



PALAVRAS CHAVES / KEY WORDS

AUTORES / AUTHORS

*HEURÍSTICA MANUAL  
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA  
ROTEAMENTO DE VEÍCULOS*

AUTORIZADA POR / AUTHORIZED BY

*Marco Antonio Raupp  
Diretor Geral*

AUTOR RESPONSÁVEL / RESPONSIBLE AUTHOR

*Horacio H. Yanasse*

DISTRIBUIÇÃO / DISTRIBUTION

INTERNA / INTERNAL

EXTERNA / EXTERNAL

RESTRITA / RESTRICTED

REVISADA POR / REVISED BY

CDU/UDC

*519.8:688.11*

DATA / DATE

*Julho, 1987*

TÍTULO / TITLE	<p>PUBLICAÇÃO Nº / PUBLICATION NO</p> <p><i>INPE-4262-PRE/1135</i></p> <p><i>UMA HEURÍSTICA MANUAL PARA O ROTEAMENTO DE VEÍCULOS VISANDO A DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA</i></p>
	<p>AUTORES / AUTHORSHIP</p> <p><i>Iamara Virgínia de Mendonça Motta Horacio Hideki Yanasse</i></p>

ORIGEM / ORIGIN

*LAC*

PROJETO / PROJECT

*POPES*

Nº DE PAG. / NO OF PAGES

*09*

ULTIMA PAG. / LAST PAGE

*06*

VERSÃO / VERSION

*---*

Nº DE MAPAS / NO OF MAPS

*---*

RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES

*Apresenta-se uma heurística manual para o roteamento de veículos que distribuem água à população urbana no Estado do Ceará, em situações emergenciais.*

OBSERVAÇÕES / REMARKS

*Trabalho submetido à apresentação no X Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional, 21 a 25 de setembro de 1987, Gramado, RS.*



ABSTRACT

*We present a manual heuristic procedure for routing vehicles that distribute water to the urban population in Ceará State, in emergency situations.*

UMA HEURÍSTICA MANUAL PARA O ROTEAMENTO DE VEÍCULOS  
VISANDO A DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

Iamara V. M. Motta  
Horácio H. Yanasse  
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE  
Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT  
Caixa Postal 515 - 12200 - São José dos Campos - SP - Brasil

O desenvolvimento da heurística sugerida neste trabalho foi motivado de um problema prático que ocorre no Estado do Ceará em épocas de seca, quando a distribuição de água através de carros-pipas à população urbana do interior se faz necessária. Trata-se mais especificamente de um problema de roteamento de veículos com múltiplos depósitos, o qual pode ser definido da seguinte forma: "Uma frota de veículos que sai de  $M$  depósitos ( $M > 1$ ), faz entregas de quantidades específicas de um único tipo de produto para  $N$  localidades de tal maneira que a distância total percorrida pelos veículos é minimizada. Todos os veículos têm a mesma capacidade de carga e a quantidade demandada do produto em cada ponto é menor que a capacidade do veículo."

Houve uma preocupação muito grande em realizar um trabalho que pudesse realmente ser utilizado pelo Governo do Estado do Ceará. Por isto, foi feita uma análise do problema levando em consideração todas as peculiaridades envolvidas, na qual observaram-se vários aspectos que merecem ser considerados. Um dos aspectos refere-se ao cenário para o qual este trabalho se destina. Trata-se de cidades do interior do Estado do Ceará que não dispõem de computadores nem de pessoas técnicas capazes de manipulá-los. Além do mais, são cidades pouco desenvolvidas, cujas verbas são muito restritas. O Governo do Estado do Ceará não possui verbas suficientes para suas necessidades mais urgentes. Logo, dificilmente seria possível obter verbas extras, via Governo Estadual, para a obtenção de computadores e para a contratação de pessoas capazes de utilizá-los adequadamente nas várias cidades do interior do Estado do Ceará.

As verbas destinadas pelo Governo Federal aos Estados do Nordeste são sempre muito disputadas devido às inúmeras necessidades da região. Por isto, para conseguir uma parcela dessas verbas limitadas, é

preciso que as justificativas sobre as necessidades e as explicações sobre os retornos e abrangências sejam muito convincentes. Logo, não parece uma tarefa fácil conseguir recursos para serem destinados à compra de computadores e contratação de pessoal para manipular os modelos de roteamento de carros-pipas nas cidades do interior nos períodos de estiagens. Há ainda o problema de incredulidade natural por se tratar de uma inovação.

Portanto, parece impraticável, a curto prazo, a utilização de métodos que necessitam do uso de computadores para a geração da solução.

