

DEFINIÇÃO DE UMA REDE DE RECENSEAMENTO DE TRÁFEGO PARA A REDE FUNDAMENTAL DE ESTRADAS DE ANGOLA

Thayane Molares D'Abril¹, João Lourenço Cardoso², Carlos Roque³

¹ FMC Technologies, Departamento de Operações, Sonils Oilfield Service Centre; Boavista, Luanda, Angola. Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil, Campo Grande 376, 1749-024 Lisboa, Portugal.

² Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Transportes. Núcleo de Planeamento, Tráfego e Segurança., Av do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal

³ Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Transportes. Núcleo de Planeamento, Tráfego e Segurança, Av do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal

email: croque@lneec.pt

Sumário

Angola apresenta-se como um país em crescente desenvolvimento, quer ao nível económico quer ao nível das novas infraestruturas. Ao nível de infraestruturas rodoviárias, viveu-se nos últimos anos um intenso período de reabilitação e reconstrução pós-guerra, bem como de construção de novas infraestruturas, com o objetivo de ligar todos os pontos do país de modo a facilitar a livre circulação de pessoas e bens.

Apesar deste contexto, verifica-se ainda, a inexistência de um sistema de recolha sistemática de dados de tráfego, que permita quantificar e caracterizar o tráfego que circula na rede fundamental. O conhecimento das características do tráfego é de extrema importância, tanto para o planeamento e dimensionamento de novas infraestruturas, como para a reabilitação do património já existente e bem assim, a programação das ações de melhoria da gestão e da fiscalização do tráfego, necessárias a uma operação eficiente do sistema de transportes rodoviários.

No âmbito de uma tese de mestrado submetida na Universidade Lusófona, foi desenvolvido conjuntamente com o Núcleo de Planeamento, Tráfego e Segurança do LNEC um método de planeamento da recolha de dados de tráfego, que permite determinar o número de postos de contagem, o tipo de postos e a respetiva localização nos trechos da rede de estradas definida, tendo em conta os custos associados (de investimento e de funcionamento) e as características dessa rede.

Dada a inexistência de dados rodoviários suscetíveis de caracterizar a rede viária, foram utilizados dados demográficos e geográficos de Angola, como suporte para a caracterização da rede. Com base nestes dados, foram calculados índices representativos da utilidade da caracterização do tráfego em cada Província e trecho e utilizou-se a programação linear inteira com variáveis binárias para otimizar a distribuição dos postos de contagem classificada, sujeita a um limite de investimento total previamente arbitrável. Foram definidas as variáveis, a função objetivo e as respetivas restrições. Para a solução do problema geral foi desenvolvido um programa de cálculo específico, que foi testado mediante a aplicação piloto às Províncias de Luanda, Bengo e Cuanza Norte. Os cálculos para resolução do problema foram efetuados recorrendo a um software desenvolvido para o efeito.

Na presente comunicação apresentam-se os passos fundamentais da metodologia desenvolvida bem como os principais resultados obtidos com o teste piloto, que permitiram dimensionar não só a rede de postos mas também efetuar uma análise de sensibilidade ao montante do investimento recomendável.

Palavras-chave: Tráfego rodoviário; Angola; Recenseamento; Posto de contagem; Programação linear inteira.

1 INTRODUÇÃO

Angola apresenta-se como um país em crescente desenvolvimento, quer ao nível económico quer ao nível das novas infraestruturas. Ao nível de infraestruturas rodoviárias, viveu-se nos últimos anos um intenso período de reabilitação e reconstrução pós-guerra, bem como de construção de novas rodovias, com o objetivo de ligar todos os pontos do país e facilitar a livre circulação de pessoas e bens.

Apesar deste contexto ainda não há um sistema de recolha sistemática de dados de tráfego, que permita quantificar e caracterizar o tráfego que circula na rede fundamental. O conhecimento das características do tráfego é de extrema importância, tanto para o planeamento e dimensionamento de novas infraestruturas, como para a reabilitação do património já existente e bem assim, a programação das ações de melhoria da gestão e da fiscalização do tráfego, necessárias a uma operação eficiente do sistema de transportes rodoviários.

No âmbito de uma tese de mestrado submetida na Universidade Lusófona, foi desenvolvido conjuntamente com o Núcleo de Planeamento, Tráfego e Segurança do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) um método de planeamento da recolha de dados de tráfego, que permite determinar o número de postos de contagem, o tipo de postos e a respetiva localização nos trechos da rede de estradas definida, tendo em conta os custos associados (de investimento e de funcionamento) e as características dessa rede [5].

