parâmetros referentes aos ensaios estão representados na tabela 19.

Tabela 19 - Parâmetros dos ensaios nº1 e 2

	Ensaio nº1		Ensaio nº2	
	Início	Fim	Início	Fim
Temp. (°C)	22,0	26,9	20,8	22,5
Humidade (%)	29,7	16,4	33,7	30,1
Peso (g)	364,16	336,62	363,06	342,82
Caudal (l/h)	460,2		457	

Os compostos detectados durante as análises realizadas nos ensaios 1 e 2 são apresentados na tabela 20 e gráfico 3.

Tabela 20 - Valores de concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e respectivos factores de emissão ($\mu\text{g}/\text{h}$ e $\mu\text{g}/\text{h}$ por grama de vela queimada) dos COV's emitidos nos dois ensaios pela vela tipo 3 na câmara de testes

Composto	Ensaio nº1- Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)(t=2h00)	FE ($\mu\text{g}/\text{h}$)	FE ($\mu\text{g}/\text{h}$ por g de vela queimada)	Ensaio nº2- Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)(t=2h30min)	FE ($\mu\text{g}/\text{h}$)	FE ($\mu\text{g}/\text{h}$ por g de vela queimada)	Média do FE
Estireno	2,19	1,01	0,04	2,3	1,05	0,05	0,05
Benzaldeído	8,64	3,98	0,14	6,99	3,19	0,16	0,15
Acetofenona	6,28	2,89	0,1	5,88	2,69	0,13	0,12
Ácido benzoico	5,98	2,75	0,1	6,62	3,03	0,15	0,13
2(3H)-Furanone, 5- butyldihydro-	9,63	4,43	0,16	18,8	8,58	0,42	0,29

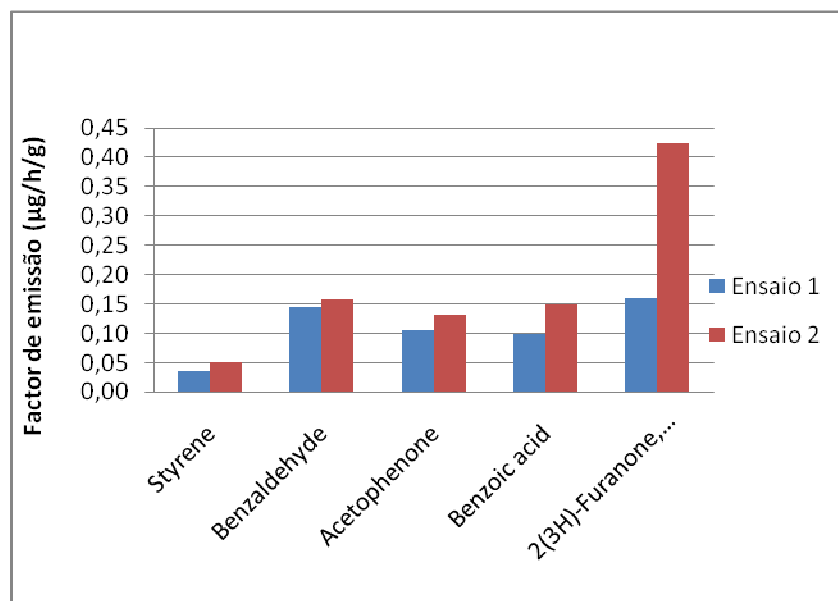


Gráfico 3 - Valores dos factores de emissão (µg/h por grama de vela queimada) dos COV's emitidos nos dois ensaios pela vela tipo 3 em câmara de teste

O ensaio efectuado com a vela 3 apresenta valores relativamente próximos nos dois ensaios realizados, exceptuando o 2(3H)-Furanone, 5-butyldihydro, que apresenta no segundo ensaio um valor de concentração duplo do valor obtido no primeiro ensaio. Verificou-se uma diferença temporal entre os dois ensaios, de cerca de 50 minutos, o que também por si só não explica uma diferença tão grande na emissão desse composto.

Vela nº 4

Foram realizados dois ensaios tendo como objecto de estudo a vela nº4. O primeiro ensaio teve a duração 3h48min. O segundo ensaio teve a duração 4h01min. Em ambos os casos foi realizado anteriormente o branco da câmara.

Os parâmetros referentes aos ensaios estão representados na tabela 21.

Tabela 21 - Parâmetros dos ensaios nº1 e 2

	Ensaio nº1		Ensaio nº2	
	Início	Fim	Início	Fim
Temp. (°C)	22,5	32,5	22,6	36,5
Humidade (%)	31,6	19,6	31,5	17,5
Peso (g)	179,87	164,59	179,81	160,73
Caudal (l/h)	457		455,4	

Os compostos detectados durante as análises realizadas nos ensaios 1 e 2 são apresentados na tabela 22 e gráfico 4.

