

Inventário de emissões de compostos orgânicos voláteis biogênicos  
pela floresta de Trás-os-Montes e Alto Douro, Norte de PortugalEmissions inventory of volatile organic compounds from forest  
in Trás-os-Montes and Alto Douro, North of PortugalS. V. Neto<sup>1</sup>, C. Silva<sup>1</sup>, Carmen M. Moreira<sup>2</sup>, M. C. Marques<sup>3</sup>**Resumo**

Dada a importância da emissão de compostos orgânicos voláteis biogênicos (COVB) para a atmosfera, foi criado um modelo que estima as emissões destes compostos pelas principais espécies florestais para a região de Trás-os-Montes e Alto Douro, no Norte de Portugal. O modelo teve em conta os factores de emissão, biomassa e de correção ambiental (temperatura e radiação solar) para o período de Junho a Dezembro de 2003 apresentando uma resolução horária. As espécies florestais de Trás-os-Montes e Alto Douro são, principalmente, emissoras de monoterpenos, representando cerca de 61 % das emissões totais de COVB, seguindo-se as emissões de isopreno e outros compostos orgânicos biogênicos (COVOB) que representam cerca de 14 % e 25 %, respectivamente. O *Pinus pinaster* foi a espécie que mais monoterpenos emitiu, cerca de 35 % (2 kt/6meses) e de COVOB contribuindo com 1,5 kt/6meses, o que representa aproximadamente 65 % das emissões totais. Os *Quercus* (à excepção do *Quercus suber* e *Quercus ilex*) foram as espécies que mais isopreno emitiram, cerca de 62 % (795 t/6 meses).

**Palavras-chave:** Biogênicos, Compostos orgânicos voláteis, Isopreno, Monoterpenos, *Pinus pinaster*

**Abstract**

The volatile organic compounds biogenic emission (VOCB's) on atmosphere is very important so, it was created a model that estimate the emissions of these compounds by the main forest species of the Trás-os-Montes e Alto Douro region in North Portugal. The model was constructed with the following parameters: emission factors, biomass and of environmental correction (temperature and solar radiation) for the period between June and December of 2003, presenting hourly resolution. The forest species of Trás-os-Montes e Alto Douro are mainly issuing of monoterpenes, isoprene and others volatile organic compounds biogenic (OVOCB's), contributing with 61%, 14% and 25% of the total emissions of VOCB's, respectively. *Pinus pinaster* was the species that emitted more monoterpenes and OVOCB's, contributing with 2kt/6months and 1,5kt/6month, respectively, which represented about 65% of the total emissions. *Quercus* species (excluding *Quercus suber* and *Quercus ilex*) were the species that emitted more isoprene, representing around 62% (795 t/6months) of the total of the emissions.

**Keywords:** Biogenic, Volatile organic compounds, Isoprene, Monoterpenes, *Pinus pinaster*

**INTRODUÇÃO**

A floresta é a principal fonte biogênica de compostos orgânicos voláteis não metânicos (COVNM) para a atmosfera, principalmente sob a forma de isopreno e monoterpenos (GUENTHER *et al.*, 1995).

A importância da participação dos compostos orgânicos voláteis (COV) na química da troposfera está associada à presença de níveis elevados de óxidos de azoto (NO<sub>x</sub>) e às reacções fotoquímicas em que participam radiais hidro-

xilas e peroxiradicaís que levam à formação do ozono troposférico (MOREIRA, 2003).

Na atmosfera os COV podem ainda reagir e gerar uma variedade de produtos oxidantes, como por exemplo: carbonilos, cuja degradação fotoquímica representa uma fonte significativa de radicais livres para a atmosfera; ácidos orgânicos, que contribuem para a deposição ácida; monóxido de carbono, gás que afecta a concentração de radiais hidroxilas; e ainda uma série de

<sup>1</sup>Engenheira do Ambiente e dos Recursos Naturais da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro – Apartado 1013 – 5000-911 - Vila Real - Portugal - E-mail:

<sup>2</sup>Engenheira Florestal, Mestre em Poluição Atmosférica da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro – Apartado 1013 – 5000-911 - Vila Real - Portugal - E-mail: [carmenmoreira@ua.pt](mailto:carmenmoreira@ua.pt)

<sup>3</sup>Engenheira do Ambiente, Doutorada em Poluição Atmosférica na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro – Apartado 1013 – 5000-911 - Vila Real - Portugal - E-mail:

compostos condensáveis que estão envolvidos na formação de aerossóis naturais atmosféricos (PIO *et al.*, 2001; KAVOURAS *et al.*, 1998).

A interação e reação destes compostos na baixa troposfera são importantes nos episódios de poluição fotoquímica (PARRA *et al.*, 2004) em áreas urbanas (CHANG *et al.*, 2005; BENJAMIN *et al.*, 1997) e muito importantes em áreas rurais (TSIGARIDIS e KANANKIDOU, 2002).

A emissão de COV pelas plantas é influenciada por uma variedade de factores físicos e biológicos, sendo os mais importantes: a variação genética, a luz, a temperatura, humidade, concentração de CO<sub>2</sub>, condutância estomática, desenvolvimento da folha, hora do dia, estação do ano e o estresse envolvente.

A quantificação dos fluxos de COV é, pois de extrema importância não só em termos globais, mas também como dados de entrada de modelos fotoquímicos que permitem descrever e simular os processos envolvidos em poluição atmosférica (MOREIRA, 2003).

É neste contexto, que o trabalho aqui apresentado se enquadra, como um inventário de emissões de compostos orgânicos voláteis biogênicos (COVB) na região de Trás-os-Montes e Alto Douro.