Mediante uma recolha bibliográfica exaustiva sobre os métodos para a seleção da localização de postos de contagem numa rede, verificou-se que todos os métodos são aplicáveis apenas a casos onde já exista informação disponível sobre os fluxos de tráfego [1, 2, 3, 4], ou seja, são métodos a utilizar quando o objetivo for melhorar ou otimizar uma rede de postos existente.

Dada a inexistência de dados rodoviários suscetíveis de caracterizar a rede viária, foram utilizados dados demográficos e geográficos de Angola, como suporte para a caracterização da rede de postos de contagem. Com base nestes dados, foram calculados índices representativos da utilidade da caracterização do tráfego em cada Província e trecho e utilizou-se a programação linear inteira com variáveis binárias para otimizar a distribuição dos postos de contagem classificada, sujeita a um limite de investimento total previamente arbitrável. Foram definidas as variáveis, a função objetivo e as respetivas restrições. Para a solução do problema geral foi desenvolvido um programa de cálculo específico, que foi testado mediante a aplicação piloto às Províncias de Luanda, Bengo e Cuanza Norte. Os cálculos para resolução do problema foram efetuados recorrendo a um *software* desenvolvido para o efeito.

Na presente comunicação apresentam-se os passos fundamentais da metodologia desenvolvida bem como os principais resultados obtidos com o teste piloto, que permitiram dimensionar não só a rede de postos, mas também efectuar uma análise de sensibilidade ao montante do investimento recomendável.

2 METODOLOGIA APLICADA

Verificada a inexistência de dados de tráfego contínuos, que permitissem efetuar o retrato da rede viária, em termos de fluxo de tráfego e composição do mesmo, desenvolveu-se um método com base na informação disponível sobre o país, para servir de suporte à caracterização da rede viária. Tal como acima referido, foram utilizados dados demográficos, dados geográficos e um mapa da rede fundamental de estradas.

A partir desse mapa foi possível identificar e enumerar os trechos de estrada a considerar, bem como obter os respetivos comprimentos. De acordo com o Instituto de Estradas de Angola (INEA) a rede rodoviária está classificada segundo a seguinte desagregação:

- Estradas já catalogadas pelo INEA;
- Sub-treços a serem integrados nas estradas já catalogadas pelo INEA;
- Estradas a serem implantadas na rede fundamental.

Sendo a Rede Fundamental bastante densa, foram definidos dois níveis de hierarquia dentro da mesma rede: o primeiro nível, representativo dos principais eixos rodoviários (equiparado à Rede Fundamental ou principal), que engloba as estradas catalogadas e o segundo nível (equiparado à Rede Complementar) que engloba os sub-treços a serem integrados nas estradas já catalogadas e as estradas a serem implantadas na Rede Fundamental.

O método desenvolvido foi aplicado a três províncias contíguas: Luanda, Bengo e Cuanza Norte (ver Fig.1).

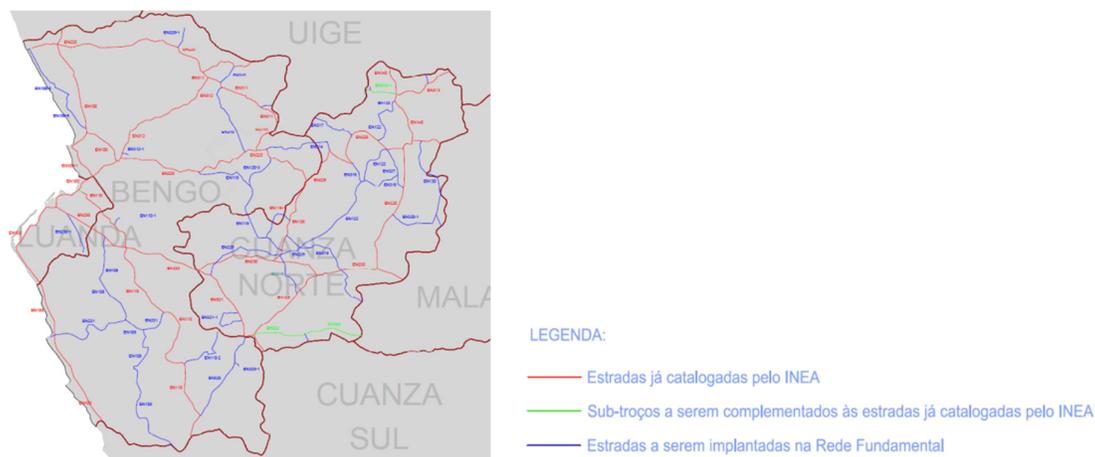


Fig.1. Mapa de estradas das províncias de Luanda, Bengo e Cuanza-Norte

Foram definidos os tipos de equipamentos a utilizar, a composição das equipas de operadores necessárias. Foram ainda calculados índices representativos da utilidade dos trechos e de cada província, com base nos dados anteriormente referidos. De seguida o caso de estudo foi transformado num problema de programação linear inteira com variáveis binárias. Para tal, foi definida a função objetivo e as respetivas restrições, sendo que as variáveis da função objetivo associadas a cada trecho podem tomar os valores 1 ou 0, conforme estes tenham ou não um posto de contagem, respetivamente. Foram também calculados os custos associados a cada tipo de posto de contagem e definidos os níveis de investimento possíveis para as três províncias em análise.