Tabela 22 - Valores de concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e respectivos factores de emissão ($\mu\text{g}/\text{h}$ e $\mu\text{g}/\text{h}$ por grama de vela queimada) dos COV's emitidos nos dois ensaios pela vela tipo 4 na câmara de testes

Composto	Ensaio nº1- Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)(t=2h00)	FE ($\mu\text{g}/\text{h}$)	FE ($\mu\text{g}/\text{h}$ por g de vela queimada)	Ensaio nº2- Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)(t=2h30min)	FE ($\mu\text{g}/\text{h}$)	FE ($\mu\text{g}/\text{h}$ por g de vela queimada)	Média do FE
Benzaldeído	8,23	3,76	0,25	19,5	8,89	0,47	0,36
Acetofenona	2,22	1,01	0,07	5,12	2,33	0,12	0,10
3-Octanol, 3,7dimethyl-	12,9	5,90	0,39	23,9	10,9	0,57	0,48
Phenylethyl Alcohol	21,8	9,98	0,65	25,9	11,8	0,62	0,64
Acetic acid, phenylmethyl ester	5,20	2,38	0,16	9,49	4,32	0,23	0,20

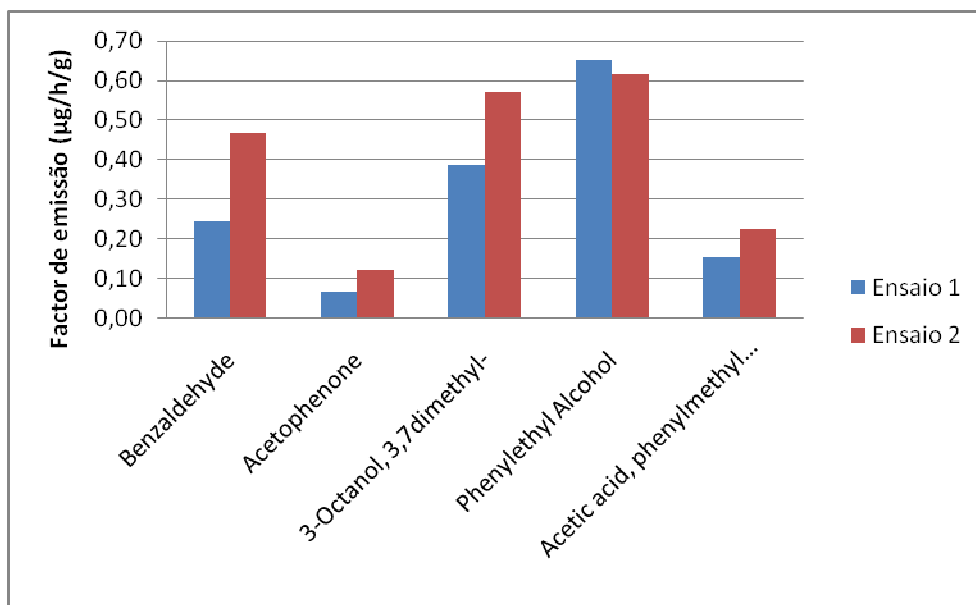


Gráfico 4 - Valores dos factores de emissão (µg/h por grama de vela queimada) dos COV's emitidos nos dois ensaios pela vela tipo 3 em câmara de teste

Os valores obtidos nos ensaios da vela 4 apresentam valores relativamente próximos, exceptuando os valores referentes ao benzaldeído.

Vela nº 5

Foram realizados dois ensaios tendo como objecto de estudo a vela nº5. O primeiro ensaio teve a duração 4h22min. O segundo ensaio teve a duração 5h36min. Em ambos os casos foi realizado anteriormente o branco da câmara.

Os parâmetros referentes aos ensaios estão representados na tabela 23.

Tabela 23 - Parâmetros dos ensaios nº1 e 2

	Ensaio nº1		Ensaio nº2	
	Início	Fim	Início	Fim
Temp. (°C)	22,5	30,2	21,7	30,9
Humidade (%)	31,6	31,3	30,9	31,6
Peso (g)	180,96	154,55	178,77	146,2
Caudal (l/h)	457		457	

Os compostos detectados durante as análises realizadas nos ensaios 1 e 2 são apresentados na tabela 24 e gráfico 5.

Tabela 24 - Valores de concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e respectivos factores de emissão ($\mu\text{g}/\text{h}$ e $\mu\text{g}/\text{h}$ por grama de vela queimada) dos COV's emitidos nos dois ensaios pela vela tipo 5 na câmara de testes

Composto	Ensaio nº1- Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)(t=2h00)	FE ($\mu\text{g}/\text{h}$)	FE ($\mu\text{g}/\text{h}$ por g de vela queimada)	Ensaio nº2- Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)(t=2h00)	FE ($\mu\text{g}/\text{h}$)	FE ($\mu\text{g}/\text{h}$ por g de vela queimada)	Média do FE
Benzeno	2,59	1,18	0,04	5,54	2,53	0,08	0,06
Ethylbenzene	2,58	1,18	0,04	3,85	1,76	0,05	0,05
Styrene	2,82	1,29	0,05	13,2	6,04	0,19	0,12
Benzaldehyde	22,1	10,1	0,38	27,9	12,7	0,39	0,39
Acetophenone	12,1	5,53	0,21	21	9,59	0,29	0,25
acetic acid, phenylmethyl ester	4,78	2,18	0,08	8,45	3,86	0,12	0,10
Isobornyl isovalerate	63,8	29,2	1,1	69,7	31,9	0,98	1,04
Vanilin	22,5	10,3	0,39	32,3	14,8	0,45	0,42
Ethyl Vanilin	25,7	11,7	0,44	33,5	15,3	0,47	0,46
Ftalato de dietilo	744	340	12,9	2381	1088	33,4	23,2