## METODOLOGIA DO INVENTÁRIO DAS EMISSÕES BIOGÊNICAS

### Modelo matemático

O modelo que estima as emissões de COVB é o referido pela equação (PIERCE *et al.*, 1990; PIERCE e WALDRUFF, 1991):

$$E_i = \sum_{j=1}^m [FE_{ij} \times FCA_{ij}(T, RFA) \times FB_j \times Area_j] \quad (1)$$

onde:

E<sub>i</sub> = taxa emissão das espécies químicas i (μg h<sup>-1</sup>) pela área

m = representa a categoria da vegetação j= 1, ..., m

FE<sub>ij</sub> = factor de emissão das espécies químicas i por classe de vegetação j

(μg g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>)

FCA<sub>ij</sub> = factor de correção ambiental (adimensional). Representa a relação entre a emissão nas condições ambientais, a temperatura T e radiação PAR, e a emissão das espécies químicas i em condições de referência (emissão basal à temperatura de 30 °C e radiação PAR de 1 000 μmoles<sub>fótons</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>)

FB<sub>j</sub> = factor de biomassa ou peso foliar específico da categoria da vegetação j

Área<sub>j</sub> = superfície ocupada pela categoria de vegetação j

As emissões de COVNM a calcular reúnem-se em 3 categorias (GUENTHER *et al.*, 1993): isopreno; monoterpenos e outros COVB (reactivos e outros).

### Isopreno

As emissões horárias de isopreno foram estimadas pelo seguinte algoritmo (Guenther *et al.*, 1993):

$$I = IS \times CL \times CT \quad (2)$$

I = factor de emissão do isopreno à temperatura T(K) e PAR (μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)

IS = a taxa de emissão de isopreno à temperatura padrão (30°C) e PAR (fluxo a 1000 μmol<sub>fótons</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)

O factor que relaciona a dependência da taxa de emissão do isopreno com a radiação (C<sub>L</sub>) foi desenvolvido com base no algoritmo de Farquhar *et al.* (1980), para descrever o transporte de electrões no modelo bioquímico da assimilação fotossintética de CO<sub>2</sub>, dada a analogia entre os dois processos.

A dependência da emissão do isopreno com a intensidade da luz é dada por (Guenther *et al.*, 1993):

$$C_L = \frac{(\alpha C_{L1} L)}{(\sqrt{I + \alpha^2 L^2})} \quad (3)$$

L = fluxo de radiação PAR (μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)

α = 0,0027 e C<sub>L1</sub> = 1,066 são coeficientes empíricos, estimados pelo ajuste dos mínimos quadrados a partir de medição de taxas de emissão efectuadas em quatro espécies diferentes: eucalipto, liquidambar, faia e feijão aveludado (Guenther *et al.*, 1993).

O factor que descreve a influência da temperatura na taxa de emissão de isopreno (C<sub>T</sub>) provém das equações que descrevem a influência da temperatura na actividade enzimática, em que a taxa de emissão aumenta exponencialmente com a temperatura até um valor máximo a partir do qual entra em ruptura.

O factor de correlação é dado por (Guenther *et al.*, 1993):

$$C_T = \frac{\exp[C_{T1}(T - T_s)/RT_s T]}{1 + \exp[C_{T2}(T - T_M)/RT_s T]} \quad (4)$$

R = constante dos gases perfeitos (8,314 J K<sup>-1</sup> mol<sup>-1</sup>)

T = temperatura da folha (K)

T<sub>s</sub> = 303 K, temperatura padrão da folha

T<sub>M</sub> = 314 K; C<sub>T1</sub> = 95000 J mol<sup>-1</sup>; C<sub>T2</sub> = 230000 J mol<sup>-1</sup> (coeficientes empíricos)

O valor de TM nos processos enzimáticos representa a temperatura limite a partir da qual as enzimas entram em desnaturação. Este valor é variável, pois as condições de crescimento de cada planta vão condicionar a sua resistência a elevadas temperaturas e conseqüentemente a temperatura e o tempo que resistem a esses valores máximos (MONSON *et al.*, 1992). O modelo sugere o valor de 41 °C (314 K) para TM. Em plantas que crescem em regiões sujeitas a temperaturas elevadas durante períodos longos, este valor pode ser superior. O inverso também pode ocorrer, ou seja, plantas criadas a temperaturas inferiores podem sofrer inibição a temperaturas mais baixas que os 41 °C.

De acordo com estes trabalhos, a taxa de emissão num dado instante depende da temperatura da folha e da radiação recebida pela mesma. Ao extrapolar estes resultados para a planta no seu todo e no seu habitat natural, normalmente aproxima-se a temperatura da folha à temperatura ambiente e a radiação incidente sobre a folha à intensidade de radiação à superfície da canópia.

### Monoterpenos e COVOB

Os modelos típicos de emissões biogênicas usam a equação abaixo, para simular a dependência da taxa de emissão de monoterpenos e COVOB com a temperatura (PIERCE e WALDRUFF, 1991; LAMB *et al.*, 1993):

$$E = ES \times \exp[\beta(T-T_s)] \quad (5)$$

Onde,

$E$  – [ $\mu\text{g g}^{-1}(\text{peso seco}) \text{ h}^{-1}$ ] - fator de emissão de monoterpenos à temperatura da folha T(K)

$ES$  – [ $\mu\text{g g}^{-1}(\text{peso seco}) \text{ h}^{-1}$ ] - fator de emissão padrão medida à temperatura  $T_s$  (303 K)

$T$  – [K] - Temperatura da folha (neste caso é a temperatura do ar)

$T_s$  - [K] - Temperatura padrão da folha (303 K)

$\beta$  - 0,09, coeficiente empírico (GUENTHER *et al.*, 1993), baseado na análise de regressão linear, de numerosas medições, em diversas espécies, recorrendo normalmente ao método do saco/caixa dinâmico. GUENTHER *et al.* (1993) analisaram um número elevado de estudos e verificaram que o valor de  $\beta$  tende para 0,09.