Assumiu-se que os três tipos de postos de contagem podem ser instalados em qualquer trecho e assim, na função objetivo, a cada trecho estão associadas três variáveis. Considerou-se não haver vantagens na colocação redundante de postos de contagem em qualquer trecho. Depois de definidas todas as variáveis do problema, o mesmo foi resolvido recorrendo a um *software* de cálculo numérico desenvolvido para o efeito. Os resultados obtidos com a otimização linear foram do tipo 1 ou 0 para cada variável (tipo de posto de contagem) associada a cada trecho.

2.1 Descrição dos dados

Para cada província foi definido um conjunto de atributos, nomeadamente, o número de trechos (diferenciados entre trechos do 1º nível e do 2º nível) com os respetivos comprimentos e a população da província, a partir dos quais se criaram indicadores capazes de serem usados numa comparação estruturada das províncias.

As províncias foram designadas por letras, A, B e C, correspondendo respetivamente, a Luanda, Bengo e Cuanza Norte. No total foram considerados 125 trechos, seis na província de Luanda, 55 na do Bengo e 64 em Cuanza Norte. Os trechos foram numerados e identificados por um código alfanumérico que indica a província, o nível de hierarquização e o número do trecho. Foram então numerados de modo a que dentro do conjunto de trechos de uma província, fossem geradas duas numerações diferentes, a dos trechos do primeiro nível e a dos trechos do segundo nível. Por exemplo, “A201” indica que se trata do trecho número “01” do 2º nível da província de Luanda.

Com os dados demográficos e áreas de cada província e do país, calculou-se a densidade rodoviária (correspondente à relação entre o comprimento total dos trechos e a área da província), a densidade populacional (equivalente à relação entre a população da província e a sua área) e a população (da província) por quilómetro de estrada.

Os seis trechos de estrada da província de Luanda perfazem um total de cerca de 162 km de estrada. Note-se que Luanda é a província mais pequena de Angola e apresenta poucos trechos de estrada relativamente às outras províncias; porém devido ao elevado número de habitantes e a outros fatores já referidos, esta província é de grande relevância para o estudo em causa. No caso da província do Bengo, destaca-se o facto de esta província ocupar uma área extensa sendo no entanto pouco populosa (com apenas 2,3% da população nacional). À semelhança da província do Bengo, a província do Cuanza Norte caracteriza-se por baixas densidades populacionais.

2.2 Escolha da função objetivo

Com base nos parâmetros acima descritos foram definidos indicadores representativos do peso de cada província no conjunto das três províncias em análise: “Dens.Pop×km” que resulta da multiplicação da densidade populacional pelo comprimento do trecho de estrada e corresponde a ponderar cada trecho com base na densidade populacional da província e no comprimento do trecho; “Pop/km×km” dado pelo produto da população por quilómetro pelo comprimento do trecho de estrada e correspondente a ponderar cada trecho com base na densidade linear (por extensão de estradas) de população e no comprimento do trecho; e “%PopNac×km” dado pela multiplicação da percentagem de população na província em relação à população nacional pelo comprimento do trecho de estrada. Neste último caso, o peso do trecho depende do seu comprimento e da percentagem de população da província onde ele se encontra.

Estes indicadores foram calculados para todos os trechos das três províncias. Com base nesses dados, foram então definidas quatro funções para a utilidade dos trechos com base nesses indicadores (“Comprimento”, “Dens.Pop×km”, “Pop/km×km” e “%PopNac×km”), tendo como finalidade escolher a que melhor se enquadra nos objetivos pretendidos e se adapta à realidade.

Na Fig.2 apresentam-se os gráficos que traduzem o peso de cada província em termos de função utilidade com base nas funções definidas, obtida através da soma das utilidades dos diferentes trechos de cada província.

