

4

Extensão do Modelo *PECC* a Múltiplos Embarques

O modelo *PECC* permite considerar eventos de baixa probabilidade e alta consequência na modelagem do transporte de materiais perigosos entre um par de origem-destino. No entanto, se são necessários T_{OD} envios de um MP, o procedimento identifica somente uma rota ótima para efetuar estes T_{OD} embarques. É claro que a solução com T_{OD} rotas idênticas é indesejável para o traslado de MP, já que, ao final do problema, uma mesma população é exposta T_{OD} vezes aos riscos associados a essa atividade, e outras áreas da rede não são expostas a nenhum risco. Portanto, este método não permite sua aplicação direta a problemas com múltiplos embarques ao não distribuir o risco sobre a rede com algum nível de equidade.

Para estender esse modelo ao caso de múltiplas viagens é definido um fluxo f_a de MP em cada arco $a \in A$. Definindo uma rota como um conjunto de nós, seja $\{Q\} \in N$ o conjunto de rotas utilizadas para o transporte de um tipo de material perigoso. Define-se $P_{\{Q\}}$ como a probabilidade de que um acidente catastrófico ocorra sobre o conjunto de rotas $\{Q\} \in N$ utilizadas para o transporte de MP. Desta forma $P_{\{Q\}}$ pode ser formulada da seguinte forma

$$P_{\{Q\}} = \sum_{a \in \{Q\}} p_a f_a \leq \phi \quad (4.1)$$

que é equivalente a restrição (3.12) do *PECC*, mas considerando o transporte de MP através de um conjunto de rotas em vez de somente uma rota. E onde ϕ representa a máxima probabilidade aceitável de que ocorra um acidente nas rotas selecionadas.

Procedendo da mesma forma, e considerando os mesmos supostos anteriores, é possível desenvolver uma expressão para a restrição de máxima consequência esperada sobre um conjunto de rotas. Define-se $E_{\{Q\}}$ como a

consequência esperada sobre o conjunto de rotas $\{Q\} \in N$ utilizadas para o transporte de MP.

$$E_{\{Q\}} = \sum_{a \in \{Q\}} (p_a C_a) f_a \leq \varphi \quad (4.2)$$

onde φ corresponde ao máximo risco aceitável nas rotas selecionadas.

Finalmente, seja $CE_{\{Q\}}$ a esperança condicional da consequência do conjunto de rotas $\{Q\} \in N$ utilizadas para o transporte de MP, dado que ocorra um acidente catastrófico no transporte de dito material em alguma das rotas. Uma expressão para $CE_{\{Q\}}$ é a seguinte

$$CE_{\{Q\}} = \frac{\sum_{a \in Q} (p_a C_a) f_a}{\sum_{a \in Q} p_a f_a} \quad (4.3)$$

Agora, considerando as desigualdades dadas por (4.1) e (4.2), e a definição de $CE_{\{Q\}}$ em (4.3), a expressão (3.9) pode ser redefinida como

$$\text{Min}\{CE_Q : E_{\{Q\}} \leq \varphi; P_{\{Q\}} \leq \phi; \forall \{Q\} \in G\} \quad (4.4)$$

O problema (4.4) junto com as restrições definidas abaixo geram uma coleção de rotas para o transporte de materiais perigosos entre um par $O-D$ selecionado. A formulação para (4.4) é apresentada na continuação. Este problema será chamado de Problema de Roteirização para Múltiplos Embarques de MP (*PRM*).

$$\text{PRM) Minimizar } \frac{\sum_{a \in A} (p_a C_a) f_a}{\sum_{a \in A} p_a f_a} \quad (4.5)$$

Sujeito a:

$$\sum_{a \in F(i)} f_a - \sum_{a \in E(i)} f_a = \begin{cases} T_{OD}, & \text{se } i \equiv O \\ -T_{OD}, & \text{se } i \equiv D \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (4.6)$$

$$\sum_{a \in \{Q\}} p_a f_a \leq \phi \quad (4.7)$$

$$\sum_{a \in \{Q\}} (p_a C_a) f_a \leq \varphi \quad (4.8)$$

$$f \equiv (f_a : a \in A) \in F \quad (4.9)$$

$$f_a \geq 0 \quad \forall a \in A \quad (4.10)$$

Onde (4.6) representa o conjunto de condições de equilíbrio de fluxos. O conjunto de restrições (4.9) é equivalente ao conjunto (3.15) do *PECC*, onde o conjunto F em (4.9) representa restrições (lineares) para a eliminação de *subtour*, ou seja, tem como finalidade é eliminar ciclos do tipo C_1 e C_2 expostos na figura 1 do ANEXO 1 deste trabalho.