Tal como na equação matemática usada para o cálculo das emissões de isopreno, as emissões de monoterpenos são calculadas em termos horários. As emissões mensais são a somatória das emissões de cada hora dos vários dias do respectivo mês.

### Uso do solo

Com a finalidade de se conhecer as espécies vegetais representativas da região de Trás-os-Montes e Alto Douro, recorreu-se às cartas de ocupação do solo (COS) do Instituto Geográfico Português (IGEO, 2004), elaboradas à escala 1:25 000. A área em estudo ocupa aproximadamente 12 970 km<sup>2</sup> (INE, 2004), isto é, 105 COS das 638 que cobrem o território de Portugal Continental.

Com o software Arcview transformou-se a informação contida em cada polígono em informação espacial numa grelha, em que cada quadrícula representa 100 × 100 m, visto tratar-se da resolução mínima das cartas e deste modo se perder o mínimo de informação das mesmas.

Cada quadrícula possui um código de duas letras e um valor numérico. As letras indicam o tipo de cobertura enquanto que o valor numérico indica o grau de coberto. Consideram-se manchas mistas só de ocorrências florestais quando estas têm um grau de coberto superior a 75 % da área da parcela e são definidas da seguinte forma: 1º dígito - espécie dominante; 2º dígito - espécie dominada.

De acordo com a nomenclatura de ocupação do solo foram atribuídos 744 códigos de uso do solo, que correspondem à conjugação dos códigos que representam as espécies florestais e a densidade das mesmas na parcela.

### Factores de emissão

Com o intuito da realização deste inventário de emissão de COVB, procedeu-se à descrição das espécies ou comunidades vegetais que se inserem nas várias categorias da nomenclatura do uso do solo com atribuição dos respectivos factores de emissão.

Na Tabela 1 são descritos os factores de emissão para as principais espécies florestais existentes na área em estudo. As espécies descritas podem ter uma correspondência directa a um código da nomenclatura das cartas de ocupação do solo ou fazerem parte de um conjunto de espécies, que representam uma dada comunidade vegetal como é possível constatar na Tabela 2.

Segundo a DGF (2003), as espécies discriminadas na Tabela 2 são normalmente as que se encontram associadas à designação “vegetação esclerofítica”.

A obtenção do factor de emissão característico da designação “vegetação esclerofítica” surge da média aritmética dos factores de emissão das várias espécies que compõem esta comunidade. O valor de biomassa obtém-se do mesmo processo de cálculo que os factores de emissão.

**Tabela 1.** Fatores de emissão padrão (para as condições de 1 000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e a 30 °C, de PAR e temperatura, respectivamente) e fator de biomassa ( $\text{g m}^{-2}$ ).

**Table 1.** Emission factors (for conditions of 1000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  and 30 °C, of PAR and temperature, respectively) and biomass factor ( $\text{g m}^{-2}$ ).

Espécies	Isopreno $\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$	Monoterpenos $\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$	Densidade ( $\text{g/m}^2$ )
<i>Platanus occidentalis</i>	27,5 (2)	0 (2)	320 (6)
<i>Populus tremula</i>	51 (3)	4,6 (3)	320 (6)
<i>Populus nigra</i>	13,2 (5)	0 (5)	320 (6)
<i>Robinia pseudoacacia</i>	13,5 (2)	4,7 (2)	320 (10)
<i>Quercus suber</i>	0 (5)	22,2 (5)	300 (6)
<i>Quercus ilex</i>	0 (5)	8,4 (5)	300 (6)
<i>Castanea crenata</i>	0 (5)	8,71(5)	320 (6)
<i>Castanea sativa</i>	0 (4)	13,66 (4)	320 (6)
<i>Quercus robur</i>	21,6 (5)	0 (5)	300 (6)
<i>Quercus pyrenaica</i>	59 (2)	0,3 (2)	300 (6)
<i>Quercus coccifera</i>	0,1 (2)	18,7 (2)	280 (1)
<i>Eucalyptus globulus</i>	32 (7)	1,5 (7)	300 (5)
<i>Salix alba</i>	17 (5)	0 (5)	150 (6)
<i>Ulmus campestris</i>	0 (5)	1,65 (5)	320 (6)
<i>Fraxinus excelsior</i>	15 (5)	0,3 (5)	320 (6)
<i>Populus alba</i>	9 (5)	0 (5)	320 (6)
<i>Juglans regia</i>	0 (9)	1,8 (9)	375 (8)
<i>Pinus pinaster</i>	0 (5)	2,02 (5)	700 (6)
<i>Pinus pinea</i>	0 (10)	1,53 (10)	700 (6)
<i>Pinus sylvestris</i>	0 (5)	3,42 (5)	700 (6)
<i>Pinus nigra</i>	0 (4)	7,64 (4)	700 (6)
<i>Pinus radiata</i>	0 (2)	0,8 (2)	700 (6)
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	0 (3)	0,36 (3)	1000 (6)
<i>Juniperus communis</i>	0,1 (4)	0,1 (4)	700 (6)
<i>Juniperus oxicedrus</i>	0,08 (2)	0,96 (2)	700 (6)

(1) Owen e Hewitt, 2000; (2) Kesselmeier e Staudt, 1999; (3) Lancaster University, 2002a; (4) Lancaster University, 2002b; (5) Pio *et al.*, 1993; (6) Simpson *et al.*, 1999; (7) Nunes e Pio, 2001; (8) Geron *et al.*, 1994; (9) Winer *et al.*, 1992; (10) Staudt *et al.*, 1997.