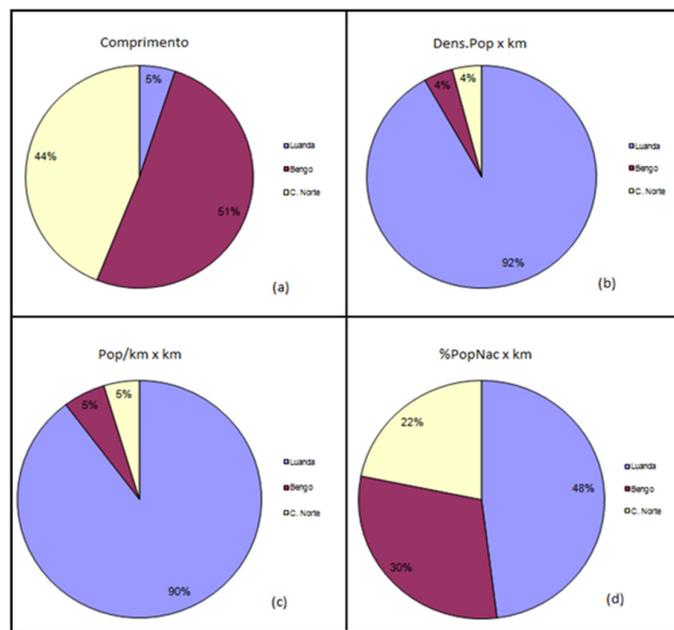


Fig.2. Definição da função objetivo

Nesta figura é notório um maior equilíbrio entre as três províncias, para a função “%PopNac×km” (d) apresentando Luanda um peso superior sem subalternizar em demasia as outras duas províncias. Esta função

apresenta um cenário razoável face à inexistência de mais dados e considerando que maior população gera maior tráfego. Assim, de todas as funções consideradas concluiu-se que esta é a que melhor traduz a realidade, tendo em conta as limitações anteriormente referidas, pelo que foi esta a função escolhida para prosseguir a análise.

A utilidade de cada trecho foi então calculada segundo a função anteriormente escolhida, designada por utilidade geométrica (representa o peso da infraestrutura), e também segundo o tipo de posto de contagem a utilizar, designada por utilidade com base no tempo (representa o peso da cobertura das contagens).

2.3 Cálculo da utilidade com base no tempo

Foram definidos três tipos de postos de contagem:

- Tipo I – equipamentos automáticos de contagem permanente (sistemas de deteção de imagens de vídeo), que funcionam 24 horas por dia durante todo o ano (não se consideram os 365 dias, considera-se que durante 10% desse período o equipamento não irá funcionar, pelo que se consideraram 329 dias);
- Tipo II – equipamentos automáticos de contagem temporária (detetores magnéticos), cujo período considerado foi de 14 dias em cada trecho, podendo ao longo do ano ser utilizados 25 vezes, ou seja, podendo ser colocados em 25 trechos diferentes;
- Tipo III – são as contagens manuais, considerando 12 horas por dia (considerou-se para o caso de Angola, o período das 6h:30 às 18h:30, atendendo a que nesse período se consegue observar a hora de ponta da manhã e a da tarde).

A utilidade com base no tempo de contagem associado a cada tipo de posto de contagem a utilizar, foi inicialmente calculada como uma função linear do tempo de contagem, pelo que se verificou que os postos do tipo I (329 dias) apresentavam um peso bastante superior aos postos dos tipos II (14 dias) e III (meio dia). Este critério conduz a um grande desequilíbrio entre os diferentes tipos de postos, para além de não traduzir com fidelidade o impacto decrescente do número de dias de contagem no aumento da exatidão das estimativas do TMDA obtidas com os respetivos resultados.

Assim, definiu-se uma função utilidade que garantisse maior equilíbrio entre os três tipos de postos, calculando a utilidade em função da exatidão de estimativa do TMDA associada ao tempo de contagem. Essa abordagem é adaptada de trabalhos anteriores [6] nos quais foram definidas cinco categorias de exatidão e estimado o respetivo erro associado, dependendo do tipo de contagem (manual ou automática) e da duração das contagens. Assumiu-se que o erro associado a cada classe de exatidão é dado pelo valor médio do intervalo apresentado para cada classe, tendo por base os valores do Quadro 1.

Quadro 1- Categorias de exatidão associadas aos métodos de contagem (adaptado de [6])

Categoria	Erro associado	Valores médios	
A	Até 5%	2,5%	Muito satisfatório
B	5 – 10%	7,5%	Satisfatório para os propósitos normais
C	10 – 25%	17,5%	Bom o suficiente
D	25 – 50%	37,5%	Insatisfatório
E	Acima de 50%		Inútil

Uma vez que a categoria E produz resultados caracterizados como “inútil”, devido ao elevado erro associado, esta não foi considerada.