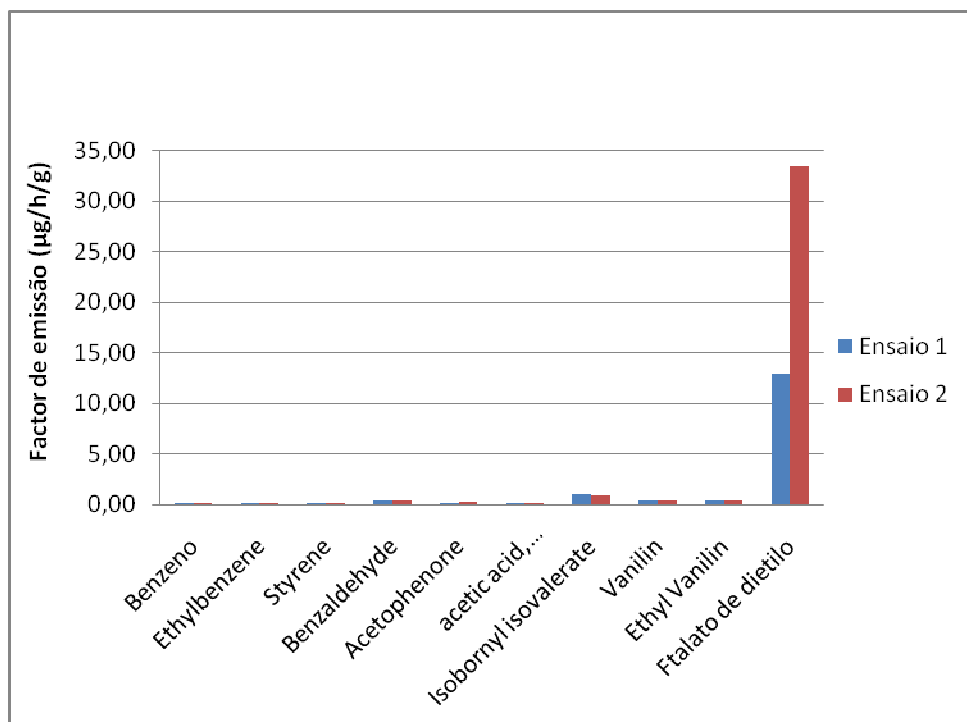


Gráfico 5 - Valores dos factores de emissão (µg/h por grama de vela queimada) dos COV's emitidos nos dois ensaios pela vela tipo5 em câmara de teste

Os valores obtidos nos ensaios de vela 5 apresentam valores relativamente semelhantes com excepção dos valores obtidos para o Ftalato de dietilo que são muito superiores no segundo ensaio. A diferença existente pode dever-se a heterogeneidades nas velas. O facto de as duas velas que deveriam ser semelhantes terem tempos de queima muito diferentes, com a segunda vela a durar cerca de 1 hora mais, reflecte a existência de diferenças na sua composição.

Como foi referido, nas tabelas anteriormente apresentadas estão apenas indicados os compostos orgânicos voláteis que foram detectados em ambos os ensaios realizados para cada vela. O que não significa que só são emitidos esses COV's durante a queima das velas. Seria necessário realizar mais ensaios de forma a determinar com maior certeza quais os COV's que são realmente libertados durante o processo de queima de velas, bem como as suas concentrações.

4.2.1 Comparação entre os valores de COV's emitidos pelas várias velas

Tendo em conta que o caudal de ar insuflado dentro da câmara varia ligeiramente durante as experiências realizadas, as emissões de compostos orgânicos voláteis libertadas pelas diferentes velas vão ser comparadas tendo como base o factor de emissão.

Os compostos apresentados nesta análise foram escolhidos pois estão presentes na grande maioria dos ensaios realizados.

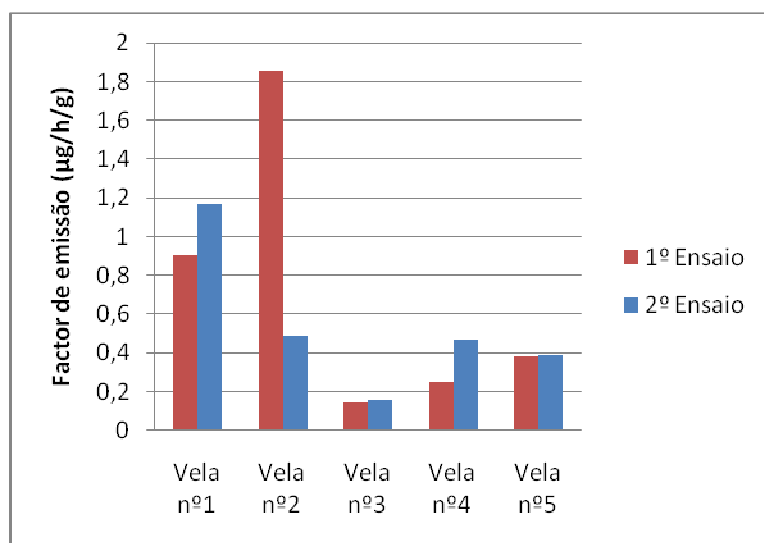


Gráfico 6 – Valores dos factores de emissão (µg/h por grama de vela queimada) do Benzaldeído emitidos nos dois ensaios pelas velas tipo1 a 5 em câmara de teste

