

Recebido em 1 de Dezembro de 1980

# Localização óptima de postos de combate a incêndios florestais \*

por

LUIS SOARES BARRETO

Professor do Instituto Superior de Agronomia

## RESUMO

Apresenta-se um modelo para a localização óptima de postos de combate a incêndios florestais recorrendo ao método da programação multiobjectivo. Os objectivos considerados são: *a)* Maximizar a cobertura das eventuais perdas florestais; *b)* maximizar a cobertura das eventuais perdas de bens; *c)* maximizar a área protegida; *d)* minimizar o risco de pessoas serem afectadas pelos fogos; *e)* maximizar a cobertura do número provável de fogos. O interesse do modelo nas condições portuguesas é discutido.

## SYNOPSIS

### OPTIMAL LOCATION OF FOREST FIRE STATIONS

A model for the optimal location of forest fire stations is proposed using the multiobjective programming methodology. The planning objectives considered are: *a)* Forest and other property values covered; *b)* area covered; *c)* population covered; *d)* expected number of fires covered. The utility of the model is discussed within the Portuguese conditions.

---

(\*) Trabalho realizado no Centro de Estudos Florestais do INIC, e apresentado em 21 de Novembro de 1980, no Ciclo de Painéis sobre «O Fogo: principal agente destruidor do Património Florestal», promovido pela Ordem dos Engenheiros, em Lisboa.

## 1. INTRODUÇÃO

Os meios mais dispendiosos de combate a incêndios florestais — o equipamento pesado — são sempre limitados, pois os recursos financeiros disponíveis para a sua aquisição ficam aquém do montante que nós acharíamos mais adequado.

O equipamento e pessoal da primeira linha de combate a incêndios tem que estar concentrado em pontos determinados donde parte para o combate aos fogos. O escopo deste escrito é desenvolver um modelo multiobjectivo que permita localizar optimamente estes postos de combate a incêndios florestais, numa dada região.

Ao modelo apresentado não são alheias contribuições anteriores à questão da localização óptima de estações urbanas de bombeiros (Cohon, 1978).

Pelo seu propósito, o modelo cai no âmbito do planeamento estratégico da prevenção e luta contra os incêndios florestais.

## 2. PRESSUPOSTOS DO MODELO

O modelo admite alguns pressupostos que são explanados nesta secção.

Existe uma determinada rede de acesso às florestas. Idealmente estas deveriam estar submetidas a um ordenamento que tivesse em conta um nível considerado correcto de protecção contra o fogo. No entanto, convém assinalar que o modelo pode ser aplicado praticamente, em quaisquer condições que a situação real evidencie.

Do mesmo modo, existe um serviço de vigia e alerta que garante um mínimo de cobertura das áreas florestais a proteger. Detectado um fogo, esta ocorrência é imediatamente comunicada ao posto de combate que cubra a área da ocorrência em causa. Deste posto, avançam os meios de combate para a zona do sinistro.

Para efeitos de modelação a zona florestal a proteger é dividida em parcelas de protecção, com dimensões mínimas a estabelecer em cada caso concreto e identificadas pelo seu ponto central,  $i$ , pertencendo  $i$  ao conjunto  $I$ , de parcelas existentes a proteger (Fig. 1).

Os locais onde é possível estabelecer os postos de combate designam-se por  $j$ , pertencendo  $j$  ao conjunto  $J$  dos locais possíveis. Os locais onde se podem instalar os pontos de combate podem estar ou não situados nas parcelas.

