

Estimativa de Emissões Atmosféricas Originadas por Fogos Rurais em Portugal

Tiago Pereira da Silva*, **José M. Cardoso Pereira****, **José C. P. Paúl*****,
Maria Teresa N. Santos* e **Maria José P. Vasconcelos******

* Bolseiros de Investigação

**Professor Catedrático

Instituto Superior de Agronomia, Tapada da Ajuda, 1349-017 LISBOA

***Eng^o Florestal

Metacortex Lda., Rua Jau, 1300-314 LISBOA

****Investigadora Auxiliar c/ Agregação

Instituto de Investigação Científica Tropical, Rua da Junqueira, 1300-344 LISBOA

Sumário. Os ecossistemas vegetais terrestres são uma componente importante do ciclo biogeoquímico do carbono. Contudo, persistem incertezas consideráveis quanto à magnitude das trocas de carbono que se estabelecem entre a superfície terrestre e a atmosfera. Os incêndios surgem neste contexto como uma importante fonte de emissão de carbono e outros compostos para a atmosfera, razão pela qual se torna necessário tentar estimar aqueles montantes. Com o presente estudo, que tomou a década de 90 como referência, tentou-se introduzir conceitos e metodologias que permitissem quantificar as emissões atmosféricas originadas por incêndios em Portugal, contribuindo assim para a redução das incertezas associadas aos fluxos que se estabelecem entre a vegetação e a atmosfera. Para tal, procedeu-se à compilação de dados relativos às áreas ardidas, biomassa média existente por tipo de ocupação do solo, fracções consumidas em incêndios e conversão da biomassa consumida em compostos libertados. Os valores obtidos para a emissão de gases com efeito de estufa variaram entre um mínimo de 0,474 Mt de CO₂ eq. em 1997 e um máximo de 3,869 Mt de CO₂ eq. em 1998. Com base nos dados da década de 90 construiu-se uma regressão linear simples entre área ardida e emissões, possibilitando, por exemplo, determinar que o montante dos gases com efeito de estufa libertados no Verão de 2003 foi de **7,39 Mt** de CO₂ eq.

Palavras-chave: incêndios; emissões atmosféricas; gases de efeito de estufa; biomassa

Estimate of Atmospheric Emissions Originated by Wildfires in Portugal

Abstract. Terrestrial ecosystems are an important component of the global biogeochemical carbon cycle. However, considerable uncertainties remain regarding the magnitude of carbon exchanges between the land surface and the atmosphere. Vegetation fires are an important source of emissions of carbon and other chemical compounds, whose magnitudes must be estimated. The present study encompasses the 1990s and introduces approaches to quantify atmospheric emissions from wildfires in Portugal, thus contributing towards reducing uncertainties associated with land-atmosphere exchanges. We compiled data for area burned, mean biomass per land cover type, combustion factors and emission factors. The values

obtained for greenhouse gas emissions varied from a minimum of 0,474 Mt CO₂ eq. in 1997 to a maximum of 3,869 Mt CO₂ eq. in 1998. We developed a linear regression model to estimate emissions from burned and calculated that 7,39 Mt CO₂ eq. were released during the extremely severe fire season of 2003.

Key words: wildfires; atmospheric emissions; greenhouse gases; biomass

Estimation d'Émissions Atmosphériques Découlant des Feux Ruraux au Portugal

Résumé. Les écosystèmes végétaux terrestres sont une composante importante du cycle biogéochimique du carbone. Toutefois, des incertitudes considérables persistent en ce qui concerne la magnitude des échanges de carbone qui s'établissent entre la superficie terrestre et l'atmosphère. Les incendies apparaissent dans ce contexte comme une importante source d'émission de carbone et d'autres composants pour l'atmosphère, raison pour laquelle il s'avère nécessaire d'essayer d'estimer ces émissions. Dans cette étude, qui a comme point de référence les années 90, on a essayé d'introduire des concepts et des méthodologies permettant la quantification des émissions atmosphériques créées par des incendies au Portugal, contribuant ainsi à la réduction des incertitudes associées aux flux qui s'établissent entre la végétation et l'atmosphère. A cette fin, on a procédé à la compilation des données relatives aux aires brûlées, biomasse moyenne par type d'occupation de sol, fractions consommées par des incendies, et conversion de la biomasse consommée en composants libérés. Les valeurs obtenues par l'émission de gaz à effet de serre, en conséquence des incendies, ont varié entre un minimum de 0,474 Mt de CO₂ eq. en 1997 et un maximum de 3,869 Mt de CO₂ eq. en 1998. Sur base des données de la décennie de 90, on a obtenu une régression linéaire simple entre l'aire brûlée et les émissions, qui a permis, par exemple, de déterminer que le montant de gaz à effet de serre libéré durant l'été de 2003 a atteint les 7,39 Mt de CO₂ eq.

Mots clés: incendies; émissions atmosphériques; gaz à effet de serre; biomasse

Introdução

A preocupação com o aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera, bem como de outros gases com efeito de estufa (GEE), não é recente, tendo-se vindo a estudar a melhor maneira de controlar as suas emissões. O diálogo internacional relativo à definição de estratégias e de mecanismos de mitigação e adaptação às alterações climáticas teve início nos anos oitenta, altura em que ocorreram várias reuniões intergovernamentais dedicadas ao tema, que culminaram em 1988 com a criação do Painel Intergovernamental sobre as Alterações Climáticas (IPCC).

O Protocolo de Quioto, assinado por Portugal em 1992 no âmbito da Conferência Quadro das Nações Unidas

sobre as Alterações Climáticas (CQNUAC), introduziu instrumentos de mercado que visam tornar mais eficiente o controlo de emissões de GEE. Os instrumentos então apresentados foram o Comércio das Emissões, a Implementação Conjunta e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, os quais têm por finalidade criar um mercado de licenças/direitos de emissão entre países, estando a sua entrada em funcionamento prevista para o primeiro período de cumprimento do protocolo (2008-2012). Para serem implementados, estes instrumentos necessitam que os países aderentes inventariem, a nível nacional, as emissões de GEE, sendo os incêndios uma das fontes a quantificar e que Portugal ainda não considera.

A análise das áreas ardidadas ao longo

das duas últimas décadas, quer em termos absolutos, quer comparando com as dos outros países do sul da Europa, revela que Portugal Continental se encontra sujeito a um regime de incêndios particularmente severo (EUROPEAN COMMISSION, 2005) e que mostra tendência para se agravar (PEREIRA *et al.*, 2002). Este cenário, a confirmar-se, poderá ter como consequência um aumento de fitomassa média consumida anualmente por incêndios. A isto acrescenta-se o facto de estarmos perante um novo cenário internacional introduzido pelo Protocolo de Quioto, onde a gestão da ocupação do solo com o intuito de aumentar a eficiência no sequestro de carbono pode desempenhar um papel importante na economia nacional.

A tentativa de quantificar as emissões atmosféricas originadas por incêndios teve início na década de 70. CRUTZEN *et al.* (1979) alertaram para o facto de as emissões de alguns gases de estufa, devidas à queima de biomassa, serem significativas quando comparadas com outras fontes emissoras a nível global. O cálculo das emissões pode-se representar genericamente da seguinte forma (SEILER e CRUTZEN, 1980):

$$E_a = A \times B \times \alpha \times Fe_a \quad (1)$$

onde E_a representa a massa emitida do composto a , A a área ardida, B a biomassa vegetal, α o factor de combustão (fracção da biomassa que é consumida) e Fe_a o factor de emissão associado ao composto a (massa de determinado composto que é libertada por unidade de massa de combustível consumido).

O erro associado às estimativas encontra-se dependente do grau de precisão dos dados base, ou seja, dos

valores de área ardida, de biomassa média, de percentagens consumidas e factores de emissão. ANDREAE e MERLET (2001) estimaram que os factores de emissão relativos a poluentes como o CO e o CH₄ teriam uma incerteza associada de 20-30%, indicando também que as estimativas de biomassa queimada que usaram no seu estudo apresentariam erros de pelo menos 50%. Como se percebe, esta grande variação de valores possíveis resulta num grande grau de incerteza quanto à qualidade das estimativas, razão pela qual é muito importante desenvolver metodologias que permitam diminuir aquelas incertezas.

Neste sentido, os vários estudos que têm surgido relativos a este tema, têm adoptado metodologias diferentes, de acordo com os dados a que recorreram. SCHOLES (1995), por exemplo, estimou para o hemisfério sul do continente africano, as emissões de gases de estufa originadas a partir de incêndios. A sua abordagem tentava reduzir a incerteza quanto às áreas ardidas, recorrendo para tal a imagens de satélite. As áreas afectadas por incêndios foram estimadas através do Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) com capacidade de detectar fogos activos de dimensão muito inferior ao pixel de 1,1 Km². Porém, a estimativa de área queimada a partir da contagem de fogos activos é pouco rigorosa (Pereira *et al.*, 1999).

BARBOSA *et al.* (1999) recorreram a imagens de satélite AVHRR-GAC com 5 Km de resolução espacial para estimar as áreas ardidas no continente africano. Ao contrário de SCHOLES (1995), que utilizou um sinal térmico para detectar fogos activos, BARBOSA *et al.* (1999) recorreram à combinação de várias

bandas espectrais para detectar as cicatrizes provocadas pelos fogos.

Também BARBOSA *et al.* (1999) se depararam com a impossibilidade de determinar com rigor qual a área que realmente havia ardido no pixel assinalado como contendo um fogo. BARBOSA *et al.* (1999) resolveram esta questão considerando dois cenários possíveis, um máximo e outro mínimo, tentando assim estabelecer uma amplitude entre valores possíveis. No mesmo estudo, a densidade de biomassa, assim como os factores de combustão, foram modeladas tendo por base valores semanais acumulados do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI).

Outra forma de abordar a determinação das cargas de combustível e fracções de material consumido consiste em atribuir modelos de combustível a unidades espaciais pré-definidas. Foi este o procedimento seguido por LEENHOUTS (1998), onde a uma classificação da vegetação dos Estados Unidos contendo 116 tipos fisionómicos se fez corresponder modelos de combustível National Fire Danger Rating System (NFDRS). Para cada modelo de combustível NFDRS (21 ao todo) é indicado o valor característico da carga dos diferentes compartimentos da fitomassa por unidade de área, bem como a proporção tipicamente consumida pelo fogo.

AMIRO *et al.* (2001), num estudo dedicado à quantificação de biomassa consumida em incêndios no Canada, recorreram ao índice meteorológico de incêndio (FWI) para avaliar a percentagem de consumo dos diferentes componentes dos combustíveis vegetais durante um fogo. Este índice tem por base vários dados de natureza meteorológica como sejam a temperatura, humidade relativa do ar e velocidade do

vento. A sua aplicação na modelação do comportamento do fogo introduz maior grau de complexidade e precisão nas estimativas.

Com o presente estudo pretende-se obter, para Portugal Continental, estimativas do nível de emissões de GEE por tipo de ocupação do solo ao longo da década de 90. A metodologia adoptada combina vários métodos já seguidos em trabalhos semelhantes, tendo como condicionante a informação disponível para Portugal. Para além da obtenção de uma estimativa dos montantes emitidos de GEE, também se procedeu à modelação das emissões de GEE, como função linear da área total ardida anualmente.