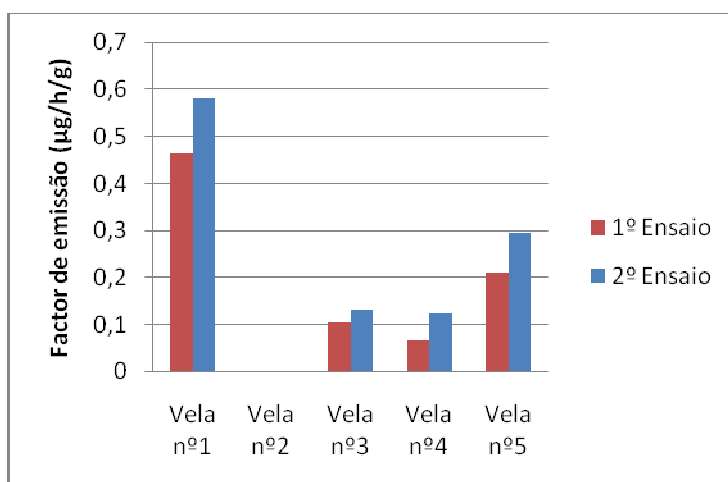


Gráfico 7 - Valores dos factores de emissão (µg/h por grama de vela queimada) da Acetofenona emitidos nos dois ensaios pelas velas tipo1 a 5 em câmara de teste

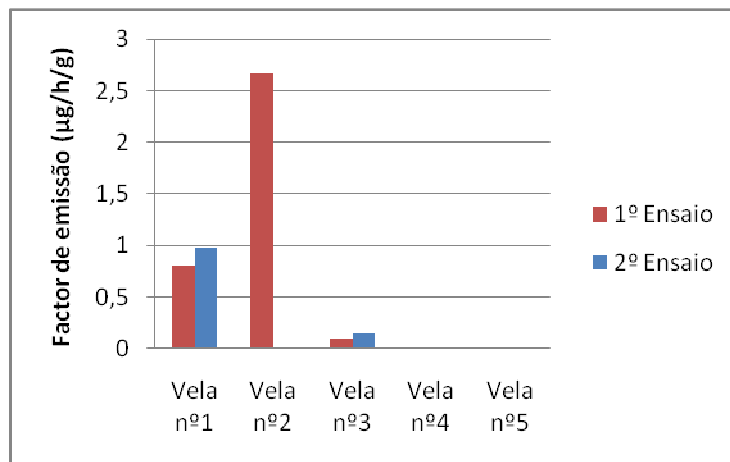


Gráfico 8 - Valores dos factores de emissão (µg/h por grama de vela queimada) do Ácido Benzoico emitidos nos dois ensaios pelas velas tipo1 a 5 em câmara de teste

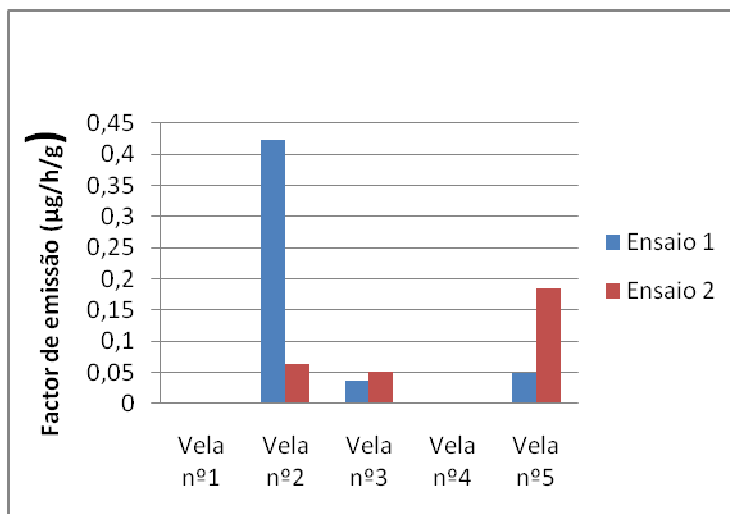


Gráfico 9 – Valores dos factores de emissão (µg/h por grama de vela queimada) do Estireno emitidos nos dois ensaios pelas velas tipo1 a 5 em câmara de teste

Tendo como base os resultados apresentados nos gráficos 6,7,8 e 9, pode-se verificar que nem todas as velas emitem o mesmo tipo de COV's, o mesmo acontece no que diz respeito às suas concentrações. Se for analisado as velas separadamente, pode-se verificar, que mesmo para duas velas “idênticas” os níveis de concentração emitidos diferem entre eles. Essa diferença pode resultar de diferentes parâmetros de ensaio, bem como devido à heterogeneidade existente entre duas velas “idênticas”.