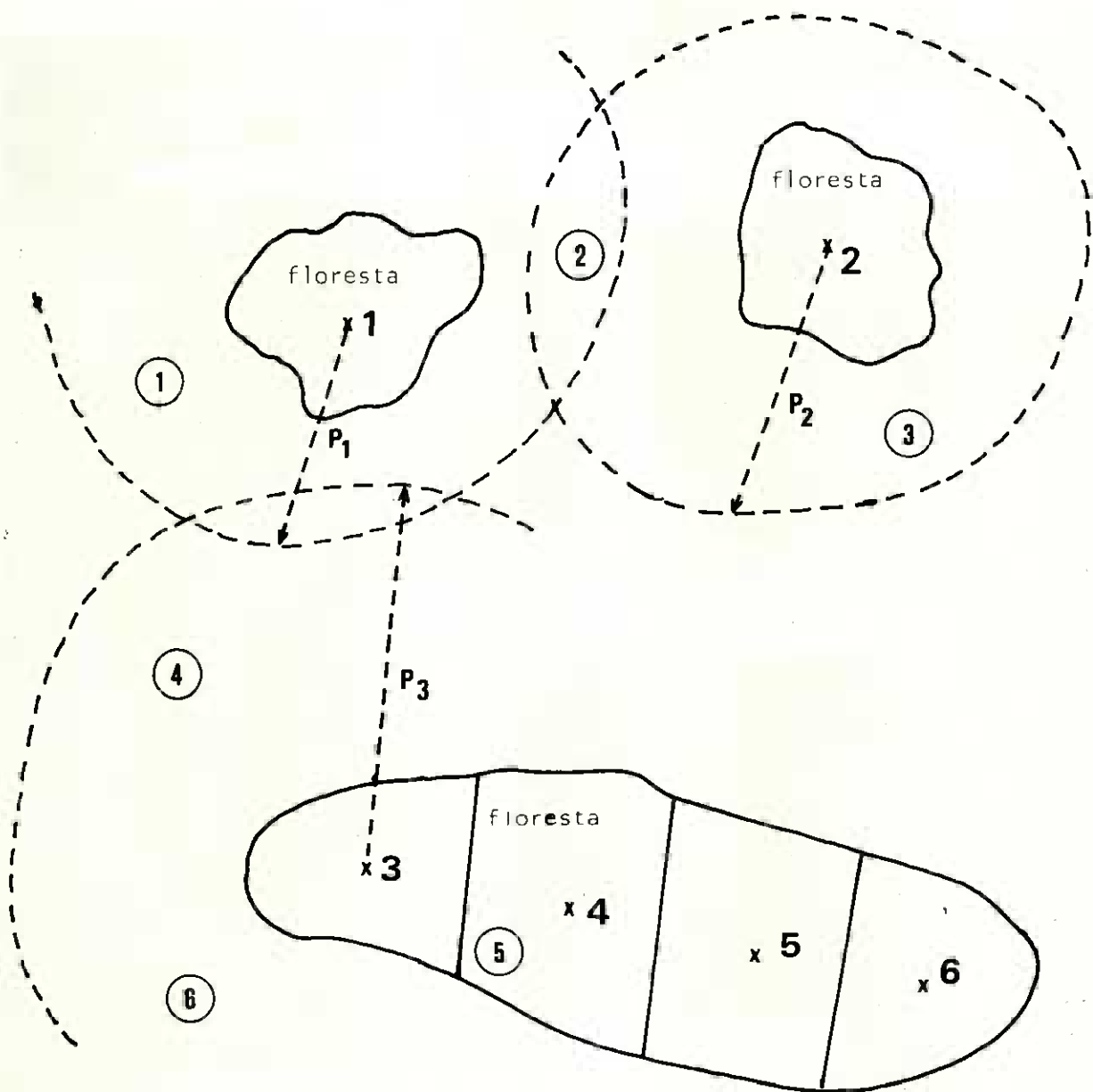


Fig. 1 — As parcelas florestais designam-se pelos seus «centros» 1 a 6. Os números dentro dos círculos representam locais onde é possível estabelecer postos de combate contra incêndios. A parcela 1 é passível de ser protegida por postos nos locais (1) e (2). Estes locais, relativamente à parcela 1, formam o conjunto  $N_1$ . Para não sobrecarregar a figura não se desenharam os hipotéticos conjuntos  $N_i$ , de todas as parcelas.