A mesma fonte bibliográfica apresenta diferentes hipóteses de contagem com a finalidade de estimar o TMDA, em função da duração das mesmas, associando a cada uma delas o respetivo erro expectável. Da análise do quadro resulta o seguinte:

- Para os postos do tipo I, ou seja, contagens integrais ao longo do ano, está definida a classe A e admitindo um erro de 2,5% (uma vez que ocorrem sempre avarias pontuais dos equipamentos), considera-se uma utilidade de 100% com base na exatidão, ou seja, o valor ótimo.

- Para os postos do tipo II, foi feita uma aproximação considerando que as contagens temporárias se enquadram no grupo das contagens manuais desse quadro. Como o quadro não apresenta nenhum caso semelhante ao tipo de contagem definido, ou seja, 14 dias consecutivos de contagem, houve que conceber uma forma de o enquadrar. Foram escolhidos dois casos: contagens das 6h:00 às 22h:00 durante 7 dias consecutivos (categoria C) e contagens das 6h:00 às 22h a cada 26 dias por ano, o que perfaz 14 contagens por ano (categoria A ou B), assumiu-se então que a categoria deste tipo de posto de contagem estaria entre B e C pois ter 14 dias de contagem consecutivos será melhor do que ter 7 dias mas será pior do que 14 dias distribuídos ao longo do ano. Considera-se isto porque neste tipo de contagem se conseguem apanhar variações sazonais, o que não é possível com 14 dias consecutivos. Sendo que foi assumida a categoria C com um erro associado de 15%, o que corresponde a uma exatidão de 85%.
- Para os postos do tipo III considerou-se o caso de contar num dia de semana entre as 6h:00 e as 22h:00, ao qual corresponde a categoria de C ou D, o que corresponde a uma exatidão de 40%, atendendo a que a contagem que se prevê realizar se efetuará durante um intervalo horário menor.

Apresenta-se na Fig.3 a utilidade de cada posto em termos da exatidão pretendida.

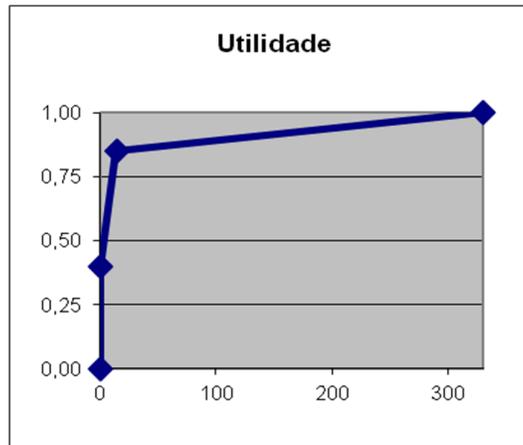


Fig.3. Utilidade dos postos e respectivos dias de contagem

2.4 Resolução do modelo

Depois de definidas as utilidades a atribuir a cada um dos 125 trechos, em função do tipo de contagem, definiu-se o caso de estudo como um problema de otimização linear, com a função objetivo e as respetivas restrições. Seja “t” o índice do trecho pertencente ao conjunto de trechos $T = \{1, 2, \dots, 125\}$, “i” o índice do tipo de posto pertencente ao conjunto do tipo de postos de contagem $I = \{1, 2, 3\}$, $P = \{1, 2, 3\}$ o conjunto das províncias, B o limite máximo admitido para o investimento a realizar, C o custo associado aos postos de contagem e R o número de postos de contagem do tipo II possíveis expressos pelo número de reutilizações correspondente. Considere-se ainda que o conjunto de trechos T é constituído por três subconjuntos (T_p) correspondentes aos trechos de cada província e que u_t^g é a utilidade geométrica do trecho “t” e u_t^i a utilidade com base no tempo do posto do tipo “i”. O problema a resolver é expresso da seguinte forma:

$$\text{Max F} = \sum_{t=1}^{125} \sum_{i=1}^3 n_t^i \times (u^g \times u^i)_t \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{t=1}^{125} n_t^I \times C_t^I + n_t^{II} \times C_t^{II} + n_t^{III} \times C_t^{III} \leq B \quad (2)$$