**Tabela 2.** Fatores de emissão padrão (para as condições de 1 000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e a 30 °C, de PAR e temperatura) e fator de biomassa ( $\text{g m}^{-2}$ ), para vegetação esclerófitica.

**Table 2.** Emission factors (for conditions of 1000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  and 30 °C, of PAR and temperature, respectively) and density ( $\text{g m}^{-2}$ ), for sclerofitic vegetation.

Espécies	Isopreno ( $\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$ )	Monoterpenos ( $\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$ )	Biomassa ( $\text{g/m}^2$ )
<i>Ulex</i> spp.	8,4 (6)	3,1 (6)	130 (7)
<i>Lavandula pedunculata</i>	0,1 (5)	0 (5)	116 (4)
<i>Myrtus</i> spp.	34 (5)	0,2 (5)	130 (7)
<i>Cistus ladanifer</i>	0,1 (1)	0,2 (1)	173 (4)
<i>Juniperus communis</i>	0,1 (6)	0,1 (6)	700 (1)
<i>Quercus coccifera</i>	0,1 (3)	18,7 (3)	280 (4)
<i>Cytisus</i> spp.	26,9 (5)	0 (5)	300 (4)
<i>Cistus salvifolius</i>	0,1 (7)	0,2 (7)	130 (7)
<i>Erica</i> spp.	2 (2)	0,01 (2)	150 (4)
<i>Rubus</i> spp.	0 (6)	0,03 (6)	100 (4)
<i>Chamaspartum tridentatum</i>	0,52 (5)	0,35 (5)	130 (7)

O factor de emissão atribuído a parcelas mistas florestais consiste numa média ponderada dos factores de emissão entre as espécies dominantes e dominadas da parcela, bem como o grau de densidade (de acordo com o método usado por Moreira em 2003 quando da realização de um inventário de emissões de COVB para Portugal Continental).

Dada à baixa representatividade no terreno de algumas espécies florestais, características da

flora de Trás-os-Montes e Alto Douro, levou a que não fossem estudadas individualmente, mas sim agrupadas em duas categorias: outras folhosas (*Populus* spp., *Ulmus campestris*, *Salix alba*, *Fraxinus excelsior*, e *Robinia pseudoacacia*) e outras resinosas (*Pinus sylvestris*, *Pinus nigra*, *Pinus radiata*, *Pseudotsuga menziesii*, *Juniperus communis* e *Juniperus oxicedrus*).

No caso da não existência de factores de emissão específicos para algumas das espécies

usou-se um valor da literatura referido como característico da(s) taxa(s) de emissão para o mesmo "grupo" vegetal.

Segundo Simpson *et al.* (1999), e até que futuros estudos apresentem valores mais específicos, o factor de emissão para OCOV é de  $1,5 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$  por defeito. Pelo que, neste trabalho usar-se-á este valor recomendado na bibliografia.

Para o cálculo das emissões totais atribuiu-se a cada célula de  $100 \times 100 \text{ m}$  um fluxo de emissão por unidade de área e unidade de tempo ( $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ), para as condições padrão referidas ( $T_s = 30 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $\text{PAR} = 1\,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) mediante os COV em estudo (monoterpenos, isopreno e outros COVB).

### Factor de biomassa

O factor de biomassa ( $\text{g m}^{-2}$ ) permite a transformação dos factores de emissão ( $\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) em taxas ( $\text{g h}^{-1}$ ) de emissão. Sendo a folha a unidade funcional de intercâmbio gasoso mais importante nas plantas, o conhecimento preciso deste parâmetro é importante para a estimação do fluxo de COVB para a atmosfera. Os valores utilizados foram obtidos na literatura e constam nas Tabelas 1 e 2.

### Factores de correção ambiental: temperatura e radiação solar

Foram utilizados os dados meteorológicos, com uma resolução horária, de duas estações automáticas da região, nomeadamente em Vila Real e Chaves. Devido à inexistência de dados meteorológicos para todo o ano de 2003, o estudo é referente ao período de Junho a Dezembro. Para a atribuição da área de influência de cada uma das cartas face à estação meteorológica recorreu-se ao software ArcView.

Os dados de temperatura ( $^\circ\text{C}$ ) foram convertidos em graus Kelvin (K) e posteriormente integrados nas expressões de cálculo (equação 3 e 4).

Os valores de radiação solar ( $\text{kJ m}^{-2}$ ) foram convertidos em radiação fotossinteticamente activa (PAR), utilizando a fórmula (MONTHEITH, 1965):

$$\text{PAR} = \alpha \times \text{Radiação solar} \quad (6)$$

A PAR ( $\text{mol}_{\text{fotões}} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) corresponde ao equivalente de energia de uma mole de fotões, a  $550 \text{ nm}$  de comprimento de onda, de  $217 \text{ kJ}$ .

O valor de  $\alpha$  para as nossas latitudes assume vulgarmente o valor de  $0,45$ , podendo, no entanto, ser obtido experimentalmente (Montheith, 1965).

### Erros associados ao modelo

Como anteriormente referido, foi atribuída uma quadrícula de  $100 \times 100 \text{ m}$  aos polígonos das COS. A conversão das áreas das parcelas, de polígonos para quadrículas originou diferenças entre áreas.