4.2.2 Partículas

Na tabela 25 estão apresentados os valores obtidos durante os ensaios realizados.

Tabela 25 - Valores das concentrações ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de partículas emitidas pelas velas tipo 1 a 5 nos ensaios realizados em câmara de testes

Ensaio	Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	FE (ug/h)	FE (ug/h por g de vela queimada)
Vela 1	211,7	95,4	9,00
Vela 1	82,8	35,7	3,24
Vela 2	823,2	355	18,6
Vela 2	539,2	246	12,7
Vela 3	1168,4	538	19,5
Vela 3	669,3	306	15,1
Vela 4	211,7	96,7	6,33
Vela 4	327,2	149	7,81
Vela 5	7510,5	3432	130
Vela 5	787,7	360	11,1

Como se pode verificar, os valores referentes à análise de partículas emitidas pelas cinco velas é muito variável. Os resultados obtidos para os dois ensaios da vela 5 apresentam grande discrepância (ver gráfico 10). De notar que no caso da vela 5 o 1º ensaio apresenta valores muito superiores ao do 2º ensaio, situação inversa do observado nas emissões de ftalato de dietilo que foram muito superiores no 2º ensaio (ver gráfico 5). Esta constatação poderá levantar a hipótese de o ftalato de dietilo emitido pela vela no 1º ensaio ter ficado agregado à matéria particulada, aumentando em muito a massa de partículas detectadas.

As restantes discrepâncias podem dever-se a heterogeneidades existentes entre as velas ensaiadas bem como a uma duração de ensaio diferente, tal como foi referido na análise dos resultados dos COVs..

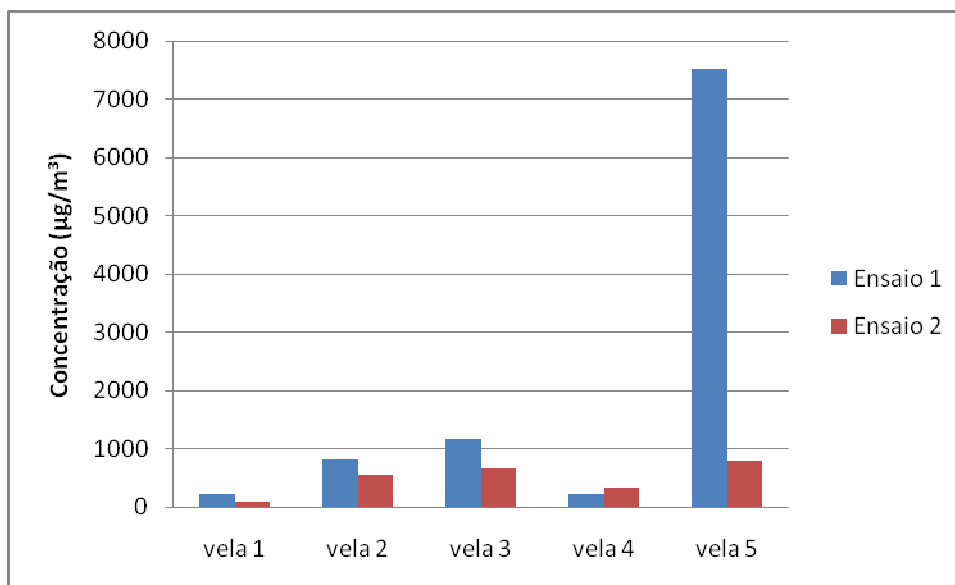


Gráfico 10 – Valores de concentração (µg/m³) das partículas emitidas pelas velas tipo 1 a 5 em câmara de testes nos ensaios realizados

4.3 Previsão das concentrações geradas em ambientes reais pelas emissões das velas estudadas

Com base nos resultados obtidos para os Factores de Emissão de diversos COVs e partículas pelas velas, é possível efectuar o cálculo da concentração que se obteria numa sala real, considerando uma situação estacionária através da equação:

$$C = FE / Q$$

sendo Q o caudal de ar novo na sala real.

Nas tabelas 26 a 30 estão apresentados os factores de emissão (FE) dos compostos observados após 60 minutos de utilização da vela 1, 2, 3, 4 e 5 e valores de concentração calculados para uma situação real numa sala de 24 m² e altura de 3 m, com meia renovação horária (0,5 h⁻¹), a que corresponderia portanto um caudal de 36 m³/h.