$$n_t^I + n_t^{II} + n_t^{III} \leq 1 \quad (3)$$

$$\sum_t n_t^I \geq 1 \quad (4)$$

$$\forall t \in Tp$$

$$\sum_t n_t^{II} = R \quad (5)$$

$$\forall t \in T$$

$$0 \leq n_t^i \leq 1; \text{inteiro} \quad (61)$$

$$\forall i \in I$$

As variáveis “ n_t^i ” representam as variáveis de decisão do modelo e apenas podem tomar os valores “1” ou “0” (61), consoante o trecho possua ou não um posto de contagem, respetivamente. Na função objetivo (1), cada trecho dá origem a três variáveis, que representam a possibilidade do mesmo ter um posto do tipo I, II ou III, gerando no total 375 variáveis. A restrição (3) impõe que cada trecho deve possuir apenas um posto de contagem (seja este do tipo I, II ou III), o que significa que se uma das três variáveis referentes ao trecho tomar o valor “1”, as outras têm necessariamente de ser “0”. A restrição (2) representa a função custo, que traduz o custo de contagem em cada trecho, em função do tipo de equipamento nele usado. Foi também adicionada uma restrição que impõe que deve existir pelo menos um posto de contagem do tipo I em cada província (4), para garantir que em cada uma exista pelo menos um trecho com dados de contagem permanente, ou seja, dados de 24 h de todos os dias do ano, de modo a haver pelo menos uma fonte de avaliação da sazonalidade em cada província. A restrição (5) corresponde ao número de postos do tipo II que podem existir, atendendo à possibilidade de reutilização destes postos temporários ao longo do ano (relembrando que cada posto poderá ser instalado em 25 trechos diferentes durante o ano). Uma vez que na programação linear o valor do termo à direita das restrições é uma constante, teve que se efetuar a otimização tantas vezes quantas o número de equipamentos potencialmente utilizáveis na rede (0, 1, 2, 3 ou 4) correspondendo a cinco valores da variável R (0, 25, 50, 75, 100).

2.4.1 Cálculo do custo dos postos de contagem

Foram calculados os custos para cada tipo de posto com base nos custos de aquisição, instalação e manutenção dos equipamentos e da mão-de-obra.

Para os três tipos de postos de contagem foram obtidos os custos apresentados no Quadro 2 e as respetivas utilidades de tempo. Da análise do mesmo, nota-se que os postos de contagem do tipo I apresentam um custo superior em relação aos restantes, o que pode ser explicado pelo elevado custo de aquisição e de manutenção deste tipo de equipamento. Em contrapartida, estes postos apresentam uma vida útil superior aos restantes.

Quadro 2 – Custo dos três tipos de postos de contagem.

Tipo	I	II	III
Utilidade de Tempo (d)	1	0,85	0,4
Custo (€)	2.843,89 €	492,85 €	258,05 €

2.4.2 Cálculo do máximo da função objetivo

Através da utilidade geométrica (%PopNac×km) e da utilidade com base no tempo, calculou-se o máximo da função objetivo, que é dado pela soma das utilidades geométricas de cada província multiplicadas pela utilidade máxima com base no tempo (neste caso 1, para o caso extremo de todos os trechos possuírem um posto de contagem do tipo I) tendo-se obtido o valor de 123,83 (os valores obtidos para cada trecho encontram-se detalhadamente descritos em [5]).

Admitiu-se um valor de investimento desejado de 75.000,00 €, sendo que para o cálculo do investimento mínimo necessário foram consideradas duas das restrições anteriormente apresentadas: a (4), referente à imposição de existir pelo menos um posto de contagem do tipo I em cada província e a (5) referente à existência de postos de contagem do tipo II, considerando neste caso o uso de nenhum posto deste tipo.

Foi então calculado o valor do investimento mínimo, considerando um mínimo de três postos do tipo I (um em cada província) e nenhum posto do tipo II, através da soma do custo de cada posto multiplicado pelo número de utilizações, resultando em 8.843,89 €.

O mesmo cálculo foi efetuado, considerando a existência de um posto de contagem do tipo II, para se demonstrar o impacto que a variação do número de postos do tipo II tem sobre o custo. Neste caso o investimento mínimo corresponde a 20.852,87 €.

Uma vez definidos todos os parâmetros necessários, procedeu-se à otimização linear deste modelo, cuja função objetivo apresenta 375 variáveis e está sujeita a 509 restrições. Para tal foi desenvolvida uma ferramenta informática no LNEC recorrendo ao *software* “Scilab”, resolvendo o problema como um modelo de programação linear inteira com variáveis binárias, aplicando o algoritmo de *Branch and Bound*.

Para o cálculo, foram considerados seis níveis de investimento diferentes (25.000,00 €, 35.000,00 €, 50.000,00 €, 60.000,00 €, 75.000,00 € e 85.000,00 €) e cinco cenários diferentes para os postos de contagem do tipo II, tomando as seguintes alternativas: 0, 1, 2, 3 ou 4 postos. Pretendeu-se assim efetuar uma análise de sensibilidade ao modelo, a fim de se perceber o impacto da variação destes parâmetros sobre o resultado final em termos de custos e de benefícios. Deste modo, as conclusões tiradas desta análise foram fundamentais para se decidir até que ponto é viável realizar um determinado investimento.