Dados e métodos

A área de estudo é a de Portugal Continental, tendo-se considerado o período entre 1990 e 1999, ao longo do qual foram efectuados cálculos anuais. A metodologia seguida é a de SEILER e CRUTZEN (1980), pelo que se procedeu à recolha de informação relativa às áreas ardidas, ocupação do solo e factores de combustão, de modo a se estimar a biomassa consumida por ano. Esta estimativa foi então combinada com factores de emissão, obtendo-se, assim, as massas de GEE libertadas durante os incêndios:

$$E_a = \sum_i \sum_n A_i \times B_{ni} \times \alpha_{ni} \times Fe_a \quad (2)$$

em que E_a representa o valor da massa emitida do composto a ; A_i a área ardida na classe de ocupação do solo i ; B_{ni} a biomassa associada à componente n dos combustíveis presentes na classe de ocupação do solo i ; α_{ni} o factor de combustão da componente n da biomassa na classe de ocupação do solo i e Fe_a o factor de emissão associado ao composto a .

Área ardida e ocupação do solo

As áreas ardidas por tipo de ocupação do solo foram retiradas de PEREIRA e SANTOS (2003). Naquele estudo as áreas afectadas por incêndios ao longo da década de 90 foram cartografadas à escala de 1:100 000 tendo por base imagens de satélite Landsat Thematic Mapper (TM), com resolução espacial de 30m.

A cartografia das áreas ardidas foi

cruzada com uma carta de ocupação do solo de Portugal continental contendo uma legenda com 18 classes. Esta foi obtida a partir da junção de dados provenientes do projecto Cartografia de Ocupação do Solo (COS90) do Centro Nacional de Informação Geográfica, com dados provenientes do projecto CORINE Landcover (PEREIRA e SANTOS, 2003). No Quadro 1 encontram-se indicadas as áreas ardidas por tipo de ocupação do solo ao longo da década de 90.

Quadro 1 - Áreas ardidas por tipo de ocupação do solo ao longo da década de 90 (ha)¹

| Ocupação do Solo | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | Total/Tipo |
|------------------------------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|---------|--------|------------|
| Culturas Anuais | 3 954 | 9 625 | 2 108 | 1 970 | 6 576 | 4 397 | 7 157 | 1 065 | 14 359 | 3 647 | 54 858 |
| Vinha | 163 | 668 | 69 | 53 | 377 | 529 | 214 | 111 | 722 | 338 | 3 244 |
| Pomar | 80 | 464 | 107 | 39 | 325 | 213 | 181 | 17 | 456 | 180 | 2 062 |
| Olival | 1 081 | 4 415 | 544 | 366 | 933 | 1 074 | 914 | 101 | 1 555 | 1 109 | 12 092 |
| Áreas Agrícolas Heterogéneas | 2 716 | 12 444 | 1 456 | 805 | 993 | 3 762 | 1 003 | 334 | 5 049 | 2 026 | 30 588 |
| Territórios Agro-florestais | 963 | 4 282 | 886 | 520 | 833 | 1 691 | 1 492 | 210 | 3 792 | 1 024 | 15 693 |
| Sobreiro | 369 | 3 029 | 388 | 99 | 775 | 758 | 434 | 76 | 502 | 1 186 | 7 616 |
| Azinhreira | 8 | 194 | 29 | 13 | 172 | 249 | 90 | 4 | 244 | 234 | 1 237 |
| Eucalipto | 3 356 | 17 882 | 3 983 | 2 228 | 743 | 15 110 | 1 460 | 1 433 | 4 817 | 2 353 | 53 365 |
| Outras Folhosas | 3 160 | 7 483 | 1 159 | 785 | 2 528 | 7 657 | 3 517 | 652 | 6 099 | 3 069 | 36 109 |
| Pinheiro Bravo | 10 542 | 50 660 | 8 250 | 12 474 | 4 547 | 27 648 | 10 843 | 2 819 | 23 709 | 9 893 | 161 385 |
| Pinheiro Manso | 9 | 39 | 9 | 60 | 9 | 20 | 2 | 2 | 47 | 38 | 235 |
| Outras Resinosas | 751 | 1 066 | 194 | 720 | 388 | 546 | 1 462 | 254 | 1 275 | 344 | 7 000 |
| Floresta Mista | 4 897 | 16 785 | 4 005 | 2 523 | 3 902 | 11 910 | 5 012 | 1 759 | 15 407 | 4 076 | 70 276 |
| Veg. Arbustiva e Herbácea | 39 586 | 53 709 | 10 368 | 17 557 | 45 275 | 50 411 | 42 677 | 8 948 | 65 241 | 23 231 | 357 003 |
| Áreas com pouca Veg. | 56 686 | 11 789 | 2 120 | 5 377 | 11 077 | 13 049 | 12 665 | 2 823 | 20 111 | 6 675 | 142 372 |
| Ardido em 1990 | | 1 938 | 1 110 | 1 112 | 1 680 | 8 578 | 7 747 | 1 778 | 10 487 | 3 262 | 37 692 |
| Ardido em 1991 | | | 2 381 | 924 | 4 936 | 7 767 | 4 099 | 1 169 | 4 931 | 4 741 | 30 948 |
| Ardido em 1992 | | | | 709 | 323 | 1 131 | 1 309 | 445 | 1 718 | 1 160 | 6 795 |
| Ardido em 1993 | | | | | 396 | 1 167 | 2 473 | 719 | 6 584 | 485 | 11 824 |
| Ardido em 1994 | | | | | | 1 372 | 6 672 | 1 997 | 17 094 | 4 352 | 31 487 |
| Ardido em 1995 | | | | | | | 2 822 | 589 | 17 965 | 3 169 | 24 545 |
| Ardido em 1996 | | | | | | | | 850 | 23 104 | 3 635 | 27 589 |
| Ardido em 1997 | | | | | | | | | 3 596 | 1 024 | 4 620 |
| Ardido em 1998 | | | | | | | | | | 1 791 | 1 791 |
| TOTAL/ANO (ha) | 128 321 | 196 472 | 39 166 | 48 334 | 86 788 | 159 039 | 114 245 | 28 155 | 248 864 | 83 042 | 128 321 |

¹ Valores retirados de PEREIRA e SANTOS (2003).

Determinação da biomassa associada a cada tipo de ocupação do solo

A determinação de valores médios de biomassa para cada uma das classes de ocupação do solo consideradas neste estudo foi obtida agregando as classes em três grupos genéricos de áreas: áreas contendo **florestas**, áreas contendo **matos** e **áreas agrícolas ou agro-florestais**. Optou-se por seguir esta abordagem, uma vez que a informação disponível para cada uma das diferentes classes de ocupação do solo é diversa, conduzindo à necessidade de serem adoptadas metodologias distintas.

Florestas

Para a vegetação florestal foram consideradas as seguintes componentes da biomassa: folhada, vegetação arbustiva e folhas das copas. Considerou-se apenas as folhas das copas, e não também os ramos, dado que o consumo de biomassa lenhosa nas copas é tipicamente bastante reduzido, e que existe uma grande falta de informação relativa à biomassa dos ramos finos (ramos de diâmetro inferior a 6mm, que são os mais afectados durante um fogo). De igual modo, também a biomassa do tronco não foi considerada, uma vez que esta pouco é consumida durante a ocorrência de um incêndio.

Relativamente à biomassa da folhada presente nos povoamentos florestais, esta foi obtida a partir dos valores indicados na bibliografia consultada. Os valores médios obtidos encontram-se no Quadro 2.

Para quantificar a biomassa da vegetação arbustiva presente no sub-bosque florestal recorreu-se a dados disponibilizados pela Direcção de

Serviços de Planeamento e Estatística da Direcção-Geral dos Recursos Florestais (DGRF). Aqueles são relativos a 2336 parcelas de inventário que foram medidas em 1997 e 1998 no âmbito da terceira revisão do Inventário Florestal Nacional e indicam as percentagens de coberto de 23 tipos de vegetação arbustiva ao longo de 6 classes de altura.

Quadro 2 - Biomassa da folhada presente nos vários tipos de ocupação florestal

| | Biomassa de Folhada (t/ha) |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| Eucalipto ¹ | 6 |
| Sobreiro ² | 7 |
| Azinhreira ² | 7 |
| Outras Folhosas ² | 4,5 |
| Pinheiro Bravo ³ | 10 |
| Pinheiro Manso ⁴ | 6,5 |
| Outras Resinosas ⁵ | 7 |
| Floresta Mista ⁶ | 8 |

¹ Cruz e Viegas (1998a), Madeira *et al.* (2002).

² Fernandes *et al.* (2000b).

³ Botelho *et al.* (1994), Dimitrakopoulos (2002), Fernandes *et al.* (2002), Montero *et al.* (1999).

⁴ Stamou *et al.* (1998).

⁵ Dimitrakopoulos (2002), Stamou *et al.* (1998).

⁶ Média dos valores indicados para o eucalipto e pinheiro bravo.

A equação que se segue representa a metodologia que foi seguida na determinação da biomassa da vegetação arbustiva presente no sub-coberto de áreas florestais.

$$B_j = \sum_i^6 \rho b_s \times P c_{si} \times A_i \quad (3)$$

B_j representa a fitomassa arbustiva da parcela j (Kg/m^2), ρb_s a densidade aparente (fitomassa por unidade de volume) da espécie s (Kg/m^3), $P c_{si}$ a percentagem de coberto da espécie s na classe de altura i e A_i a altura da classe i

(m). Os valores de densidade aparente atribuídos às diferentes formações arbustivas consideradas no Inventário Florestal Nacional (DIRECÇÃO-GERAL DAS FLORESTAS, 1999) foram recolhidos na bibliografia consultada e encontram-se indicados no Quadro 3.

Quadro 3 - Densidade aparente das espécies arbustivas inventariadas (Kg/m³)

| Espécie | Nome Vulgar | Média 1* | Média 2* | Mediana | Desvio Padrão |
|--|---|--------------|----------|---------|---------------|
| <i>Phillyrea latifolia</i> L. ou <i>Rhamnus alaternus</i> L. | Adernos ¹ | 1,943 | 2,188 | - | - |
| <i>Rosmarinus officinalis</i> L. | Alecrim ¹ | 1,943 | 2,188 | - | - |
| <i>Pistacia lentiscus</i> L. | Aroeira ou Lentisco-verdadeiro ¹ | 1,943 | 2,188 | - | - |
| <i>Ilex aquifolium</i> L. | Azevinho ¹ | 1,943 | 2,188 | - | - |
| <i>Pterospartum tridentatum</i> (L.) | Carqueja ² | 3,488 | 3,488 | 3,775 | 0,685 |
| <i>Quercus coccifera</i> L. | Carrasco ³ | 1,305 | 1,622 | 1,416 | 0,830 |
| <i>Quercus lusitanica</i> Lam. | Carvalhiça ³ | 1,305 | 1,622 | 1,416 | 0,830 |
| <i>Pyrus</i> spp. | Catapereiro ¹ | 1,943 | 2,188 | - | - |
| <i>Adenocarpus</i> spp. | Codeço ⁴ | 1,929 | 3,124 | 2,500 | 3,685 |
| <i>Cistus ladanifer</i> L. | Esteva ⁵ | 1,208 | 1,208 | 1,011 | 0,584 |
| <i>Cytisus</i> spp., <i>Genista</i> spp. ou <i>Spartium</i> spp. | Giestas ⁴ | 1,929 | 3,124 | 2,500 | 3,685 |
| <i>Ruscus aculeatus</i> L. | Gilbardeira ¹ | 1,943 | 2,188 | - | - |
| <i>Phillyrea angustifolia</i> L. | Léntisco-bastardo ¹ | 1,943 | 2,188 | - | - |
| <i>Arbutus unedo</i> | Medronheiro ⁶ | 1,476 | 1,476 | 1,430 | 0,777 |
| <i>Lavandula</i> spp. | Rosmaninho ⁷ | 1,593 | 1,593 | 1,550 | 0,596 |
| <i>Cistus salvifolius</i> L. | Sargaço ⁸ | 1,888 | 2,127 | 1,838 | 0,545 |
| <i>Rubus</i> spp. | Silvas ⁹ | 0,930 | 0,930 | 0,930 | 0,930 |
| <i>Dittrichia viscosa</i> (L.) W. Greuter | Tágueda ¹ | 1,943 | 2,188 | - | - |
| <i>Ulex</i> spp. | Tojos ¹⁰ | 3,666 | 4,244 | 4,305 | 2,482 |
| <i>Thymus vulgaris</i> L. | Tomilho ou Arçã ⁷ | 1,593 | 1,593 | 1,550 | 0,596 |
| <i>Daphne gnidium</i> L. | Trovisco ¹ | 1,943 | 2,188 | - | - |
| <i>Erica</i> spp. ou <i>Calluna</i> spp. | Urzes ¹¹ | 1,947 | 2,063 | 1,775 | 1,111 |
| <i>Juniperus</i> spp. | Zimbros ¹ | 1,943 | 2,188 | - | - |

* Média 1 e 2 referem-se a médias calculadas sem e com outliers, respectivamente.