Outro tipo de erro presente deveu-se à aplicação da quadrícula nas áreas dos limites territoriais de Trás-os-Montes e Alto Douro. Com a aplicação da malha existem áreas que não são contabilizadas, porque apresentam uma área menor que  $100 \times 100 \text{ m}$  (Figura 1).

Foi possível concluir que os erros associados às diferenças das áreas podiam ser por defeito ou por excesso e são da ordem dos  $14 \%$  da área da região.



**Figura 1.** Aplicação da malha numa COS localizada no limite de Trás-os-Montes e Alto Douro.

**Figure 1.** Grid application on limit of Trás-os-Montes and Alto Douro region.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo criado permitiu obter valores de emissão de COVB por composto (isopreno, monoterpenos e COVOB) para as principais espécies florestais em Trás-os-Montes e Alto Douro, com uma resolução horária. Como foi referido anteriormente, os factores de correção ambiental (temperatura e radiação solar) utilizados apenas se referem ao período de Junho a Dezembro de 2003, pelo que só foi possível calcular as emissões de COVB nesse mesmo período.

No cálculo das emissões de COVB, para as espécies florestais caducifólias, não foi tido em conta a queda gradual das folhas, pelo que os valores obtidos para os meses de Setembro a Outubro poderão ser sobrevalorizados. Pelo que, os erros associados a estas espécies podem ser maiores do que para as espécies florestais de folha perene.

As espécies florestais estudadas a título individual são segundo a DGF (2001) as mais representativas dos povoamentos florestais de Trás-os-Montes e Alto Douro, como constatado na Tabela 3.

**Tabela 3.** Área de ocupação das principais espécies florestais em Trás-os-Montes e Alto Douro  
**Table 3.** Grid application in occupation soil card, located in Trás-os-Montes and Alto Douro region.

Espécies Florestais	Área (km <sup>2</sup> )
<i>Pinus pinaster</i>	1 246
Others <i>Quercus</i>	604
<i>Castanea spp.</i>	401
<i>Quercus suber</i>	282
<i>Quercus ilex</i>	287
outras folhosas	267
outras resinosas	262
<i>Eucalyptus globulus</i>	141

### Quantificação das emissões de COVB

Os compostos denominados monoterpenos são dos COVB mais emitidos pelo coberto florestal em Trás-os-Montes e Alto Douro, contribuindo com aproximadamente 61 % das emissões totais de COVB (Figura 2), representando cerca de 6 kt das emissões ao longo dos seis meses.

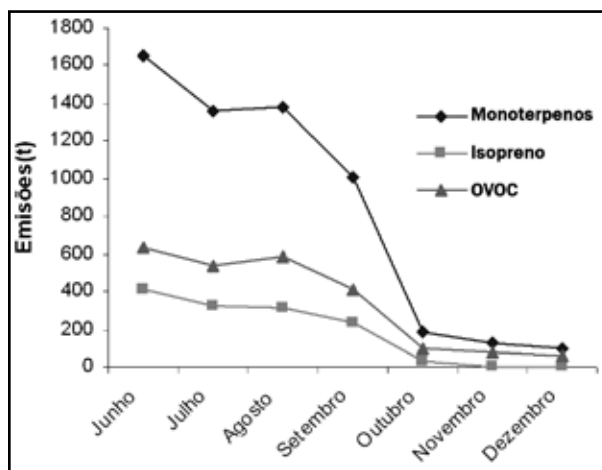
A conjugação da forte intensidade luminosa, maior número de horas de luz e da temperatura, faz com que as emissões de monoterpenos, COVOB e isopreno no mês de Agosto sejam superiores às de Julho.

### Quantificação das emissões de monoterpenos

O *Pinus pinaster* foi a espécie que emitiu maiores quantidades de monoterpenos, cerca de 35 % (2 kt/6meses) das emissões. Os meses de Agosto e Dezembro apresentaram os valores máximos e mínimos de emissão, com cerca de 499 t e 62 t, respectivamente (Figura 3).

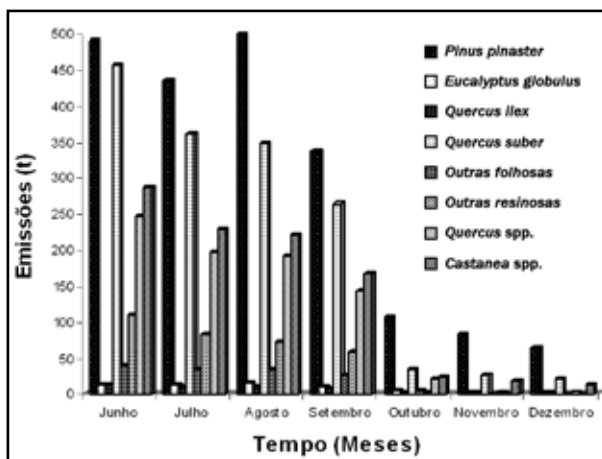
O fluxo de emissão de monoterpenos para os *Quercus suber* foi de aproximadamente 1,5 kt/6meses, cerca de 26 % de emissão total de monoterpenos para a região de Trás-os-Montes e Alto Douro. Nos meses de Verão (Junho, Julho e Agosto), as emissões de monoterpenos emitidas por estas espécies foram superiores aos meses restantes, dado que estas espécies estão localizadas na terra quente transmontana.

A *Castanea sativa* e *Castanea crenata* contribuem com 16 % das emissões de monoterpenos, emitindo cerca de 954 t/6meses.



**Figura 2.** Evolução mensal das emissões de COVB pelas espécies florestais em estudo, nos meses de Junho a Dezembro de 2003 em Trás-os-Montes e Alto Douro.