Tabela 26 - Simulação em ambiente real – Vela tipo 1

Composto	Factor. emissão µg/h	C sala real µg/m³
Benzaldeído	12,9	0,36
fenol	3,00	0,08
1-deceno	2,20	0,06
benzonitrilo	2,52	0,07
2-(2-hidroxipropoxi) -1-propanol	25,8	0,72
dietoximetano	2,46	0,07
2,6-dimetil-7-octen-2-ol	4,85	0,13
acetofenona	6,42	0,18
álcool fenilético	12,5	0,35
ácido benzóico	11,5	0,32
ácido acético fenilmetil éster	7,52	0,21
piperal	4,29	0,12
Σ COV's identificados	95,9	2,66
PM10	65,5	1,82

Tabela 27 - Simulação em ambiente real – Vela tipo 2

Composto	Factor. emissão µg/h	C sala real µg/m ³
2,4-Octadiene	10,9	0,30
2-Butenal, 3-methyl-	9,57	0,27
Benzaldeído	9,44	0,26
Fenol	2,93	0,08
.beta.-Myrcene	6,41	0,18
D-Limonene	5,92	0,16
Eucalyptol	12,5	0,35
2(3H)-Furanone, 5-ethenyldihydro-5-methyl	7,11	0,20
7-Octen-2-ol, 2,6-dimethyl-	421	11,7
2-Furanmethanol, 5-ethenyltetrahydro-.alpha., .alpha., 5-trimethyl-, cis-	35,4	0,98
1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	770	21,4
1,5,7-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	33,0	0,92
Camphor	125	3,48
2H-Pyran-3-ol, 6-ethenyltetrahydro-2,2,6-trimethyl-	20,0	0,56
3,7-Octadiene-2,6-diol, 2,6-dimethyl-	29,7	0,83
Benzaldehyde, 4-methoxy-	56,3	1,56
2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, acetate, (Z)-	63,3	1,76
2H-1-Benzopyran-2-one	8,97	0,25
Σ COV's identificados	1628	45,2
PM10	301	8,35

Tabela 28 - Simulação em ambiente real – Vela tipo 3

Composto	Factor. emissão µg/h	C sala real µg/m³
Estireno	1,05	0,03
Benzaldeído	3,19	0,09
Acetofenona	2,69	0,07
Ácido Benzoico	3,03	0,08
2(3H)-Furanone, 5-butyldihydro-	8,58	0,24
Σ COV's identificados	18,5	0,52
PM10	422	11,7

Tabela 29 - Simulação em ambiente real – Vela tipo 4

Composto	Factor. emissão µg/h	C sala real µg/m³
Benzaldeído	8,89	0,25
Acetofenona	2,33	0,06
3-Octanol, 3,7dimethyl-	10,9	0,30
Álcool feniletílico	11,8	0,33
Acetic acid, phenylmethyl ester	4,32	0,12
Σ COV's identificados	38,2	1,06
PM10	123	3,41

Tabela 30 - Simulação em ambiente real – Vela tipo 5

Composto	Factor. emissão µg/h	C sala real µg/m³
Benzeno	2,53	0,07
Etilbenzeno	1,76	0,05
Estireno	6,04	0,17
Benzaldeído	12,7	0,35
Acetofenona	9,59	0,27
acetic acid, phenylmethyl ester	3,86	0,11
Isobornil de isovalerato	31,9	0,88
Vanilina	14,8	0,41
Etil-vanilina	15,3	0,43
Ftalato de dietilo	1088	30,2
Σ COV's identificados	1187	33,0
PM10	1896	52,7

No caso dos COVs, do cálculo efectuado, pode observar-se que as concentrações geradas pela queima das velas estudadas num ambiente real são relativamente baixas, com a excepção das velas 2 e 5. Pode observar-se que a utilização de apenas uma destas duas velas contribui com um valor de quase 7,5% para o valor limite de COVs totais estabelecido pelo RSECE que é de 600 µg/m³. De notar ainda que a vela 5 emite dois compostos com efeitos nocivos para a saúde, o benzeno e o ftalato de dietilo. Considerando que a utilização destas velas pode ocorrer em condições de ventilação mais desfavoráveis que a utilizada para o cálculo, e que existem muitas outras fontes a contribuir para a concentração total de COVs, a selecção do tipo de velas a utilizar nas nossas casas deve ser ponderada.

Já no que respeita às partículas pode observar-se que as concentrações geradas pela queima das velas estudadas são relativamente baixas com excepção da vela 5. A concentração máxima permitida pelo RSECE é de 150 µg/m³. A vela 5 pode gerar uma concentração considerável,

representando sensivelmente 35% desse valor. A vela 2 e 3 podem contribuir com 5,6 e 7,8 %, respectivamente, para o valor da concentração limite de partículas.

4.4 Cálculo do Índice de Risco para as velas estudadas

Verificou-se que os principais COVs emitidos são terpenos e álcoois derivados do uso dos chamados óleos essenciais. No entanto também se observaram emissões de benzeno, alcenos e ésteres. A tabela 25 mostra os compostos emitidos por todas as velas e a informação toxicológica disponível para os compostos identificados. O valor de LCI (Lowest concentration of interest) foi obtido de listagens existentes para avaliação das emissões de materiais de construção como o relatório 18 da ECA (citado em ECA 1997) ou do AgBB (citado em AgBB Evaluation scheme, 2008). Em alguns casos foi obtido da Norma Portuguesa para Saúde Ocupacional (NP 1797, 2007), dividindo os valores limite de exposição por um factor de segurança que será de 100 para compostos normais e de 1000 para compostos teratogénicos, reprotóxicos ou carcinogénicos da categoria 3.