¹ Obtido a partir dos valores médios das espécies que representam mais de 1% do volume total determinado para os pontos de amostragem (este valor também é usado para pequenas árvores).

² Cruz e Viegas (1998b), Fernandes e Rego (1998), Fernandes *et al.* (2000b), Oliveira (1998), Silva e Ribeiro (2002), Vega *et al.* (1998).

³ Fernandes e Pereira (1993), Paúl (1993), Rego *et al.* (1994), Specht (1988).

⁴ Armand *et al.* (1993), Estanislád *et al.* (1990), Fernandes *et al.* (2000b), Oliveira (1998), Papió e Trabaud (1991), Pereira *et al.* (1995), Silva e Ribeiro (2002).

⁵ Estanislád *et al.* (1990), Fernandes e Pereira (1993), Fernandes *et al.* (2000b), Rodrigues (1999), Rego *et al.* (1994), Silva e Ribeiro (2002).

⁶ Fernandes e Pereira (1993), Paúl (1993), Silva e Ribeiro (2002).

⁷ Armand *et al.* (1993), Fernandes e Pereira, (1993), Paúl (1993), Silva e Ribeiro (2002), Specht (1988).

⁸ Armand *et al.* (1993), Fernandes e Pereira (1993), Oliveira (1998), Paúl (1993), Papió e Trabaud (1991), Rodrigues (1999), Silva e Ribeiro (2002), Regueira *et al.* (1998).

⁹ Regueira *et al.* (1998).

¹⁰ Armand *et al.* (1993), Baesa *et al.* (1998), Cruz e Viegas (1998b), Fernandes e Pereira (1993), Oliveira (1998), Paúl (1993), Regueira *et al.* (1998), Pereira *et al.* (1995), Silva & Ribeiro (2002), Vega *et al.* (1998).

¹¹ Armand *et al.* (1993), Cruz e Viegas (1998b), Estanislád *et al.* (1990), Fernandes e Pereira (1993), Fernandes e Rego (1998), Fernandes *et al.* (2000b), Oliveira (1998), Rego *et al.* (1994), Pereira *et al.* (1995), Silva e Ribeiro (2002), Specht (1988), Vega *et al.* (1998).

No que respeita à biomassa das folhas presentes nas copas das árvores foram usadas, no caso do pinheiro bravo e eucalipto, equações preditivas da biomassa foliar e, para as restantes espécies, valores provenientes da EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (1999) que se encontram descritos no Quadro 4.

Quadro 4 - Biomassa foliar presente em diversos tipos de floresta

| | Biomassa Foliar (t/ha) |
|-------------------------------|-------------------------------|
| Sobreiro ¹ | 5 |
| Azinheira ¹ | 3,2 |
| Outras Folhosas ¹ | 4,1 |
| Pinheiro Manso ² | 5 |
| Outras Resinosas ² | 5 |

¹ Valores retirados de European Environment Agency (1999).

² Uma vez que os valores apresentados em European Environment Agency (1999) para o pinheiro manso e outras resinosas são iguais ao do pinheiro bravo, optou-se, na ausência de mais informação, por usar a mesma relação tendo por base o valor determinado para o pinheiro bravo a partir da equação 4.

A equação usada para estimar a biomassa das folhas de pinheiro bravo foi obtida ajustando um modelo alométrico aos dados de 76 árvores de vários pontos do país (os dados usados são relativos à altura, diâmetro à altura do peito e biomassa foliar, tendo sido retirados de PAÚL, 1997 e de trabalhos não publicados do Instituto Superior de Agronomia, Escola Superior Agrária de Coimbra e Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro). A equação obtida foi:

$$W_{folhas} = e^{-0,28051} \times d^{2,73018} \times h^{-1,39654} \quad (4)$$

($r^2 = 0,76$; $n=76$; $P<0,05$)

onde W_{folhas} representa a biomassa foliar (Kg), d o diâmetro à altura do peito

(centímetros) e h a altura da árvore (metros).

Para os eucaliptais foram usadas equações do modelo Globulus 2.1 (TOMÉ et al., 2001) cujas expressões se encontram descritas abaixo.

Determinação da biomassa total aérea (Kg):

$$W_t = (0,0680 - 0,0018 \, hdom) \times d^{2,0652 + 0,0065t - 1,505Fw} \times h^{0,0280 \, hdom + 2,6614Fw} \quad (5)$$

Determinação da proporção da biomassa total a que corresponde a biomassa do tronco:

$$P_{tronco} = (0,3577 + 0,0130G - 0,0877Fw) \times d^{0,0862 - 0,0060G} h^{0,1561} \quad (6)$$

Determinação da proporção da biomassa total a que corresponde a biomassa da copa:

$$p_{copa} = 1 - p_{tronco} \quad (7)$$

Determinação da biomassa da copa:

$$W_{copa} = p_{copa} \times W_t \quad (8)$$

Determinação da biomassa das folhas:

$$W_{folhas} = W_{copa} \times P_{folhas} \quad (9)$$

$$W_{folhas} = W_{copa} \times (0,7304 - 0,0154 \, t + 0,0021 \frac{t^2}{10}) \quad (10)$$

onde G representa a área basal (metros quadrados por hectare), $hdom$ a altura dominante (metros), h a altura (metros), d o diâmetro à altura do peito (centímetros), t a idade (anos) e Fw o factor de espaçamento de Wilson (índice de densidade relativa dos povoamentos). As equações acima indicadas para o pinheiro bravo e eucalipto foram aplicadas aos dados da terceira revisão do Inventário Florestal Nacional.

Matos

Por áreas de matos entende-se aqui não só as áreas que se encontram indicadas na carta de ocupação do solo, como também aquelas que arderam mais que uma vez ao longo do período estudado, uma vez que se considerou que as áreas afectadas por fogos dão origem a vegetação de tipo arbustivo (em áreas de floresta, assumiu-se que o intervalo de tempo considerado não é o suficiente para gerar novo coberto de tipo florestal). Assim, uma área que ardeu, por exemplo, em 1990 e mais tarde em 1994 teria neste último ano uma vegetação de tipo arbustivo com 4 anos de idade (tempo decorrido entre os dois incêndios; ver Quadro 1).

Nas áreas contendo matos consideraram-se duas componentes da biomassa: fitomassa arbustiva e folhada. A fitomassa arbustiva foi determinada a partir da equação que se encontra descrita abaixo (RAMBAL, 2001):

$$W = 2880(1 - e^{-0,0896t}) \quad (11)$$

($r^2 = 0,346$; $n = 85$; $P < 0,001$)

na qual o valor de W se refere a gramas de biomassa arbustiva (peso seco) por metro quadrado e t à idade em anos.

A aplicação desta equação a zonas cuja idade da vegetação é conhecida não apresenta dificuldades (áreas que reardaram durante o período considerado e para as quais se conhece o número de anos em que puderam acumular fitomassa), mas para as zonas em que se desconhecia a idade dos matos (ou seja, áreas contendo "vegetação arbustiva e herbácea" que arderam apenas uma vez durante o período considerado; ver Quadro 1) foi necessário estimar a composição etária daquelas comunidades por forma a se obter um valor médio de fitomassa por unidade de área.

A representatividade de cada classe de idade na paisagem (percentagem da área ocupada por matos de 1 ano, 2 anos, ..., n anos) foi determinada assumindo que a distribuição das classes de idade das manchas de vegetação arbustiva numa paisagem segue uma distribuição exponencial negativa. Optou-se por esta distribuição uma vez que possui apenas um parâmetro que pode ser determinado a partir da informação relativa às áreas ardidas. A ideia subjacente é a de que são os fogos que controlam a idade das comunidades arbustivas, existindo uma estreita relação entre a função de distribuição dos intervalos de tempo entre fogos e a função de distribuição das classes etárias da vegetação na paisagem. Não foi possível adoptar modelos mais complexos e precisos como, por exemplo, a distribuição de Weibull, devido à insuficiência de informação de base (o intervalo de tempo para o qual há dados é demasiado curto).

A aplicação da distribuição exponencial no estudo da frequência de incêndios foi proposta inicialmente por VAN WAGNER (1978), e tem como principal vantagem, como foi já mencionado, o facto de necessitar apenas de um parâmetro cujo significado é de fácil interpretação, dado que equivale ao intervalo médio entre dois fogos em qualquer ponto da área que se esteja a estudar. Outra característica da função exponencial negativa é a de considerar o risco de incêndio como independente da idade da vegetação o que, por sua vez, leva a que a distribuição dos intervalos de tempo entre incêndios corresponda à distribuição das classes de idade da vegetação na paisagem.

Substituindo o parâmetro p da distribuição exponencial por $1/b$ (notação sugerida por JOHNSON e GUTSELL, 1994)

obtem-se a seguinte equação que descreve a distribuição de intervalos entre fogos que equivale, neste caso, à distribuição das classes de idade da vegetação na paisagem:

$$f(t) = (1/b) \times \exp(-t/b) \quad (12)$$

onde $f(t)$ representa a probabilidade de se observar um intervalo de t anos entre dois incêndios em qualquer ponto na paisagem (ou a probabilidade de se encontrar na paisagem vegetação com t anos de idade) e b a idade média da vegetação, ou o tempo que demora a arder uma área de extensão igual à área de estudo.

A adopção neste trabalho da distribuição exponencial negativa apresenta, contudo, algumas limitações. Uma primeira, intrínseca ao próprio modelo e já atrás mencionada, consiste em considerar o risco de incêndio como independente da idade da vegetação. Outra limitação prende-se com a falta de registos que permitissem estimar de forma estatisticamente correcta o parâmetro b . Para dar resposta a este último aspecto considerou-se que o conceito de rotação natural do fogo (RNF), cuja interpretação é semelhante à do parâmetro b , poderia indicar um valor aproximado daquele parâmetro. Desta forma, procedeu-se à determinação da RNF e usou-se este valor como equivalente ao parâmetro b . A RNF é determinada da seguinte forma (HEINSELMAN, 1973):

$$RNF = N/(A/S) \quad (13)$$

em que N representa o número de anos no período observado, A a área total ardida ao longo do mesmo período e S a área da zona de estudo.