**Figure 2.** (Monthly evolution of VOVB's emissions for the forestry species study, June to December of 2003, in Trás-os-Montes and Alto Douro region).



**Figura 3.** Emissões mensais de monoterpenos para as espécies em estudo, nos meses de Junho a Dezembro de 2003 em Trás-os-Montes e Alto Douro.

**Figure 3.** (Monoterpenes emissions for the species study, June to December of 2003, in Trás-os-Montes and Alto Douro region).

O género *Quercus*, do qual não se inclui o *Quercus suber* e o *Quercus ilex*, emitem cerca de 795 kt/6meses. Os fluxos máximos de emissão verificaram-se nos meses de Junho (246 t) e Julho (196 t).

As outras resinosas contribuem com cerca de 5 % das emissões de monoterpenos. No período de Junho a Dezembro emitiram cerca de 319 t, apresentando um fluxo máximo de emissão no mês de Junho (108 t) e um fluxo mínimo no mês de Dezembro (499 kg).

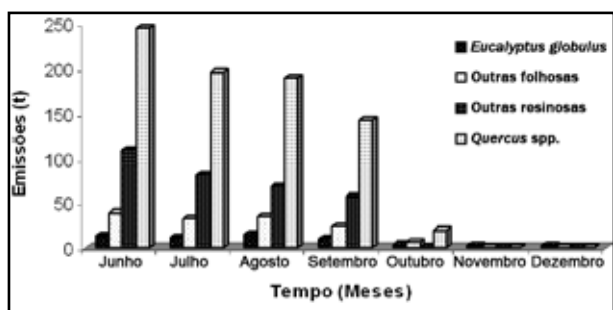
As outras folhosas representam cerca de 2 % das emissões de monoterpenos. No período de Junho a Outubro é cerca de 136 t, apresentando o seu pico máximo de emissão no mês de Junho.

O *Quercus ilex* e o *Eucalyptus globulus* contribuem apenas com 1 % das emissões, dado que estas espécies se encontram menos representadas no terreno.

### Quantificação das emissões de isopreno

Como se pode verificar na Figura 2 as emissões de isopreno representaram cerca de 14 % (1,3 kt) dos COVB emitidos pelo coberto florestal de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Os meses de maior emissão correspondem a valores mais elevados de temperatura e radiação solar, como se pode constatar na Figura 4, em contrapartida, os menores valores de emissão correspondem aos meses de menor temperatura e radiação solar.



**Figura 4.** Emissões de isopreno para as espécies em estudo, nos meses de Junho a Dezembro de 2003 em Trás-os-Montes e Alto Douro.

**Figure 4.** (Isoprene emissions for the species study, June to December of 2003, in Trás-os-Montes and Alto Douro region).

Na evolução mensal da emissão de isopreno (Figura 4) verificamos que os outros *Quercus* foram as espécies que mais emitiram este composto. O contributo das emissões de isopreno para estas espécies em Trás-os-Montes e Alto Douro é de 62 %, aproximadamente. O valor destas emissões (795 t/6meses) deve-se ao facto destas espécies terem uma elevada ocupação na área em estudo. Os fluxos máximos de emissão para os carvalhos verificam-se no mês de Junho (246 t).

O fluxo de emissão de isopreno para as outras resinosas foi de aproximadamente 319 t/6meses, cerca de 24 % de emissão total de isopreno para a região de Trás-os-Montes e Alto Douro. É de salientar, que na área em estudo se pode encontrar o maior povoamento do País de *Pseudotsuga*, bem como uma elevada representação de espécies do género *Pinus*.

As outras folhosas contribuem com 10 % das emissões totais de isopreno, emitindo 136 t/6meses de isopreno.

O *Eucalyptus globulus* contribui com 4 % das emissões totais de isopreno. Sendo o eucalipto

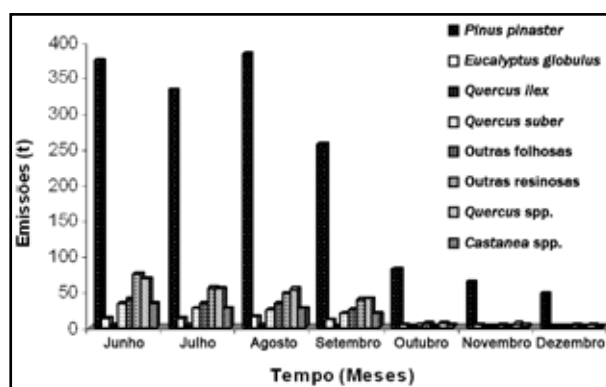
uma das principais espécies florestais emisoras de isopreno, seria de esperar que os seus fluxos de emissão fossem significativamente superiores a outras espécies florestais, nomeadamente às outras resinosas e aos carvalhos. No entanto, tal não se verifica na área em estudo, dado que a ocupação florestal de eucalipto (141 km<sup>2</sup>) não é representativa das espécies florestais na região de Trás-os-Montes e Alto Douro (DGE, 2001). Para as espécies analisadas, os meses de maior emissão devem-se a maiores valores de temperatura e radiação solar enquanto que os meses de menor emissão correspondem a menores valores de temperatura e radiação solar.

### Quantificação das emissões de COVOB

As emissões de COVOB emitidos pelo coberto florestal foram de aproximadamente de 2,4 kt das emissões totais de COVB, o que representa aproximadamente 25 % (Figura 2).

Os meses que apresentam maiores emissões foram os que apresentaram maiores temperaturas (Junho, Julho, Agosto e Setembro), enquanto que os meses de menor emissão (Outubro, Novembro e Dezembro) foram os que possuíam menores valores de temperatura.