3 RESULTADOS OBTIDOS

A otimização linear do modelo foi feita por meio de sucessivas iterações pela ferramenta de cálculo desenvolvida, até chegar à solução ótima para cada nível de investimento e para os diferentes cenários de postos do tipo II. Como resultado, o programa produziu uma lista de todos os trechos, 375 no total, considerando que cada trecho é representado três vezes (uma vez por cada tipo de posto), atribuindo aos mesmos o valor de 1 ou 0 consoante estes possuam ou não, o tipo de posto de contagem associado.

Os resultados obtidos são descritos detalhadamente em [5]. Importa referir que cada trecho possui um código de identificação, neste caso, semelhante ao código apresentado na secção 2.1. da presente comunicação, acrescentando apenas a designação do tipo de posto no fim. Tome-se como exemplo, o trecho “A102” (que representa o trecho número 2, do 1º nível, da província de Luanda, conforme referido anteriormente) assume agora a designação de A102I, A102II e A102III, em que apenas um destes terá o valor de 1 e os outros o valor 0, atendendo à restrição (3), que impõe que um trecho apenas pode ter um posto de contagem.

A análise de sensibilidade foi feita variando o investimento e a quantidade de postos de contagem do tipo II. No caso destes últimos, considerou-se apenas a variação entre zero e quatro postos, devido ao facto da rede considerada ter 125 trechos e atendendo às restrições de haver pelo menos um posto do tipo I por província e de não ter de haver mais do que um posto por trecho. Com base nos resultados obtidos para os diferentes investimentos considerados, elaborou-se o gráfico apresentado na Fig. 4, que demonstra a influência que a variação no número de postos de contagem do tipo II tem no investimento necessário. Esta figura representa no eixo das abcissas o investimento (€) e no eixo das ordenadas o valor ótimo da função objetivo associado (cujo máximo é de 123,83, como se referiu em 2.4.2).

Da análise da Fig.4 pode-se verificar que para o investimento máximo de 25.000,00 € é possível ter um posto do tipo II ou não ter nenhum; porém, respeitando esse valor de investimento máximo, passar de nenhum para 1

posto do tipo II representa um grande incremento na função objectivo (a qual sobe de 70,17 para 84,13) mas em termos de investimento quase não há alteração (aumenta de 24.805,00 € para 24.982,00 €). Para este investimento máximo é preferível optar pela última configuração, face ao benefício apresentado em função do pequeno acréscimo no valor do investimento efectivamente suportado.

Até aos 35.000,00 € apenas se consegue garantir a utilização de um posto do tipo II, porém a partir desse valor já se podem utilizar até dois desses postos e verifica-se uma situação semelhante à anteriormente descrita, apesar da utilização de dois postos do tipo II não apresentar um incremento tão grande como anteriormente em termos de função objetivo para o mesmo investimento. Tem-se então um aumento no benefício de 91,19 para 95,04 e no investimento, de 34.798,00 € para 34.980,00 €; ainda assim e por esta ligeira diferença no valor do investimento face ao aumento do benefício, é preferível optar pela utilização de dois postos de contagem do tipo II.

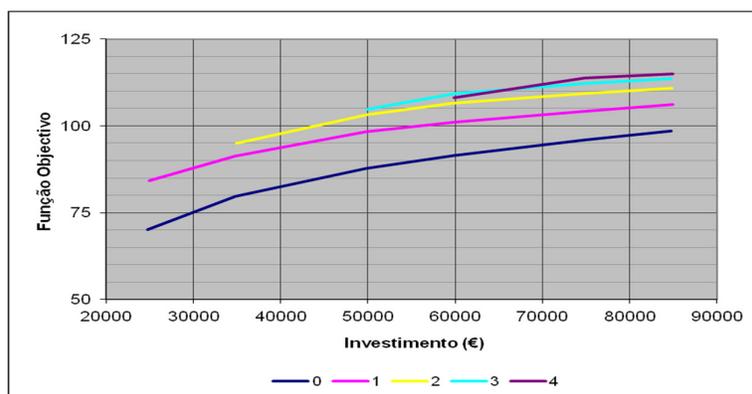


Fig.4. Valor absoluto da função objetivo - análise de sensibilidade, para diferentes números de postos do tipo II

Esta tendência verifica-se também para os restantes níveis de investimento. À medida que se aumenta o número de postos do tipo II, o incremento no benefício compensa a diferença no valor do investimento, pois a utilização de mais um posto deste tipo garante a cobertura de mais 25 trechos da rede viária. A partir dos 60.000,00 €, é possível ter quatro postos de contagem do tipo II; porém, passar de três para quatro postos do tipo II já não acrescenta grande benefício à função objetivo face ao aumento do investimento, exceto num ponto de inflexão que se verifica próximo dos 75.000,00 €, em que ao passar de três para quatro postos, o benefício aumenta de 112,34 para 113,73 ao mesmo tempo que se diminui o valor do investimento, que passa de 74.950,00 € para 74.874,00 €.