Tabela 31 - Informação toxicológica disponível dos compostos identificados nas emissões das velas estudadas.

Compostos	Número CAS	Informação toxicológica	LCI ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Cancerígeno			
Benzeno	71-43-2	Composto Cancerígeno	Segundo a OMS não existe valor seguro
Alcenos			
1-Deceno	872-05-9	VLE não estabelecido	
Aromáticos			
Estireno	100-42-5		860 (AgBB)
Naftaleno	91-20-3		50 (AgBB)
Aldeídos			
Benzaldeído	100-52-7		90 (AgBB)
Ftalato de dietilo	84-66-2		50 (NP)
Piperonal	120-57-0	VLE não estabelecido	
Ésteres			
Metacrilato de metilo	80-62-6		1200 (AgBB),
Metacrilato de butilo	97-88-1		2050
Acetato benzílico	140-11-4		615 (NP)
Benzoato de etilo	93-89-0	VLE não estabelecido	
Acetato de anisilo	104-21-2	VLE não estabelecido	
Terpenos			
Isobornil de isovalerato	7779-73-9	VLE não estabelecido	
limoneno	138-86-3		1500 (AgBB)
Álcoois			
MIRCENOL	18479-58-8	VLE não estabelecido	
NEROL	106-25-2	VLE não estabelecido	
Álcool feniletílico	60-12-8	VLE não estabelecido	
LINALOOL	78-70-6	VLE não estabelecido	
CITRONELOL	106-22-9	VLE não estabelecido	
Outros			
Acetofenona	98-86-2		490 (AgBB)
Benzonitrilo	100-47-0	VLE não estabelecido	
Polipropilenoglicol	106-62-7	VLE não estabelecido	
Dietoximetano,	462-95-3	VLE não estabelecido	
Etilsalicilato	118-61-6	VLE não estabelecido	
4-metoxibenzaldeído	123-11-5	VLE não estabelecido	
ácido 3-fenil-2-propenóico	140-10-3	VLE não estabelecido	
4-isopropilbenzaldeído	122-03-2	VLE não estabelecido	
2-metoxifenol	90-05-1	VLE não estabelecido	
Vanilina	121-33-5	VLE não estabelecido	
Etil-vanilina	121-32-4	VLE não estabelecido	
5-hexilhidro-2(3H) furanona	- 706-14-6	VLE não estabelecido	

Observa-se que para a maior parte dos compostos não existe informação toxicológica capaz de gerar um Valor Limite de Exposição (VLE), o que não quer dizer que estes compostos sejam completamente inócuos. Embora não exista em muitos casos evidência científica dos efeitos nefastos destes compostos orgânicos provenientes de óleos essenciais (Su et al., 2007), foi pelo menos sugerido que se comportam por vezes como agentes sensibilizantes (Buckley et al., 2003). Estudos efectuados mostraram que a exposição a estes compostos no ar induziu ou agravou problemas respiratórios incluindo diminuição da função pulmonar, aumento de sensação de aperto no peito e aumento de crises de asma em pessoas susceptíveis (Millqvist et al., 1999; Millqvist and Lowhagen, 1996). Para além disso verificou-se que as fragâncias contribuem também para causar asma ocupacional (Baur et al. 1999).

Para além disso há que frisar que estudos anteriores mostraram que alguns monoterpenos com uma ou mais ligações C-C insaturadas podem facilmente reagir com oxidantes como o ozono e radicais hidroxil ou nitratos e originar uma grande variedade de compostos orgânicos voláteis tanto na fase gasosa como particulada (Weschler, 2000). Um dos produtos da reacção entre oxidantes e terpenos é o formaldeído, composto com conhecidos efeitos perniciosos na saúde do ser humano. Outros poluentes muitas vezes muito mais irritantes e nefastos para a saúde do que os seus precursores podem ser gerados pela ocorrência destas reacções, como é o caso de aerossóis orgânicos, que sendo partículas ultrafinas podem penetrar mais facilmente no tracto respiratório inferior (Wolkoff et al., 2000).

Tendo estes aspectos presentes e considerando que a classificação de uma vela como sendo melhor ou pior para a saúde não será possível em termos completos, apresenta-se uma classificação das velas obtidas calculando o Índice de risco, R, para o conjunto de compostos emitidos para os quais existem dados toxicológicos. O índice de risco calcula-se como:

$$R = \sum (C_i/LC_i)$$

C_i – Concentração do composto i

LC_i – Concentração limite do composto i

Uma vela deverá ser evitada se o seu Índice de risco for superior a 1.

Tabela 32 - Determinação do índice de risco das velas

	LCI ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Vela 1	Vela 2	Vela 3	Vela 4	Vela 5
Benzeno	0					0,07
Benzaldeído	90	0,36	0,26	0,09	0,25	0,35
Ftalato de dietilo	50					30,23
Acetato benzílico	615	0,21			0,12	0,11
Acetofenona	490	0,18		0,07	0,06	0,27
Estireno	860			0,03		0,17
Limoneno	1500		0,16			
R		0,005	0,003	0,001	0,003	>1

Tendo como base os resultados apresentados na tabela 32, é possível determinar o Índice de risco (R) para cada uma das velas ensaiadas. Como se pode verificar todas as velas, exceptuando a vela 5 apresentam um valor de $R < 1$. O facto de a vela 5 apresentar emissões de benzeno implica logo que o valor de R relativo a essa vela seja superior a 1.