Para cada parcela,  $i$ , é estabelecida uma distância de protecção  $P_i$ . Qualquer posto localizado aquém desta distância, da parcela  $i$ , permite atacar e dominar um fogo dentro de determinado intervalo de tempo, na parcela, com uma dada probabilidade de êxito, estabelecida e aceite como adequada. A distância  $P_i$  depende das características da floresta no que respeita ao seu comportamento quanto ao fogo (espécie, etc.), factores locais (e.g. ventos) e facilidade de acesso.  $P_i$  representa, ao fim e ao cabo, a possibilidade de se chegar ao fogo sem que um dado intervalo de tempo tenha sido ultrapassado. A parcela  $i$  está adequadamente protegida se existe, pelo menos, um posto,  $j$ , a uma distância dela inferior a  $P_i$ .

Dispõe-se ainda de informação quanto ao seguinte:

- Frequência dos fogos em cada parcela, uma estimativa da sua probabilidade de ocorrência ou uma ponderação que traduza a prioridade de protecção que lhe seja atribuída ( $f_i$ ).
- Valor das florestas de cada parcela  $a_{i1}$ .
- Valor doutros bens em cada parcela que possam ser destruídos por um fogo florestal ( $a_{i2}$ ).
- Área de cada região ( $a_{i3}$ ).
- Número de pessoas, em cada região, que corram perigo no caso de ocorrência dum fogo florestal ( $a_{i4}$ ).

Admite-se que os custos de instalação dos postos são iguais para todos os locais ou as suas diferenças podem ser desprezadas. Esta assunção pode ser abandonada, estabelecendo-se um objectivo de minimização de custos.

### 3. O MODELO

#### 3.1. As restrições

Seja  $M$  o número máximo de postos de combate a incêndios florestais que é possível estabelecer com os meios de que se dispõe e estes não sejam suficientes para permitir que todas as parcelas fiquem adequadamente protegidas. Definamos a variável  $x_j$  igual a 1 se no local  $j$  se instalar um posto e igual a zero no caso contrário.

Então, para que se só instalemos  $M$  postos, terá de ser satisfeita a restrição

$$\sum_{i \in J} x_i = M$$

$$x_j = 0 \text{ ou } 1 \quad (2)$$

Precisamos agora que o modelo traduza a protecção duma dada parcela,  $i$ , se for instalado um ponto em  $j$  pertencente a  $N_i$ , sendo  $N_i$  o conjunto dos locais a uma distância de  $i$  inferior a  $P_i$  (Fig. 1). Para isto vamos introduzir a variável  $y_i$  que satisfaz às restrições

$$y_i - \sum_{j \in N_i} x_j \leq 0 \quad i \in I \quad (3)$$

$$y_i = 0 \text{ ou } 1 \quad (4)$$

### 3.2. Os objectivos de planeamento

Dada a complexidade das suas consequências, afigura-se-nos que uma decisão no contexto dos fogos florestais não pode ser apreciada por um só critério, sendo assim, é mais realista adoptar-se um modelo de objectivos múltiplos. Apresentamos vários objectivos que se nos afiguram curiais. Outros podem ser atendidos e alguns dos propostos eliminados.

a) Maximizar a cobertura das eventuais perdas florestais

$$Z_1 = \sum_{i \in I} f_i a_{i1} y_i \quad (5)$$

b) Maximizar a cobertura das eventuais perdas de bens

$$Z_2 = \sum_{i \in I} f_i a_{i2} y_i \quad (6)$$

c) Maximizar a área protegida

$$Z_3 = \sum_{i \in I} a_{i3} y_i \quad (7)$$

- d) Maximizar a cobertura da população, isto é, minimizar o risco de pessoas serem afectadas por fogos

$$Z_4 = \sum_{i \in I} f_i a_{i,j} y_i \quad (8)$$

- e) Maximizar a cobertura do número provável de fogos

$$Z_5 = \sum_{i \in I} f_i y_i \quad (9)$$

A função objectivo formada pelas relações (5) a (9) pode ser expressa de acordo com:

$$\text{Max } Z = \sum_{m=1}^5 Z_m \quad (10)$$

Anote-se que os objectivos da relação (10) podem ser ponderados de acordo com critérios do tomador de decisões.