Quadro 3 – Valores do investimento e da percentagem atingida do valor máximo da função utilidade

Investimento Máximo (€)	Número de postos do Tipo II									
	0		1		2		3		4	
	Inv.	F.Ut.	Inv.	F.Ut.	Inv.	F.Ut.	Inv.	F.Ut.	Inv.	F.Ut.
25000	24805	57%	24982	68%	-	-	-	-	-	-
35000	34879	64%	34798	74%	34980	77%	-	-	-	-
50000	49857	71%	49776	79%	49963	83%	49887	85%	-	-
60000	59942	74%	59856	82%	59780	86%	59967	88%	59881	87%
75000	74936	78%	74854	84%	74773	88%	74950	91%	74874	92%
85000	84758	80%	84934	86%	84859	89%	84778	92%	84960	93%

Esta solução também é a mais resiliente em caso de avaria ou inoperacionalidade de um dos contadores portáteis, já que a perda de um deles não acarreta grande diminuição no valor da função objetivo. Portanto esta é a solução mais aconselhável para escolha, para o caso das três províncias em estudo. Esta solução é constituída por oito postos do tipo I, 100 postos do tipo II e 11 postos do tipo III.

No Quadro 3 o valor da função utilidade (F.Ut) é apresentado em termos da percentagem do valor máximo da função objectivo (ver 2.4.2). Da análise deste quadro conclui-se que, para a opção escolhida, atinge-se 92% do valor máximo da função objetivo, que é um valor muito próximo do ideal.

4 CONCLUSÕES

Em Angola ainda não existe uma rede de recolha de dados de tráfego de forma permanente; efetuam-se apenas contagens pontuais, para fins muito específicos e em locais escolhidos para esses efeitos.

Não obstante, é necessário que o tráfego que circula pela rede viária possa ser supervisionado, para se caracterizar a procura e a oferta em termos de capacidade das infraestruturas, avaliar o desempenho da rede viária (calculando níveis de saturação nas ligações e nas intersecções), identificar os locais onde poderá ser necessário intervir ao nível da gestão do volume de tráfego, definir as maiores deficiências, e perceber onde e em que medida se podem efetuar melhorias. O conhecimento das características do tráfego é assim fundamental para se efetuar o planeamento e gestão da rede e da sua operação, dimensionar infraestruturas capazes de servir a procura real, programar e realizar a manutenção das infraestruturas existentes, bem como atuar ao nível da segurança rodoviária, através da aplicação de medidas preventivas e corretivas, entre outros.

Os resultados obtidos com o método desenvolvido foram satisfatórios tendo em conta a informação disponível, pois foi possível definir o tipo de postos de contagem a utilizar e a localização dos mesmos na rede. É de salientar que, apesar de se recorrer a um pequeno conjunto de dados desagregados disponíveis e de se empregar ferramentas matemáticas aparentemente simples, se consegue não só definir a rede de recenseamento de tráfego para um dado investimento mas também analisar a sensibilidade dos resultados obtidos com essa rede a pequenas alterações quer no montante do investimento previsto quer na configuração do lote de equipamento a empregar.

A elaboração do presente estudo, com uma primeira definição de uma rede recenseamento de tráfego para as estradas de Angola, representa um contributo importante para satisfazer as necessidades existentes relativamente à recolha de dados de tráfego no País. Torna-se importante realçar que, na sequência do funcionamento da mencionada rede de recenseamento, com mais informação disponível será possível calibrar o modelo para que este traduza melhor as características da rede rodoviária e assim, produzir resultados progressivamente mais satisfatórios.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bianco, L., C. Cerrone, R. Cerulli, e M. Gentili, Locating sensors to observe network arc flows: Exact and heuristic approaches, *Computers & Operations Research*, 12-22, 2014.
2. Yang, H., e J. Zhou, Optimal traffic counting locations for origin-destination matrix estimation, *Transportation Research Part B*, 109-126, 1998.
3. Yang, H., Y. Lida, e T. Sasaki, An analysis of the reliability of an OD trip matrix estimated from traffic counts, *Transportation Research part B*, 351-363, 1998.
4. Yim, P, e W Lam. "Evaluation of count location selection methods for estimation of OD matrices." *Journal of Transportation Engineering*, 376-383, 1998.
5. Molares D'Abril, Thayane. Definição de uma rede de recenseamento de Tráfego para a rede fundamental de estradas de Angola. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, *Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias*, Lisboa, 2015.
6. Road Research Laboratory. Research on Road Traffic, *Her Majesty's Stationery Office*, London, 1965.