A biomassa média de um local contendo vegetação arbustiva pode então ser assim determinada:

$$bm = \sum_{t=1} (1/b) \times \exp(-t/b) \times 2880(1 - \exp(-0.0896t)) \quad (14)$$

onde t e b representam, respectivamente, a idade em anos e a idade média da vegetação.

No que toca à determinação da carga de folhada em áreas ocupadas por matos recorreu-se ao modelo de OLSON (1963) que, a partir da queda anual de folhada e da taxa de decomposição, dá a acumulação da folhada no solo ao longo do tempo. A equação do referido modelo é:

$$x = \frac{L}{K}(1 - e^{-Kt}) \quad (15)$$

em que x representa a carga de folhada por unidade de área, K a taxa de decomposição (ano^{-1}) e L a produção anual de folhada. O valor de K foi retirado de SIMÕES et al. (2001) e é referente à decomposição de folhada em matos de *Cistus salvifolius* L. e *Cistus ladanifer* L. com cerca de 15 anos. No mesmo estudo também se indica a quantidade de folhada libertada por aqueles matos (folhas, ramos finos e flores).

Para determinar o parâmetro L das áreas que rearderam durante o período estudado foi necessário estimar um valor médio de produção de folhada ao longo dos primeiros nove anos de acumulação (o período estudado é de 10 anos o que leva a que a vegetação reardida tenha no máximo 9 anos; áreas que arderam em 1990 e que rearderam em 1999). Para tal recorreu-se aos valores indicados em SIMÕES et al. (2001) para a produção de folhada em matos de *Cistus salvifolius* L. e *Cistus ladanifer* L., tendo-se considerado, portanto, que aqueles representariam as condições médias nas áreas de matos.

Uma vez que SIMÕES et al. (2001) mediram a queda de folhada sob as

copas dos arbustos, foi necessário multiplicar o seu valor pela percentagem de coberto, que se assumiu ser de 50% nas áreas de matos (DIMITRAKOPOULOS, 2002), de modo a que produção de folhada fosse relativa, não à área de projecção das copas dos arbustos, mas sim à unidade de área da paisagem.

Por outro lado, como apenas se conhecia a quantidade de folhada produzida por matos com 15 anos, foi necessário determinar, com base naquela informação, a carga de folhada libertada por matos de diferentes idades. Considerou-se que a produção de folhada se encontra intimamente relacionada com a biomassa de folhas presente nos arbustos e, como tal, poderia ser determinada a partir desta. Estabeleceu-se, assim, uma relação directa entre a biomassa foliar de matos com 15 anos (Equação 16) e a biomassa de folhada produzida por matos de *Cistus salvifolius* L. e *Cistus ladanifer* L. da mesma idade, cujo valor médio foi retirado de SIMÕES *et al.*, (2001).

A relação assim obtida indicou que a quantidade de folhada produzida anualmente pelos matos corresponderia a 55% da biomassa média das folhas, isto é, para se estimar a quantidade de folhada produzida por matos de diferentes idades ter-se-ia que multiplicar a respectiva biomassa foliar média por 0,55.

A biomassa foliar de matos de diferentes idades foi calculada a partir da seguinte equação (RAMBAL, 2001):

$$RW_{folhas} = 0,07 + 0,365 \times e^{(-0,000589 W_{arbustiva})} \quad (16)$$

($r^2 = 0,59$; $n = 36$; $P < 0,01$)

em que RW_{folhas} indica a fracção da biomassa foliar na biomassa arbustiva e $W_{arbustiva}$ a biomassa arbustiva (obtida a

partir da equação 11). A multiplicação dos valores obtidos a partir desta equação, com os resultantes da equação 11, permite determinar a biomassa foliar média por unidade de área (gramas por metro quadrado) de matos com diferentes idades.

O valor do parâmetro L (Equação 15) usado na determinação da biomassa de folhada das áreas que reardaram ao longo do período considerado resultou, assim, da média dos valores de produção de folhada estimados para os matos de 1 a 9 anos.

Nas áreas ocupadas por vegetação arbustiva cuja idade se desconhecia recorreu-se, novamente, à função densidade de probabilidades de intervalos entre fogos para determinar a produção média anual de folhada. A expressão usada foi:

$$Pmf = \sum_{i=1} f(i) \times W_{(i)} \times RW_{folhas(i)} \times 0,55 \quad (17)$$

em que Pmf representa a produção média de folhada, $f(i)$ a frequência de cada classe de idade, $W_{(i)}$ a biomassa arbustiva em comunidades com idade i e $RW_{folhas(i)}$ a fracção da biomassa de matos de idade i a que correspondem folhas. O valor 0,55 corresponde à relação que se estabeleceu entre folhas e queda de folhada.

O valor médio de biomassa de folhada associada a áreas de matos foi então determinado recorrendo, mais uma vez, à equação 15, considerando o valor da RNF (equação 13) como valor de t , dado que representa uma estimativa da idade média da vegetação. No Quadro 5 faz-se o resumo dos valores de biomassa de arbustos e de folhada associados às diferentes classes de vegetação arbustiva consideradas neste estudo.

Quadro 5 - Biomassa de arbustos e de folhada em áreas ocupadas por matos *Factores de combustão*

| Classes de Vegetação Arbustiva | Folhada (t/ha) | Arbustos (t/ha) |
|--------------------------------|----------------|-----------------|
| Matos de 1 ano | 1 | 2,5 |
| Matos de 2 anos | 1,6 | 4,7 |
| Matos de 3 anos | 1,9 | 6,8 |
| Matos de 4 anos | 2,1 | 8,7 |
| Matos de 5 anos | 2,2 | 10,4 |
| Matos de 6 anos | 2,2 | 12,0 |
| Matos de 7 anos | 2,3 | 13,4 |
| Matos de 8 anos | 2,3 | 14,7 |
| Matos de 9 anos | 2,3 | 15,9 |
| Vegetação arbustiva e herbácea | 2,6 | 20,2 |

Áreas agrícolas ou agro-florestais

Para os restantes tipos de ocupação do solo, que correspondem a áreas agrícolas ou agro-florestais, foram atribuídos modelos de combustível National Forest Fire Laboratory (NFFL) retirados de VÉLEZ (2000). Estes modelos caracterizam os diferentes arranjos estruturais que os combustíveis podem assumir numa determinada área, tendo sido desenvolvidos para tentar prever o comportamento do fogo. Para cada um destes modelos são indicadas cargas típicas de biomassa, bem como a sua distribuição por materiais de diferentes dimensões.

No Quadro 7 encontram-se indicados os modelos NFFL que se fizeram corresponder às diferentes classes de ocupação do solo de tipo agrícola ou agro-florestal, bem como os valores de biomassa associados a materiais de diferentes tamanhos.

Os factores de combustão usados para matos e folhada foram retirados de BOTELHO *et al.* (1994) e FERNANDES *et al.* (2000a). No primeiro caso são descritas as percentagens de materiais finos (de diâmetro inferior a 6mm) de arbustos e folhada consumidos em fogos controlados, realizados em 5 povoamentos de pinheiro bravo distribuídos pela Galiza e zonas Centro e Norte de Portugal. Em FERNANDES *et al.* (2000a) são indicadas as percentagens de materiais finos consumidos em fogos controlados realizados em matagais do NE do país.

BOTELHO *et al.* (1994) e FERNANDES *et al.* (2000a) não fazem referência à percentagem de materiais arbustivos com diâmetro superior a 6 mm que são consumidos em fogos, dado que não foram detectadas alterações significativas naquela componente da biomassa após os ensaios experimentais. Como os valores por nós obtidos correspondem à biomassa arbustiva total, tornou-se necessário determinar a fitomassa de elementos finos a partir da primeira. Para isso procedeu-se a uma análise dos modelos de combustível NFFL, tendo-se optado por considerar que 70% da biomassa arbustiva corresponde a elementos com diâmetro inferior a 6 mm (valor retirado das proporções observadas entre biomassa arbustiva e elementos finos nos modelos de combustível NFFL referentes a vegetação arbustiva).

A percentagem média da área afectada por fogo onde se verifica o consumo das copas das árvores é dada por FERREIRA (2003). Como se considera que um fogo de copas consome a totalidade da biomassa foliar, os valores

indicados em FERREIRA (2003) foram usados como a percentagem consumida durante um fogo.

Nas classes de ocupação do solo onde a biomassa foi determinada a partir de modelos de combustível NFFL, os factores de combustão foram obtidos estabelecendo uma correspondência entre aqueles modelos e os modelos National Fire Danger Rating System (NFDRS). Tal procedimento ficou a dever-se ao facto de só se ter encontrado, na bibliografia consultada, factores de combustão para os modelos NFDRS. Os valores usados neste estudo foram retirados de LAHM (1994) onde se indicam, para cada um dos modelos de combustível NFDRS e para materiais de diferentes dimensões, as respectivas percentagens consumidas após um fogo.

No Quadro 8 indicam-se os factores de combustão que foram usados nas diferentes classes de ocupação do solo consideradas.

Factores de emissão

Os factores de emissão indicam a quantidade libertada de determinado composto por unidade de matéria seca de biomassa consumida pelo fogo (ANDREAE e MERLET, 2001). Os compostos para os quais se estimaram as emissões foram o dióxido de carbono (CO₂) o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O), uma vez que os restantes gases de efeito de estufa considerados no Protocolo de Quioto e inventário Nacional de Emissões de Poluentes Atmosféricos (Hidrofluorcarbonos ou HFC, Perfluorcarbonos ou PFC e Hexafluoreto de enxofre ou SF₆) não têm expressão significativa em fenómenos de queima de biomassa (ANDREAE *et al.*, 2001). O Quadro 6 indica os factores de

emissão que foram usados para os diferentes tipos de ocupação do solo considerados.

Os resultados obtidos para o dióxido de carbono, metano e óxido nitroso foram convertidos em Potencial de Aquecimento Global (PAG) de modo a se poder comparar os montantes das emissões pirógenicas determinadas neste estudo com os indicados pelo Instituto do Ambiente para emissões de natureza antrópica (valores em CO₂ equivalente).

Quadro 6 - Factores de emissão

| Compostos Químicos Considerados | Factores de Emissão (g.kg ⁻¹) | |
|---------------------------------|--|--------------------------------|
| | Zonas Agrícolas e com Pouca Vegetação ¹ | Matos e Florestas ² |
| CO ₂ | 1613 | 1569 |
| CH ₄ | 2,3 | 4,7 |
| N ₂ O | 0,21 | 0,26 |

¹ Dados provenientes de Andreae e Merlet (2001) relativos a zonas herbáceas e de savana. Estes valores foram aplicados a culturas anuais, pomares, olival, áreas agrícolas heterogéneas, territórios agro-florestais e áreas com pouca vegetação.

² Dados retirados de Andreae e Merlet 2001 relativos a florestas extra-tropicais. Estes valores foram usados para as áreas de floresta e matos (inclui a vinha).

Os PAG usados foram retirados do Programa Nacional para as Alterações Climáticas (INSTITUTO DO AMBIENTE, 2002), e indicam a eficácia de cada gás em se comportar como Gás de Efeito de Estufa, tomando como referência o CO₂. Este é, portanto, o gás padrão e, como tal, o seu PAG é igual a 1 (ver Quadro 7).