A representação gráfica (Figura 5) da evolução mensal da emissão de COVOB permite constatar que o *Pinus pinaster* foi a espécie que emitiu maioritariamente COVOB, contribuindo com 1,5 kt/6meses, o que representa aproximadamente 65 % das emissões totais.



**Figura 5.** Emissões mensais de COVOB para as espécies em estudo, nos meses de Junho a Dezembro de 2003 em Trás-os-Montes e Alto Douro.

**Figure 5.** (COVB's emissions for the species study, June to December of 2003, in Trás-os-Montes and Alto Douro region).

Seguem-se as espécies do género *Quercus* (à excepção do *Quercus suber* e *Quercus ilex*) e as outras resinosas que contribuem ambos com cerca de 9 % das emissões totais de COVOB.

O fluxo de emissão total de COVOB para as espécies de outras folhosas foi de 142 t/6meses, o que em termos percentuais representa aproximadamente de 6 %.

Os castanheiros, o sobreiro e o eucalipto representam cerca de 5 %, 4 %, 2 %, respectivamente, das emissões totais dos COVOB. O sobreiro representa aproximadamente 107 t/6meses das emissões totais de COVOB. Mais uma vez se observa que foi nos meses de Inverno que se verificaram os valores mínimos de emissão e os máximos, nos meses de Verão. Dado que os montados de sobreiro estão localizados em terras quentes verifica-se um aumento, considerável de emissão de COVOB nos meses de temperatura mais elevadas, comportamento análogo ao observado para a emissão de monoterpenos.

## CONCLUSÃO

As espécies florestais de Trás-os-Montes e Alto Douro são principalmente emissoras de monoterpenos, 61 % das emissões totais de COVB, enquanto que as emissões de isopreno e COVOB representam cerca de 14 % e 25 %, respectivamente.

As emissões de monoterpenos, isopreno e COVOB tornam-se mais evidentes nos meses onde existe um aumento da temperatura e de intensidade luminosa (Junho, Julho e Agosto), pois a taxa de emissão é dependente destes dois factores ambientais.

Dentro das espécies florestais que mais contribuem para as emissões de monoterpenos, destacam-se o *Pinus pinaster*, o *Quercus suber* e os outros *Quercus* que contribuem com 35 %, 26 % e 16 %, respectivamente, das emissões totais de monoterpenos emitidos no período de Junho a Dezembro de 2003.

Os outros *Quercus* são as espécies florestais que mais emitem isopreno, contribuindo com 62 % das emissões totais. As outras resinosas, as outras folhosas e o *Eucalyptus globulus* contribuem com 24 %, 10 % e 4 %, respectivamente, das emissões totais de isopreno para Trás-os-Montes e Alto Douro.

O *Pinus pinaster* foi a espécie que mais contribuiu para a emissão de COVOB, apresentando 65 % das emissões totais. Os outros *Quercus* e as outras resinosas representam cerca de 9 % das emissões totais de COVB na área em estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENJAMIN, M.; SUDOL, M.; VORSATZ, D.; WINER, A. Low-emitting urban forest: a taxonomic methodology for assigning isoprene and monoterpenes emission rate. *Atmospheric Environment*, Oxford, v.30, p.1437-1452, 1996.

CHANG, K.H.; CHEN, T.F.; HUANG, H.C. Estimation of biogenic organic volatile organic compounds emissions in subtropical island. Taiwan. *Science of Total Environment*, Taipei, v.346, p.184-199, 2005.

DGF - DIREÇÃO GERAL DAS FLORESTAS. 2001. Disponível em: [www.dgrf.min-agricultura.pt](http://www.dgrf.min-agricultura.pt). Acesso em: 15 Janeiro 2004

DGF - DIREÇÃO GERAL DAS FLORESTAS. 2003. Disponível em: [www.dgrf.min-agricultura.pt](http://www.dgrf.min-agricultura.pt). Acesso em: 15 Janeiro 2004

FARQUHAR, G.S.; VON CAEMMERER, S.; BERRY, J. A biochemical model of photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation in leaves of C<sub>3</sub> species. *Planta*, Berlin, v.149, p.78-90, 1980.

GERON, C.D.; GUENTHER, A.B.; PIERCE, T.E. An improved model for estimating emissions of volatile organic compounds from forest in the eastern United States. *Journal of Geophysical Research*, Washington, v.99, n.D6, 773-712, 791, 1994.

GUENTHER, A.B.; HEWITT, C.N.; ERICKSON, D.; FALL, R.; GERON, C.; GRAEDEL, T.; HARLEY, P.; KLINGER, L.; LERDAU, M.; MCKAY, W.A.; PIERCE, T.; SCHOLLES, B.; STEINBRECHER, R.; TALLAMRAJU, R.; TAYLOR, J.; ZIMMERMAN, P. A global model of natural volatile organic compound emissions. *Journal of Geophysical Research*, Washington, v.100, n.5, p.8873-8892, 1995.

GUENTHER, A.B.; ZIMMERMAN, P.R.; HARLEY, P.C.; MONSON, R.K.; FALL, R. Isoprene and monoterpene emission rate variability: model evaluations and sensitivity analyses. *Journal Geophysical Research*, Washington, v.98, n.D7, p.609-612,617, 1993.