5. Conclusão

O principal resultado deste trabalho foi a construção de uma câmara de testes que permitisse a realização de ensaios para a determinação das emissões de Partículas e COVs durante a queima de velas. Foi um dos objectivos propostos e foi alcançado.

Conseguiu-se efectuar uma série de ensaios em duplicado sobre cinco tipos diferentes de velas. Obtiveram-se resultados de emissão tanto a nível de partículas como de COVs. Verificou-se que os resultados obtidos nos ensaios em duplicado para cada vela tanto no que respeita às emissões de COV's como de partículas apresentam grandes diferenças principalmente no caso das velas 2 e 5. Supõe-se que contribui para isso a heterogeneidade das próprias velas, mas são necessários mais ensaios para o confirmar. A existência de flutuações a nível do caudal, temperatura ou humidade relativa também poderão ter a sua influência. No caso da vela 5 pode levantar-se a hipótese de haver uma transferência de um composto menos volátil, o ftalato de dietilo, entre a fase gasosa e a matéria particulada, o que poderia explicar as grandes diferenças observadas nos 2 ensaios.

No que diz respeito à caracterização das emissões das velas conseguiu-se identificar uma série de compostos orgânicos voláteis, tendo sido detectados compostos perigosos para a saúde das pessoas, como é o caso do benzeno e do ftalato de dietilo que foram detectados na vela 5. Efectuou-se uma análise de risco associado ao uso de cada tipo de vela no que respeita aos valores de COVs. Estes resultados deverão ser vistos como um exercício do que poderá ser aplicado quando se conseguir um controlo mais aperfeiçoado de todos os parâmetros que poderão influenciar os ensaios.

Este trabalho requer a continuação da realização de ensaios para aprofundar as razões da discrepância de resultados obtidos. Dada a grande variedade de velas no mercado e produtos afins, como o incenso, em que se desconhece a natureza dos poluentes emitidos, considera-se muito importante a continuação do estudo.

6. Bibliografia

[1] <http://www.anozero.com/info/content/view/17/51/1/3/>

[2] Matthäi, Michael, 2004. The Quality Candle. Germany

[3] Kaplan, Melissa, 2009. Toxins in Burning Candles, Candle Wicks, and Incense. Melissa Kaplan's Chronic Neuroimmune Diseases.

[4] EPA (United States Environmental Protection Agency), 2001. Candles and incense as potential sources of indoor air pollution: market analysis and literature review. EPA-600/R-01-001

[5] Agência Portuguesa do Ambiente, 2010. Qualidade do Ar em Espaços Interiores - Um Guia Técnico

[6] Agência Portuguesa do Ambiente, 2009. Qualidade do Ar em Espaços Interiores - Um Guia Técnico

[7] ECA (European Collaborative Action “Indoor Air Quality and Its Impact on Man”), 1997. Total Volatile organic compounds (TVOC) in Indoor Air Quality Investigations. Report Nr.19, EUR 17675 EN. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

[8] http://www.mst.dk/NR/ronlyres/4DBF68B7-77DD-4D13-8911-B42581EBACCC/0/lys_uk.pdf

[9] 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.

[10] 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.

- [11] Su, H.-J., Chao C.-J., Chang, H.-Y. and Wu, P.-C., The effects of evaporating essential oils on indoor air quality. *Atmospheric Environment*, **41**, 1230-1236, 2007.
- [12] Baur, X., Schneider, E.M., Wieners, D., Czuppon, A.B., 1999. Occupational asthma to perfume. *Allergy* 54, 1334–1335.
- [13] Buckley, D.A., Rycroft, R.J.G., With, I.R., Mcfadden, J.P., 2003. The frequency of fragrance allergy in patch-tested patients increases with their age. *British Journal of Dermatology* 149, 986–989.
- [14] Millqvist, E., Lowhagen, O., 1996. Placebo-controlled challenges with perfume in patients with asthma-like symptoms. *Allergy* 51, 434–439.
- [15] Millqvist, E., Bengtsson, U., Lowhagen, O., 1999. Provocations with perfume in the eyes induce airway symptoms in patients with sensory hyperreactivity. *Allergy* 54, 495–499.
- [16] Weschler, C.J., 2000. Ozone in indoor environments: concentration and chemistry. *Indoor Air* 10, 269–288.
- [17] Wolkoff, P., Clausen, P.A., Wilkens, C.K., Nielsen, G.D., 2000. Formation of strong airway irritants in terpene/ozone mixture. *Indoor Air* 10, 82–91.
- [18] Norma Portuguesa NP 1796 (2007)
- [19] AgBB Evaluation scheme: <http://www.umweltbundesamt.de/building-products/archive/AgBBEvaluation-Scheme2008.pdf>
- [20] Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) - Decreto-Lei 79/2006 de 4 Abril