Quadro 7 - Potenciais de aquecimento global usados para os 3 GEE estudados

| Espécie Química | PAG ¹ |
|------------------|------------------|
| CO ₂ | 1 |
| CH ₄ | 21 |
| N ₂ O | 310 |

¹ Instituto do Ambiente, 2002.

Quadro 8 - Biomassa consumida pelo fogo por unidade de área e por tipo de ocupação do solo

| Classes de Ocupação do Solo | | Folhada (t/ha) | Factor de Combustão ¹ | Arbustos ² (t/ha) | Factor de Combustão ¹ | Copas ³ (t/ha) | Factor de Combustão ¹ | Biomassa Consumida pelo Fogo (t/ha) ⁵ |
|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------------|----------------------------------|--|
| Sobreiro | | 7 | 0,63 | 4,728 | 0,8 | 5 | 0,59 | 11,14 |
| Azinheira | | 7 | 0,63 | 3,259 | 0,8 | 3,2 | 0,59 | 8,91 |
| Eucalipto | | 6 | 0,63 | 5,589 | 0,8 | 6,289 | 0,42 | 10,89 |
| Outras Folhosas | | 4,5 | 0,63 | 7,226 | 0,8 | 4,1 | 0,59 | 11,03 |
| Pinheiro Bravo | | 10 | 0,63 | 7,811 | 0,8 | 4,983 | 0,55 | 15,29 |
| Pinheiro Manso | | 6,5 | 0,63 | 5,604 | 0,8 | 5 | 0,51 | 11,13 |
| Outras Resinosas | | 7 | 0,63 | 9,275 | 0,8 | 5 | 0,51 | 14,38 |
| Floresta Mista | | 8 | 0,63 | 8,017 | 0,8 | 7,036 | 0,49 | 14,90 |
| Vegetação Arbustiva e Herbácea | | 2,9 | 0,63 | 14 | 0,8 | - | - | 13,03 |
| Matos de 1 ano | | 1 | 0,63 | 1,728 | 0,8 | - | - | 2,01 |
| Matos de 2 anos | | 1,6 | 0,63 | 3,308 | 0,8 | - | - | 3,65 |
| Matos de 3 anos | | 1,9 | 0,63 | 4,752 | 0,8 | - | - | 5 |
| Matos de 4 anos | | 2,1 | 0,63 | 6,073 | 0,8 | - | - | 6,18 |
| Matos de 5 anos | | 2,2 | 0,63 | 7,28 | 0,8 | - | - | 7,21 |
| Matos de 6 anos | | 2,2 | 0,63 | 8,384 | 0,8 | - | - | 8,09 |
| Matos de 7 anos | | 2,3 | 0,63 | 9,393 | 0,8 | - | - | 8,96 |
| Matos de 8 anos | | 2,3 | 0,63 | 10,316 | 0,8 | - | - | 9,7 |
| Matos de 9 anos | | 2,3 | 0,63 | 11,159 | 0,8 | - | - | 10,38 |
| Classes de Ocupação do solo | Modelos NFFL/NFDRS Atribuídos | 1HTR ⁶ (t/ha) | % Consumida ⁷ | 10 HTR ⁶ (t/ha) | % Consumida ⁷ | Vivo | % Consumida ⁷ | Biomassa Consumida pelo Fogo (t/ha) ⁵ |
| Culturas Anuais | 3 / N | 6,7 | 80 | - | - | - | - | 5,36 |
| Vinha | 5 / F | 2,2 | 60 | 1,1 | 50 | 4,5 | 50 | 4,12 |
| Pomar | 1 / A e L | 1,6 | 80 | - | - | - | - | 1,28 |
| Olival | 1 / A e L | 1,6 | 80 | - | - | - | - | 1,28 |
| Áreas Agrícolas Heterogêneas | 1 / A e L | 1,6 | 80 | - | - | - | - | 1,28 |
| Territórios Agro-florestais | 2 / C e T | 4,5 | 85 | - | - | 1,1 | 65 | 4,54 |
| Áreas com pouca Vegetação | 1 / A e L | 1,6 | 80 | - | - | - | - | 1,28 |

¹ Retirado de Botelho *et al.* 1994 e Fernandes *et al.* 2000a.

² valores correspondentes a 70% da biomassa arbustiva total.

³ Dados provenientes da European Environment Agency (1999) (Quadro 2) e dos valores obtidos pela aplicação das equações 4 a 10 aos dados recolhidos para elaboração da terceira revisão do Inventário Florestal Nacional.

⁴ Ferreira, 2003.

⁵ somatório dos produtos entre as componentes da biomassa e os respectivos factores de combustão.

⁶ 1HTR equivale a combustíveis de diâmetro inferior a 6mm e 10HTR a materiais com diâmetro compreendido entre 6mm e 25mm.

⁷ Lahm, 1994.

Resultados

Biomassa consumida por tipo de ocupação do solo

A recolha de informação relativa à biomassa associada a cada classe de ocupação do solo considerada neste estudo (obtida através dos métodos acima descritos), bem como dos correspondentes factores de combustão, teve por finalidade determinar a quantidade de material consumido por unidade de área. O Quadro 8 faz a

síntese dos dados que estiveram na base da determinação daqueles valores (a biomassa consumida por hectare em cada classe de ocupação do solo resulta do somatório dos produtos entre as componentes da biomassa e os respectivos factores de combustão; ver Equação 2).

Repare-se que as zonas ocupadas por pinheiro bravo e por floresta mista (pinheiro bravo e eucalipto) são aquelas que apresentam os maiores consumos de biomassa. No entanto, como se pode observar na Figura 1, as

várias componentes constituintes da biomassa presente naqueles tipos de povoamentos assumem contribuições relativas distintas para o total de biomassa consumida.

Do cruzamento dos dados relativos às áreas ardidadas ao longo da década de 90 (Quadro 1) com os valores de biomassa consumida (Quadro 8) e com os referentes a factores de emissão (Quadro 6) resultou a determinação das massas libertadas de GEE pelos diferentes tipos de vegetação ao longo da década de 90 (Quadro 10). No Quadro 9 exemplifica-se, para o ano de 1999, o modo como foram obtidas as estimativas de emissões de GEE.

No que se refere ao contributo de cada tipo de ocupação do solo para o total das emissões de GEE na década de 90 (Figura 2), as zonas de matos e vegetação herbácea surgem destaca-

das, contribuindo com 42,3%, seguindo-se-lhes as áreas de pinhal bravo (22,4%), de floresta mista (9,5%), de áreas reardidas (9,4%) e de eucaliptal (5,3%). Os tipos de ocupação do solo que menos contribuíram para a emissão de CO₂ eq. foram os montados de azinho, os pomares e o pinhal manso (0,1%, 0,02% e 0,02% respectivamente).

Observando a Figura 3 pode-se verificar a forte relação que existe entre o montante das emissões de GEE e as áreas ardidadas ao longo da década de 90.

As regressões lineares presentes no Quadro 11 foram estabelecidas com o intuito de avaliar a viabilidade de se estimar o consumo médio de biomassa e emissão de GEE tendo por base apenas o conhecimento das áreas ardidadas anualmente.

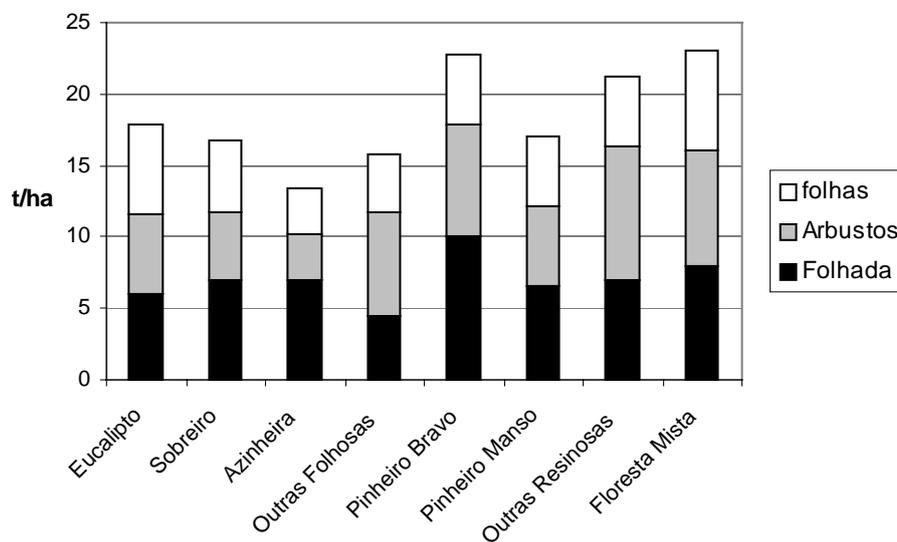


Figura 1 - Distribuição das três componentes da biomassa consideradas para os povoamentos florestais

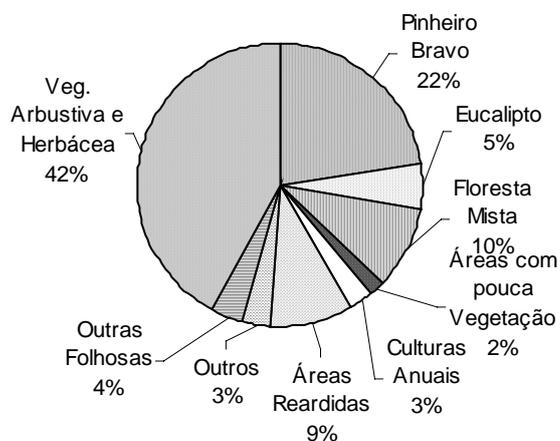


Figura 2 - Contribuição para o total das emissões de CO₂ eq. na década de 90, por classe de ocupação do solo

Quadro 9 - Exemplo, para o ano de 1999, do procedimento seguido na obtenção de valores de GEE emitidos pelas diferentes classes de ocupação do solo

| Ocupação do Solo | Área Ardida (ha) | x | Biomassa Consumida (t/ha) | x | Factor de Emissão (tCO ₂ eq./t b.c.) ¹ | = | Total Emitido (tCO ₂ eq.) |
|------------------------------|------------------|---|---------------------------|---|--|---|--------------------------------------|
| Culturas Anuais | 3 647 | | 5,36 | | 1,7264 | | 33 748 |
| Vinha | 338 | | 4,12 | | 1,7483 | | 2 435 |
| Pomar | 180 | | 1,28 | | 1,7264 | | 398 |
| Olival | 1 109 | | 1,28 | | 1,7264 | | 2 451 |
| Áreas Agrícolas Heterogéneas | 2 026 | | 1,28 | | 1,7264 | | 4 477 |
| Territórios Agro-florestais | 1 024 | | 4,54 | | 1,7483 | | 8 026 |
| Sobreiro | 1 186 | | 11,14 | | 1,7483 | | 23 104 |
| Azinhaira | 234 | | 8,91 | | 1,7483 | | 3 643 |
| Eucalipto | 2 353 | | 10,89 | | 1,7483 | | 44 809 |
| Outras Folhosas | 3 069 | | 11,03 | | 1,7483 | | 59 208 |
| Pinheiro Bravo | 9 893 | | 15,29 | | 1,7483 | | 264 445 |
| Pinheiro Manso | 38 | | 11,13 | | 1,7483 | | 739 |
| Outras Resinosas | 344 | | 14,38 | | 1,7483 | | 8 648 |
| Floresta Mista | 4 076 | | 14,90 | | 1,7483 | | 106 187 |
| Veg. Arbustiva e Herbácea | 23 231 | | 13,03 | | 1,7483 | | 529 088 |
| Áreas com pouca Veg. | 6 675 | | 1,28 | | 1,7264 | | 14 750 |
| Ardido em 1990 | 3 262 | | 2,01 | | 1,7483 | | 59 177 |
| Ardido em 1991 | 4 741 | | 3,65 | | 1,7483 | | 80 415 |
| Ardido em 1992 | 1 160 | | 5 | | 1,7483 | | 18 177 |
| Ardido em 1993 | 485 | | 6,18 | | 1,7483 | | 6 862 |
| Ardido em 1994 | 4 352 | | 7,21 | | 1,7483 | | 54 858 |
| Ardido em 1995 | 3 169 | | 8,09 | | 1,7483 | | 34 245 |
| Ardido em 1996 | 3 635 | | 8,96 | | 1,7483 | | 31 764 |
| Ardido em 1997 | 1 024 | | 9,7 | | 1,7483 | | 6 542 |
| Ardido em 1998 | 1 791 | | 10,38 | | 1,7483 | | 6 300 |
| TOTAL | | | | | | | 1 404.497 |

¹ Valores obtidos a partir da combinação dos factores de emissão indicados em Andreae e Merlet (2001) para as espécies químicas CO₂, CH₄ e N₂O (Quadro 6) com os respectivos valores de potencial de aquecimento (Quadro 7); t b.c. corresponde a toneladas de biomassa consumida.