### 3.3. A solução do modelo

As relações (1) a (9) representam um programa linear 0-1 de objectivos múltiplos, podendo vários métodos ser utilizados para a sua solução (Cohon, 1978, caps. 6 e 10; Hwang e Masud, 1979, Cap. III).

Não oferece também qualquer dificuldade encontrar programas para resolver o modelo (1) a (9). A título de referência, anota-se que um modelo deste tipo para localização de estações de bombeiros numa zona urbana, com 688 restrições e 1362 variáveis de decisão, levou 3 minutos a ser solucionado num computador IBM 370/145.

Para o problema que nos ocupa poderá também adoptar-se um modelo de programação por metas (Barreto, 1980; Ignizio, 1976).

## 4. COMENTÁRIOS FINAIS

A perspectiva que se adoptou pode parecer um tanto teórica, mas a verdade é que tem sido usada para problemas concretos do planeamento da defesa contra fogos em centros urbanos.

Mesmo que não se vá ao ponto de empregar o modelo, afigura-se-nos que a abordagem apresentada revela, por si própria, alguns méritos (Barreto, 1970).

Pode conduzir a uma revisão e apreciação da maneira como até aqui tem sido feito o planeamento estratégico do combate aos fogos florestais e da informação de que dispomos para este fim.

Cria-se também um quadro conceptual que permite apreciar a actual situação e o nível de eficiência.

Além disto, o modelo pode ser articulado com outros, onde se tenham em conta meios de prevenção e combate diferentes dos que este integra, obtendo-se assim um sistema de modelos para o planeamento estratégico integrado na luta contra os fogos florestais.

Quando se dispuser de meios adequados de computação, numa fase posterior e mais avançada do planeamento, será possível utilizar modelos tácticos que permitam em situações complexas de combate contra incêndios florestais indicar os esquemas de utilização óptima dos meios disponíveis (Bratten, 1970).

Retornando ao modelo apresentado, alguns dos seus parâmetros podem numa primeira fase ser estabelecidos expeditamente, recorrendo à experiência acumulada pelos nossos colegas que têm trabalhado no domínio em referência. Este mesmo conhecimento, por eles adquirido, será também indispensável para aperfeiçoar o modelo, introduzindo-lhe restrições e objectivos mais de acordo com a realidade dos nossos fogos florestais e clarificar a necessidade de o ligar a outros modelos que se imponham e venham a ser desenvolvidos, como se referiu.

#### BIBLIOGRAFIA

- BARRETO, LUIS S., 1970. Breve introdução à investigação operacional. *Revista de Ciências Agronómicas* (Lourenço Marques) Série B, 3: 29-48.
- BARRETO, LUIS S., 1980. *Programação por metas («goal programming») e planeamento de arborização*. Comunicação ao Congresso da Ordem dos Engenheiros, Coimbra, 23-29 de Março de 1980.
- BRATTEN, FREDERICK W., 1970. *Allocation Model for Firefighting Resources*. Berkeley: Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station.
- COHON, JARED L., 1978. *Multiobjective Programming and Planning* New York, Academic Press.
- HWANG, CHING-LAI e A. SYED MD. MASUD, 1979. *Multiple Objective Decision Making — Methods and Applications*. Berlin: Springer-Verlag.
- IGNIZIO, JAMES P., 1976. *Goal Programming and Extensions*. Lexington, MA: D. C. Heath and Co.