IGEO - INSTITUTO GEOGRÁFICO PORTUGUÊS. Disponível em: [www.igeo.pt](http://www.igeo.pt). Acesso em: 15 Outubro 2004

INE - INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA. Disponível em: [www.ine.pt](http://www.ine.pt). Acesso em: 15 Janeiro 2004



- KAVOURAS, I.G.; MIHALOPOULOS, N.; STEPHANOPOULOS, E.G. Formation of atmospheric particles from organic acids produced by forests. *Nature*, Paris, v.395, p.683-686, 1998.
- KESSELMEIER, J.; STAUDT, M. Biogenic volatile organic compounds (VOC): an overview on emission, physiology and ecology. *Journal of Atmospheric Chemistry*, Dordrecht, v.33, p.23-88, 1999.
- LAMB, B.; GAY, D.; WESTBERG, H.; PIERCE, T. A biogenic hydrocarbon emission inventory for the U.S.A using a simple forest canopy model. *Atmospheric Environment*, Oxford, v.27A, n.11, p.1673-1690, 1993.
- LANCASTER UNIVERSITY. *Database of the Institute of Environmental and Natural Sciences, Department of Environmental Science*. Lancaster, 2002. Disponível em: [www.es.lans.ac.uk/people/cnh](http://www.es.lans.ac.uk/people/cnh). Acesso em: 15 Setembro 2002a.
- LANCASTER UNIVERSITY. *Isoprene and monoterpenes emission potentials for 1100 plant species found in the United Kingdom: best current estimates*. Lancaster, 2002. Disponível em: [www.es.lans.ac.uk/people/cnh](http://www.es.lans.ac.uk/people/cnh). Acesso em: 15 Setembro 2002b.
- MONSON, R.K.; JAEGER, C.H.; ADAMS III, W.W.; DRIGGERS, E.M.; SILVER, G.M.; FALL, R. Relationships among Isoprene emission rate, photosynthesis and isoprene synthase activity as influenced by temperature. *Plant Physiology*, Rockville, v.92, p.1175-1180, 1992.
- MONTHEITH, J.L. Radiation and crops. *Experimental Agriculture*, London, v.1, p.241-251, 1965.
- MOREIRA, C.M. *Inventário de emissões biogênicas (COVB) com apoio em SIG's*. 2003. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Aveiro, Aveiro, 2003.
- NUNES, T.V.; PIO, C.A. Emission of volatile organic compounds from Portuguese eucalyptus forest. *Chemosphere: Global Change Science*, Oxford, v.3, p.239-248, 2001.
- OWEN, S.M.; HEWITT, C.N. Extrapolating branch enclosure measurements to estimates of regional scale biogenic VOC fluxes in the northwestern Mediterranean basin. *Journal Geophysical Research*, Washington, v.105, n.D9, p.11573-11583, 2000.
- OWEN, S.M.; BOISSARD, C.; HEWITT, C.N. Volatile organic compounds (VOCs) emitted from 40 Mediterranean plant species: VOC speciation and extrapolation to habitat scale. *Atmospheric Environment*, Oxford, v.35, p.5393-5409, 2001.
- PARRA, R.; GASSÓ, S.; BALDASANO, J.M. Estimating the biogenic emissions of non-methane volatile organic compounds from the North Western Mediterranean vegetation of Catalonia, Spain. *The Science of the Total Environment*, Amsterdam, v.329, p.241-259, 2004.
- PIERCE, T.E.; LAMB, B.K.; METER, A.R.V. Development of a biogenic emissions inventory system for regional scale air pollution models. In: ANNUAL MEETING & EXHIBITION, 83., Pittsburg, 1990. *Proceedings*. Pittsburg, 1990.
- PIERCE, T.E.; WALDRUFF, P.S. PC-BEIS: a personal computer version of the biogenic emissions inventory system. *Journal of the Air & Waste Management Association*, Pittsburg, v.41, n.7, 1991.
- PIO, C.A.; ALVES, C.A.; DUARTE, A.C. Organic components of aerosols in a forest area of central Greece. *Atmospheric Environment*, Oxford, v.35, p.389-401, 2001.
- PIO, C.A.; NUNES, T.V.; BRITO, S. Volatile hydrocarbon emission from common and native species of vegetation in Portugal: general assessment of biogenic emissions and deposition of nitrogen compounds, sulphur compounds and oxidants in Europe, CEC. *Air Pollution Research Report*, n.47, p.291-298, 1993.
- SIMPSON, D.; WINIWARTER, W.; BÖRJESSON, G.; CINDERBY, S.; FERREIRO, A.; GUENTHER, A.; HEWITT, C.N.; JANSON, R.; KHALIL, M.A.K.; OWEN, S.; PIERCE, T.E.; PUXBAUM, H.; SHEARER, M.; SKIBA, U.; STEINBRECHER, R.; TARRASÓN, L.; ÖQUIST, M.G. Inventory emissions from nature in Europe. *Journal Geophysical Research*, Washington, v.104, n.D7, p.8113-8152, 1999.
- STAUDT, M.; BERTIN, N.; HANSEN, U.; SEUFERT, G.; CICCIOLO, P.; FOSTER, B.; FUGIT, J.L.; TORRES, L. The BEMA-project: seasonal and diurnal patterns of monoterpene emissions from *Pinus pinea* under field conditions. *Atmospheric Environment*, Oxford, v.31, p.145-156, 1997.

TSIGARIDIS, K.; KANAKIDOU, M. Importance of volatile organic compounds photochemistry over a forested area in central Greece. **Atmospheric Environment**, Oxford, v.36, p.3137-3146, 2002.

WINER, A.M.; AREY, J.; ATKINSON, R.; ASCHMAN, S.M; LONG, W.D.; MORRISON, C.L.; OLSZYK, D. Emissions rates of organics from vegetation in California's central valley. **Atmospheric Environment**, Oxford, v.26A, p.2647-2659, 1992.

Recebido em 01/12/2006

Aceito para publicação em 07/11/2007