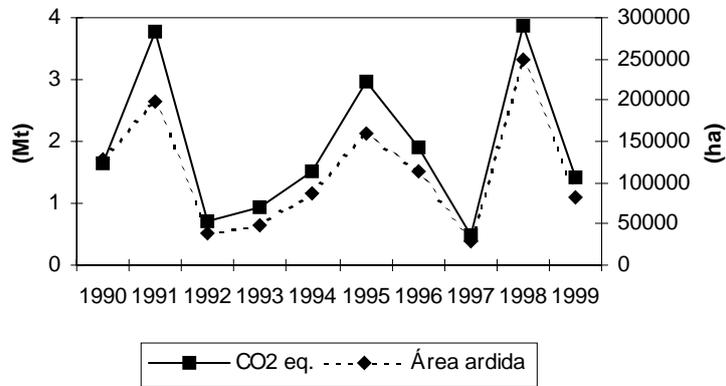


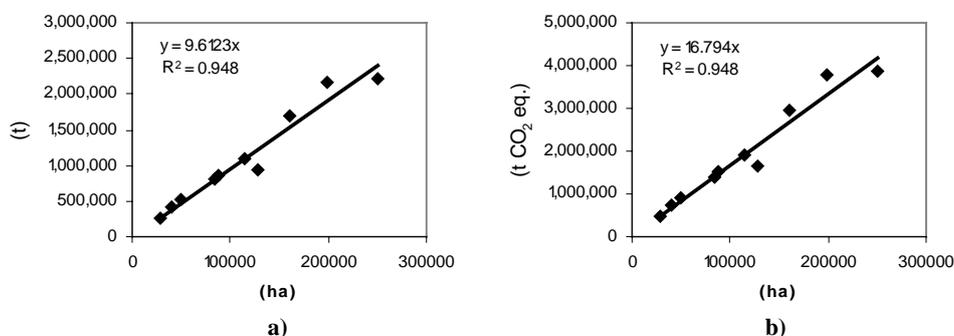
Figura 3 - Evolução das áreas ardidas e da emissão de GEE ao longo da década de 90

Quadro 10 - Emissões de CO₂ eq. (t) ao longo da década de 90

| Ocupação do Solo | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | Total/Tipo |
|------------------------------|------------------|------------------|----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|-------------------|
| Culturas Anuais | 36 588 | 89 065 | 19 506 | 18 229 | 60 851 | 40 688 | 66 227 | 9 855 | 132 871 | 33 748 | 507 629 |
| Vinha | 1 174 | 4 812 | 497 | 382 | 2 716 | 3 810 | 1 541 | 800 | 5 201 | 2 435 | 23 367 |
| Pomar | 177 | 1 025 | 236 | 86 | 718 | 471 | 400 | 38 | 1 008 | 398 | 4 557 |
| Olival | 2 389 | 9 756 | 1 202 | 809 | 2 062 | 2 373 | 2 020 | 223 | 3 436 | 2 451 | 26 721 |
| Áreas Agrícolas Heterogêneas | 6 002 | 27 499 | 3 217 | 1 779 | 2 194 | 8 313 | 2 216 | 738 | 11 157 | 4 477 | 67 593 |
| Territórios Agro-florestais | 7 548 | 33 562 | 6 944 | 4 076 | 6 529 | 13 254 | 11 694 | 1 646 | 29 721 | 8 026 | 122 999 |
| Sobreiro | 7 188 | 59 006 | 7 558 | 1 929 | 15 097 | 14 766 | 8 454 | 1 480 | 9 779 | 23 104 | 148 362 |
| Azinhaira | 125 | 3 020 | 451 | 202 | 2 678 | 3 877 | 1 401 | 62 | 3 799 | 3 643 | 19 259 |
| Eucalipto | 63 910 | 340 536 | 75 850 | 42 429 | 14 149 | 287 747 | 27 804 | 27 289 | 91 733 | 44 809 | 1 016 256 |
| Outras Folhosas | 60 963 | 144 363 | 22 360 | 15 144 | 48 771 | 147 720 | 67 850 | 12 578 | 117 663 | 59 208 | 696 620 |
| Pinheiro Bravo | 281 793 | 1 354 169 | 220 527 | 333 437 | 121 544 | 739 046 | 289 839 | 75 353 | 633 755 | 264 445 | 4 313 909 |
| Pinheiro Manso | 175 | 759 | 175 | 1 167 | 175 | 389 | 39 | 39 | 914 | 739 | 4 572 |
| Outras Resinosas | 18 881 | 26 800 | 4 877 | 18 101 | 9 755 | 13 727 | 36 755 | 6 386 | 32 054 | 8 648 | 175 984 |
| Floresta Mista | 127 576 | 437 280 | 104 338 | 65 729 | 101 654 | 310 277 | 130 572 | 45 825 | 401 381 | 106 187 | 1 830 819 |
| Veg. Arbustiva e Herbácea | 901 575 | 1 223 228 | 236 132 | 399 863 | 1 031 143 | 1 148 116 | 971 973 | 203 792 | 1 485 871 | 529 088 | 8 130 780 |
| Áreas com pouca veg. | 125 264 | 26 051 | 4 685 | 11 882 | 24 478 | 28 836 | 27 987 | 6 238 | 44 441 | 14 750 | 314 613 |
| Ardido em 1990 | | 6 817 | 7 091 | 9 717 | 18 154 | 108 128 | 109 614 | 27 862 | 177 875 | 59 177 | 524 435 |
| Ardido em 1991 | | | 8 376 | 5 903 | 43 133 | 83 932 | 51 669 | 16 540 | 77 270 | 80 415 | 367 237 |
| Ardido em 1992 | | | | 2 494 | 2 063 | 9 883 | 14 145 | 5 609 | 24 308 | 18 177 | 76 681 |
| Ardido em 1993 | | | | | 1 393 | 7 455 | 21 610 | 7 770 | 82 993 | 6 862 | 128 083 |
| Ardido em 1994 | | | | | | 4 826 | 42 623 | 17 451 | 184 722 | 54 858 | 304 480 |
| Ardido em 1995 | | | | | | | 9 927 | 3 763 | 156 987 | 34 245 | 204 922 |
| Ardido em 1996 | | | | | | | | 2 990 | 147 595 | 31 764 | 182 349 |
| Ardido em 1997 | | | | | | | | | 12 650 | 6 542 | 19 191 |
| Ardido em 1998 | | | | | | | | | | 6 300 | 6 300 |
| TOTAL/ANO (ha) | 1 641 328 | 3 787 748 | 724 024 | 933 358 | 1 509 257 | 2 977 634 | 1 896 362 | 474 327 | 3 869 182 | 1 404 497 | 19 217 718 |

Quadro 11 - Regressões lineares simples entre área ardida e emissão de GEE, e entre área ardida e biomassa consumida, forçando a recta a passar pela origem

| Variável Dependente (t) | Variável Independente (ha) | Declive da Recta | Coefficiente de Determinação (R ²) |
|-------------------------|----------------------------|--------------------------|--|
| CO ₂ | Área queimada | 15,105 | 0,949 |
| CH ₄ | Área queimada | 4,391 x 10 ⁻² | 0,942 |
| N ₂ O | Área queimada | 2,473 x 10 ⁻³ | 0,946 |
| CO ₂ eq. | Área queimada | 16,794 | 0,948 |
| Biomassa consumida | Área queimada | 9,612 | 0,948 |

**Figura 4** - Regressões lineares entre a) áreas ardidas (ha) e biomassa consumida (t); e entre b) áreas ardidas (ha) e emissão de CO₂ eq. (t)

A cartografia das áreas ardidas em 2003 realizada pelo Instituto Superior de Agronomia recorrendo a imagens Landsat (TM), no âmbito do protocolo celebrado entre aquele Instituto e a Direcção-Geral dos Recursos Florestais, revelou que terão ardido, naquele ano, cerca de 440 025 ha. Multiplicando este valor com o indicado no Quadro 11 para os GEE libertados por unidade de área, obtém-se o valor de 7 389 780 t de CO₂ eq.

Discussão

A análise do Quadro 8 e da Figura 1 permite constatar que a grande quantidade de biomassa presente em

zonas de pinhal bravo deve-se, em boa parte, à folhada, ao passo que as zonas de floresta mista têm na fitomassa das copas a componente que mais as distingue dos restantes tipos de povoamentos florestais.

Os resultados obtidos para as regressões lineares descritas no Quadro 7 revelaram que cerca de 95% da variância inter-anual das emissões pirogénicas de GEE pode ser explicada pela área queimada. Contudo, é interessante reparar que embora o comportamento das emissões de GEE ao longo da década de 90 tenha sido muito semelhante ao das áreas ardidas (Figura 3), alguns anos apresentam divergências notórias. Por

exemplo, em 1991 a área ardida foi significativamente inferior à de 1998, não se tendo observado, no entanto, a mesma tendência com o nível de emissões, que foi semelhante nos dois anos. Esta discrepância fica a dever-se, fundamentalmente, a diferenças no que toca aos valores de área ardida nas zonas arbustivas (as afectadas pelo fogo em maior extensão) e nas zonas de pinhal bravo (as que apresentam o maior consumo de biomassa; observar a este respeito os quadros 1 e 8).

Os valores médios de emissão de GEE e de biomassa consumida por hectare afectado pelo fogo (16,8 tCO₂ eq./ha e 9,6 t/ha, respectivamente), obtidos a partir das regressões lineares, poderão ser usados para determinar, de forma expedita e com alguma precisão, o montante das emissões de GEE e de biomassa consumida, a partir da área ardida anual. Aqueles valores poderão também ser aplicáveis, pelo menos, ao sul da Europa, onde as características

ambientais são semelhantes às de Portugal.

Para se ter uma melhor noção da ordem de grandeza das emissões estimadas, compararam-se os seus valores com os indicados pelo Instituto do Ambiente (Inventário Nacional de Emissões de Poluentes Atmosféricos) para a actividade agrícola, processos industriais e para as emissões originadas por necessidades energéticas nos sectores dos transportes, energia e indústrias de manufactura e construção. A Figura 5 mostra a evolução das emissões originadas pelas várias fontes poluidoras ao longo do período considerado.

Os anos em que se registaram as maiores emissões pirogénicas de GEE originadas por incêndios (1991 e 1998), nunca chegam a valores próximos dos indicados para o sector da agricultura ou para os gastos energéticos dos sectores dos transportes, energia, e indústrias de manufactura e construção.

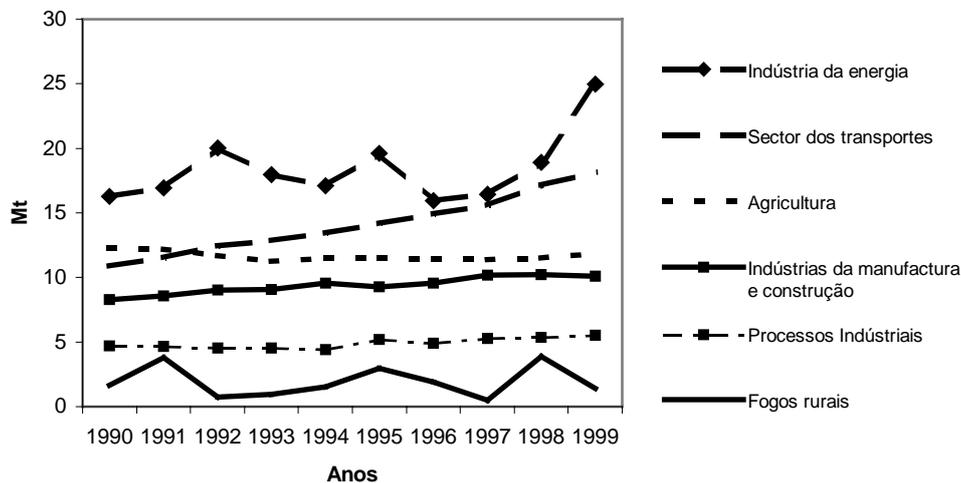


Figura 5 - Comparação entre o montante de GEE libertados em incêndios, processos industriais e em gastos energéticos dos sectores da energia, transportes e indústrias de manufactura e construção (fonte: Instituto do Ambiente)

Em 1991 a quantidade de GEE libertados por incêndios correspondeu a 22,4% da libertada pela indústria da energia (Produção de energia, refinação de petróleo, etc.), a 44,2% da libertada pelas indústrias de manufactura e construção (necessidades energéticas), a 32,9% da quantidade de GEE emitida pelo sector dos transportes, a 31,1% da emitida pela agricultura e a 81% da emitida por processos industriais. Em 1998, embora os GEE libertados por incêndios tenham sido ligeiramente superiores aos emitidos em 1991, o seu contributo para o total nacional de emissões de GEE foi menor, uma vez que ao longo da década se verificou um aumento continuado das emissões na generalidade dos sectores analisados.

Como já atrás foi referido, em 2003 terão sido libertados para atmosfera **7 389 780 t de CO₂ eq.**, isto é, ao longo de aproximadamente 4 meses foram libertados GEE correspondentes a 79% da emissão média anual (1990-1999) do sector das indústrias de construção e manufactura devida a necessidades energéticas, a cerca de 52% dos GEE libertados pelo sector dos transportes, ou a 150% dos GEE emitidos por processos industriais. Também é interessante constatar que nos dias 1 e 2 Agosto de 2003 terão ardido cerca de 100.000 ha (SANTOS, 2004), o que terá resultado na emissão para a atmosfera de 1,7 Mt de CO₂ eq.

Dos vários parâmetros usados na determinação das emissões pirogénicas, aquele que claramente suscita maiores dúvidas relativamente ao rigor da sua estimativa é o referente à determinação da biomassa acima do solo, dada a grande heterogeneidade intra e inter-específica dos valores que se podem

encontrar associados aos diferentes tipos de ocupação do solo. Além disso, certos aspectos das metodologias que aqui foram seguidas para determinar aquele parâmetro carecem de uma avaliação rigorosa da sua validade, através da realização de trabalhos de campo que permitam averiguar o nível de precisão das estimativas obtidas. São disso exemplo os valores determinados para a biomassa arbustiva recorrendo a uma única equação de acumulação de biomassa cuja aderência à realidade portuguesa se desconhece, ou a determinação da biomassa arbustiva do sub-bosque usando valores de densidade aparente e percentagens de coberto estimadas visualmente.

Convém, no entanto, referir que o recurso a dados recolhidos pela DGRF, no âmbito do Inventário Florestal Nacional, permitiu ter acesso a um volume de informação muito significativo, melhorando, desta forma, a precisão das estimativas que tiveram aqueles valores por base.

Um outro parâmetro usado na estimativa das emissões pirogénicas que, de igual modo, carece de uma avaliação mais rigorosa é o relativo às fracções de biomassa consumida nas diferentes componentes dos combustíveis. A realização de mais estudos nesta área permitirá que se venha a conhecer mais aprofundadamente a gama de possíveis valores.

O recurso a cartografia de áreas ardidas obtida a partir de imagens de satélite de elevada resolução permitiu obter, além de uma grande precisão na determinação das áreas afectadas por incêndios, uma uniformização nos métodos que levaram à sua determinação.

No que toca aos factores de emissão usados, pese embora não sejam específicos da vegetação de zonas mediterrânicas, o elevado número de estudos que estão na sua origem leva a que se tenha bastante confiança no que se refere ao grau da sua precisão.

Um aspecto que não foi possível incluir neste estudo por insuficiência de informação, mas que deverá ser abordado em trabalhos futuros dedicados a este tema, prende-se com a quantificação da incerteza associada às estimativas das emissões, resultante da conjugação das incertezas inerentes a cada um dos factores presentes na equação 2.

Conclusões

A incidência de fogos rurais em Portugal continental é algo elevada, mesmo quando comparada com a de outros países do sul da Europa, sendo que as alterações climáticas poderão intensificar ainda mais esse padrão (PEREIRA *et al.*, 2002). Os fogos assumem uma grande importância na dinâmica dos diferentes reservatórios de carbono presentes em florestas e matagais, sendo necessário determinar qual o impacto do actual regime de fogos sobre esses reservatórios.

Os valores obtidos neste estudo mostram que as emissões de GEE originadas por fogos são bastante significativas quando comparadas com as de outras fontes poluidoras, mas raramente chegam a atingir uma ordem de grandeza próxima dos vários sectores analisados no Inventário Nacional de Emissões de Poluentes Atmosféricos. Não podemos esquecer, no entanto, que as emissões originadas em incêndios apenas ocorrem durante aproxima-

damente quatro meses (de Junho a Setembro).

A gravidade dos resultados obtidos torna-se ainda mais evidente se atendermos ao facto dos GEE libertados pela indústria, transportes e agricultura serem uma consequência de processos produtivos, geradores de riqueza, ao contrário dos incêndios, onde as emissões são um custo associado a um fenómeno destrutivo, de perda de riqueza económica e ambiental.

As estimativas mais recentes, referentes a 2000, indicam que o limite de emissões de GEE estabelecido para Portugal (aumento em 2008-2012 não superior a 27% das emissões líquidas de 1990) terá já sido ultrapassado. Para além deste aspecto, as emissões atmosféricas originadas por incêndios passarão a ser contabilizadas no inventário nacional de GEE a partir do primeiro período de cumprimento do protocolo de Quioto (2008-2012). Caso o cenário catastrófico dos incêndios de 2003 não seja invertido, o nível de emissões de GEE libertados em incêndios poderá vir a trazer consequências graves a nível económico.

A forte relação que se verificou entre área ardida e valores de emissão de GEE poderá indicar que para monitorizar anualmente as emissões originadas por incêndios bastará conhecer o valor total das áreas ardidas, ou então aquele valor e o das áreas ardidas de apenas alguns tipos de ocupação do solo.

Por forma a se melhorar a qualidade das estimativas aqui apresentadas será necessário levar a cabo estudos diversos que permitam uma quantificação mais rigorosa dos vários parâmetros utilizados na determinação das emissões pirogénicas. Também será de todo o interesse incluir alguns aspectos que, por manifesta falta de informação, não foram

aqui considerados, como por exemplo, o estabelecimento de uma relação entre as condições atmosféricas e a fracção de biomassa consumida por tipo de combustível, ou incluir uma estimativa da biomassa presente nos horizontes orgânicos dos solos.

Todavia, considera-se que o rigor com que o tema foi abordado se traduz num passo em frente no que toca à qualidade das estimativas das emissões atmosféricas originadas em incêndios rurais. Também foi objectivo deste trabalho identificar as incertezas e lacunas de conhecimento e alicerçar as bases para a continuação do desenvolvimento e aperfeiçoamento de estudos integrados que permitam um melhor e regular acompanhamento deste tema.

Agradecimentos

Estamos agradecidos ao Eng. Paulo Fernandes da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, à Professora Margarida Tomé do Instituto Superior de Agronomia, ao Professor Fernando Páscoa da Escola Superior Agrária de Coimbra e ao Professor Domingos Xavier Viegas da Universidade de Coimbra, pela sua colaboração neste estudo ao terem disponibilizado dados de grande utilidade.

Gostaríamos de agradecer também ao Eng. João Moreira da empresa Metacortex Lda., à Professora Júlia Seixas da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa e ao Professor Francisco Rego do Instituto Superior de Agronomia, pela ajuda e esclarecimentos prestados, que em muito ajudaram à definição das metodologias seguidas.

A colaboração da Dra. Maria J. P. Vasconcelos fez-se no âmbito do projecto

Padrões Espacio-temporais do Fogo em Portugal Continental (1984 - 2003): Impactes, avaliação de risco e dinâmica dos combustíveis (FIRE-LANDSCAPE). POCTI - 44942/2002.

Bibliografia

- ANDREAE, M.O., MERLET, P., 2001. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. *Global Biogeochemical Cycles* **15**(4) : 955-966.
- AMIRO, B.D., TODD, J.B., WOTTON, B.M., LOGAN, K.A., FLANNIGAN, M.D., STOCKS, B.J., MANSON, J.A., MARTELL, D.L., HIRSCH, K.G., 2001. Direct carbon emissions from canadian forest fires, 1959-1999. *Canadian Journal of Forest Research* **31** : 512-525.
- ARMAND, D., ETIENNE, M., LEGRAND, C., MARECHAL, J., VALETTE J., 1993. Phytovolume, phytomasse et relations structurales chez quelques arbustes méditerranéens. *Annales des Sciences Forestières* **50**(1) : 79-89.
- BAESA, M., RAVENTOS, J., ESCARRÉ, A., 1998. Structural changes in relation to age in fireprone mediterranean shrubland. In *3rd International Conference on Forest Fire Research*, 14th Conference on Fire and Forest Meteorology **2**, ADAI, Coimbra, pp. 2567-2578.
- BARBOSA, P.M., STROPPIANA, D., GRÉGOIRE, J., PEREIRA, J.M.C., 1999. An assessment of vegetation fire in Africa (1981-1991): Burned areas, burned biomass, and atmospheric emissions. *Global Biogeochemical Cycles* **13**(4) : 933-950.
- BOTELHO, H., VEGA, J., FERNANDES, P., REGO, F., 1994. Prescribed fire behavior and fuel consumption in northern Portugal and Galiza maritime pine stands. In *2nd International conference on Forest Fire Research* **1**, Coimbra, pp. 343-353.
- CRUTZEN, P.J., HEIDT, L.E., KRASANEC, J.P., POLLOCK, W.H., SEILER, W., 1979. Biomass burning as a source of atmospheric gases CO, H₂, N₂O, NO, CH₃CL and COS. *Nature* **282** : 253-256.

- CRUZ, M.G., VIEGAS, D.X. 1998a. Crown fuel dynamics in Bluegum eucalyptus (*Eucalyptus globulus* Labill.) plantations fuel complex: Implications on extreme fire behavior phenomenology. *3rd International Conference on Forest Fire Research, 14th Conference on Fire and Forest Meteorology* **2** : 2089-2109.
- CRUZ, M.G., VIEGAS, D.X., 1998b. Fire behaviour in some common Central Portugal fuel complexes: Evaluations of fire behaviour models performance. In *3rd International Conference on Forest Fire Research, 14th Conference on Fire and Forest Meteorology* **1** : 859- 875.
- DIRECÇÃO-GERAL DAS FLORESTAS, 1999. *Manual de instruções para o trabalho de campo do Inventário Florestal Nacional*. Direcção-Geral das Florestas 80 pp.
- DIRECÇÃO-GERAL DAS FLORESTAS, 2001. *Inventário Florestal Nacional Portugal Continental, 3^a revisão*, 233 pp.
- ESTANISLAD, L, TARREGA, R., CALVO, L., 1990. Biomass and biomass regeneration after disturbance in shrub communities in Leon Province (NW Spain). In *Biomass for Energy and Industry, 5th Conference, Vol. 1, Policy, Environment, Production and Harvesting*. Commission of the European Communities, pp. 114-120.
- EUROPEAN COMMISSION, 2005. *Forest Fires in Europe 2004*. EUROPEAN COMMUNITIES, 45 pp.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 1999. *EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook*. 3rd ed. Technical report N°30, Other sources and sinks, Group 11, 28 pp.
- FERNANDES, P.M., PEREIRA, J.P., 1993. Caracterização de combustíveis na Serra da Arrábida. *Silva Lusitana* **1**(2) : 237-260.
- FERNANDES, P.M., REGO, F.C., 1998. Equations for fuel loading estimation in shrub communities by *Chamaespartium tridentatum* and *Erica umbelata*. In *3rd International Conference on Forest Fire Research, 14th Conference on Fire and Forest Meteorology* **1** : 467-482.
- FERNANDES, P.M., CATCHPOLE, W., REGO, F., 2000a. Shrubland fire behavior modeling with microplot data. *Canadian Journal of Forest Research* **27** : 889-899.
- FERNANDES, P.M., RUIVO, L., GONÇALVES, P., REGO, F., SILVEIRA, S., 2000b. Dinâmica da combustibilidade nas comunidades vegetais da reserva natural da Serra da Malcata. In *Livro de Actas do Congresso Ibérico de Fogos Florestais, 17-19 Dez., Escola Superior Agrária de Castelo Branco*, pp. 177-186.
- FERNANDES, P., LOUREIRO, C., BOTELHO, H., FERREIRA, A., FERNANDES, M., 2002. Avaliação indirecta da carga de combustível em pinhal bravo. *Silva Lusitana* **10**(1) : 73-90.
- FERREIRA, A.M.G., 2003. *Estimativa da incidência de fogos de copas na floresta portuguesa em 1995, usando ortofotografias digitais*. Tese de mestrado em Sistemas de Informação Geográfica, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, 81 pp.
- HEINSELMAN, M., 1973. Fire in the virgin forests of the Boundary Waters Canoe Area, Minnesota. *Quaternary Research* **3** : 329-382.
- INSTITUTO DO AMBIENTE, 2002. *Programa nacional para as alterações climáticas, versão 2001*. Instituto do Ambiente, Comissão para as Alterações Climáticas, 80 pp.
- JOHNSON, E.A., GUTSELL, S.L., 1994. Fire frequency models, methods and interpretations. *Advances in Ecological Research* **25** : 239-287.
- LAHM, P., 1994. Grand Canyon Visibility Transport Committee emissions inventory. Western Governors' Association, Denver, Colorado, USA. [Unpublished.]. In LEENHOUTS, B., 1998. Assessment of biomass burning in the conterminous United States. *Conservation Ecology* [online] **2**(1) : 1. Acessível na internet através de: URL: <http://www.consecol.org/vol2/iss1/art1>.

- LEENHOUTS, B., 1998. Assessment of biomass burning in the conterminous United States. *Conservation Ecology* [online] **2**(1) : 1. Acessível na Internet através de: URL: <http://www.consecol.org/vol2/iss1/art1>.
- MADEIRA, M., FABIÃO, A., PEREIRA, J., ARAÚJO, M., RIBEIRO, C., 2002. Changes in carbon stocks in *Eucalyptus globulus* Labill. Plantations induced by different water and nutrient availability. *Forest and Ecology Management* **171** : 75-85.
- MONTERO, G., ORTEGA, C., CAÑELLAS, I., BACHILLER, A., 1999. Productividad aérea y dinámica de nutrientes de una repoblación de *Pinus pinaster* Ait. Sometida a distintos regímenes de claras. *Investigacion Agraria: Sistemas y Recursos Forestales, Fuera de Serie* **1** : 175-206.
- OLIVEIRA, T.M., 1998. *Cartografia quantitativa de formações arbustivas empregando dados de detecção remota (região florestal do Alto-Dão e Lafões)*, tese de mestrado em Gestão dos Recursos Naturais, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, 127 pp.
- OLSON, J.S., 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology* **44** : 322-331. In Gill, A. M.; Groves, R. H.; Noble, L. R., 1981. *Fire and the Australian Biota*. Australian Academic of Science, 582 pp.
- PAPIÓ, C., TRABAUD, L., 1991. Comparative study of the aerial structure of five shrubs of mediterranean shrublands. *Forest Science* **37** : 146-159.
- PAÚL, J.C., 1993. *Caracterização biofísica e georreferenciação de parcelas de inventário de vegetação no Parque Natural das Serras de Aire e Candeeiros*. Relatório de fim de curso em Engenharia Florestal, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, 41 pp.
- PAÚL, J.C., 1997. *Avaliação do índice de área foliar em povoamentos de *Pinus pinaster*, Aiton. Do nível da árvore individual até a escala regional*. Tese de mestrado em Gestão dos Recursos Naturais, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, 135 pp.
- PEREIRA, J.S., CORREIA, A.V., CORREIA, A.P., BRANCO, M., BUGALHO, M., CALDEIRA, M., CRUZ, C., FREITAS, H., OLIVEIRA, A., PEREIRA, J.M.C., REIS, R., VASCONCELOS, M., 2002. Forests and biodiversity. In *Climate change in Portugal. Scenarios, impacts and adaptations measures*, Cap. 10, pp. 363-413. Fundação Calouste Gulbenkian, Fundação para a Ciência e a Tecnologia, Gradiva.
- PEREIRA, J.M.C., PEREIRA, B.S., BARBOSA, P.M., STROPPIANA, D., VASCONCELOS, M.J., GRÉGOIRE, J.M., 1999. Satellite monitoring of fire in the EXPRESSO study area during the 1996 dry season experiment: Active fires, burnt area, and atmospheric emissions. *Journal of Geophysical Research*, **104** : 30,701-30,712.
- PEREIRA, J.M.C., SANTOS, M.T., 2003. *Cartografia das áreas queimadas e do risco de incêndio em Portugal Continental (1990-1999)*, Direcção-Geral das Florestas, 64 pp.
- PEREIRA, J.M.C., SEQUEIRA, N.M.S., CARREIRAS, J.M.B., 1995. Structural properties and dimensional relations of some mediterranean shrub fuels. *International Journal of Wildland Fire* **5**(1) : 35-42
- RAMBAL, S., 2001. Hierarchy and productivity of mediterranean-type ecosystems. In *Terrestrial Global Productivity*, Academic Press, pp. 315-344.
- REGO, F.C., PEREIRA J.P., FERNANDES, P.M., ALMEIDA, A.F., 1994. Biomass and aerial structure characteristics of some mediterranean shrub species. *2nd International Conference on Forest Fire Research* **1B** : 377-384.
- REGUEIRA, L., CASTIÑEIRAS, J., AÑON, J., 1998. Prevention of, and fight against forest fires through the elaboration of energy maps, and the use of energy contained in forest waste. In *3rd International Conference on Forest Fire Research*, 14th Conference on Fire and Forest Meteorology **2** : 2227-2242.

- RODRIGUES, M.T., 1999. *Detecção remota por satélite de matos mediterrânicos de cistáceas*. Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Ciências do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, 137 pp.
- SANTOS, S., 2004. *Comparação dos dados obtidos através do sensor MODIS com os obtidos pela DGF no terreno para a época de fogos de 2003*. Relatório de fim de curso de Engenharia Florestal, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, 45pp.
- SCHOLES, R.J., 1995. Greenhouse gas emissions from vegetation fires in southern Africa. *Environmental Monitoring and Assessment* **38** : 169-179.
- SEILER, W., CRUTZEN, P.J., 1980. Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning. *Climate Change* **2** : 207-247.
- SILVA, J., RIBEIRO, J., 2002. *Manual de silvicultura, prevenção de incêndios através da intervenção no subcoberto*. Direcção-Geral das Florestas, 10º cap., 8 pp.
- SIMÕES, M., MADEIRA, M., GAZARINI, L., 2001. Efeitos potenciais de arbustos do género *Cistus* L. na recuperação de solos. *Revista das Ciências Agrárias* **14**(3,4) : 347-360.
- SPECHT, R.L., 1988. *Mediterranean-type ecosystems. A data source book*. Kluwer academic publishers, Tasks for Vegetation Science **19** : 248 pp.
- STAMOU, N., KALABOKIDIS, K., KONSTANTINIDIS, P., FOTIOU, S., CHRISTODOULOU, A., LIOUMIS, V., PRASTACOS, P., DIAMANDAKIS, M., KOCHILAKIS, G., 1998. Improving the efficiency of the wildland fire prevention and suppression system in Greece. In *3rd International Conference on Forest Fire Research*, 14th Conference on Fire and Forest Meteorology **1** : 611-628.
- TOMÉ, M., RIBEIRO, F., SOARES, P., 2001. O modelo globulus 2.1. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Departamento de Engenharia Florestal, Grupo de Inventariação e Modelação de Recursos Florestais, 69 pp.
- VAN WAGNER, C.E., 1978. Age-class distribution and forest fire cycle. *Canadian Journal of Forest Research* **8** : 220-227.
- VEGA, J., CUIÑAS, P., FONTÚRBEL, T., PÉREZ-GOROSTIAGA, P., FERNÁNDEZ, C., 1998. Predicting fire behavior in galician (NW Spain) shrubland fuel complexes. In *3rd International Conference on Forest Fire Research*, 14th Conference on Fire and Forest Meteorology **1** : 713-718.
- VÉLEZ, R., 2000. *La defensa contra los incendios forestales. Fundamentos y experiencias*. McGraw Hill, Cap. 7 pp. 7.1-7.16.

Entregue para publicação em Dezembro de 2004

Aceite para publicação em Março de 2006