Por outro lado, algoritmos manuais têm sido utilizados em casos onde o uso de computador é proibitivo por alguma razão, apresentando resultados positivos. É o caso, por exemplo, do algoritmo manual desenvolvido por Robbins e Turner (1975), que obteve uma economia substancial de combustível, reduzindo de 10 a 20 por cento a distância total percorrida diariamente por ônibus escolares numa região rural dos Estados Unidos da América. Outro exemplo é o algoritmo manual desenvolvido por Knight e Hofer (1968) para uma empresa que transporta pequenas mercadorias numa área de Londres. Com este algoritmo obteve-se uma economia no custo de operação por volta de 12 por cento ao dia, pois a diminuição ocorrida no tempo gasto pela frota de veículos nos transportes das mercadorias possibilitou a ampliação do número de mercadorias transportadas sem o aumento da frota.

O sistema manual pode demonstrar os ganhos em potencial da aplicação de um roteamento melhorado e poderá, eventualmente, justificar gastos adicionais na implantação de um sistema computadorizado, fornecendo inclusive a lógica para a implantação de um programa no computador. Além disto, pode servir como instrumento de controle para o Governo com o objetivo de evitar artimanhas por parte dos motoristas dos carros-pipas, visto que tal ocorrência era comum.

Outras possíveis razões que justificam também o desenvolvimento de métodos manuais são: a possibilidade de benefícios imediatos sem que haja dispêndios de recursos, a habilidade de estimar economias que justificariam o desenvolvimento de projetos mais sofisticados no fu

turo, a possível falta de familiaridade com as inúmeras contingências do dia a dia que poderiam ocorrer na prática e que precisariam estar necessariamente especificadas desde o início do desenvolvimento de um sistema computarizado.

Em vista dos resultados obtidos com os métodos manuais e da possibilidade de os métodos manuais viabilizarem no futuro a implantação de um sistema computadorizado, foram desenvolvidas algumas heurísticas manuais para a resolução do problema definido anteriormente. Estas heurísticas manuais foram comparadas em termos de seus desempenhos na solução de problemas simulados e escolhida aquela heurística que apresentou melhor desempenho.

A heurística manual escolhida pode ser dividida em três etapas. Na primeira há a alocação de pontos de demanda aos depósitos. Para tanto, utiliza-se a idéia sugerida por Gillett e Johnson (1976) de forma modificada. Isto é, cada ponto de demanda é atribuído ao depósito que tenha um ponto de demanda já atribuído a ele e que esteja mais próximo do ponto em questão do que qualquer outro ponto, desde que a distância entre estes dois pontos não exceda a distância do ponto em questão a seu depósito mais próximo. Caso exceda, o ponto será atribuído a seu depósito mais próximo. Esta regra não é aplicada ao primeiro ponto a ser considerado na heurística, devido à falta de algum ponto já atribuído, sendo ele atribuído a seu depósito mais próximo.

Após isto o problema subdivide-se em múltiplos problemas de roteamento com um único depósito.

Na segunda etapa, há então a resolução destes subproblemas que é efetuada utilizando, de forma simplificada, o algoritmo da varredura de Gillett e Miller (1974). A simplificação ocorre na formação dos agrupamentos que, uma vez formados, não são mais alterados. A cada agrupamento de pontos tem-se um problema do caixeiro viajante. Ou seja, os pontos de demanda são plotados num sistema de coordenadas polares com origem no depósito. Em seguida é feita uma varredura por um raio que parte da origem e vai até um ponto inicial arbitrário, segundo um ângulo crescente. Os pontos de demanda são atribuídos para uma dada rota quando são varridos até imediatamente antes da restrição ser violada.

Este processo de formar rotas continua até que todas as localizações sejam atribuídas para alguma rota. A cada agrupamento de pontos tem-se um problema do caixeiro viajante. Vale citar que as idéias do algoritmo da varredura já foram utilizadas em uma heurística manual apresentada em Robbins e Turner (1975).

Na terceira e última etapa, cada problema do caixeiro viajante que corresponde a cada agrupamento (contando com o depósito) é resolvido usando a abordagem geométrica desenvolvida por Norback e Love (1977). Este método começa determinando o envoltório convexo do conjunto de todos os pontos que estão plotados em um plano. O envoltório convexo representa a rota parcial inicial. No próximo passo são medidos todos os ângulos cujos vértices são pontos não-pertencentes à rota parcial e cujos lados são ligados diretamente a dois pontos consecutivos da rota parcial. O ponto que corresponde ao maior ângulo de todos estes ângulos é atribuído entre aqueles dois pontos consecutivos da rota parcial que formam este maior ângulo. Isto formará a próxima rota parcial, a qual terá um ponto a mais do que a rota parcial anterior. O processo de medir ângulos e escolher o maior é repetido, com a nova rota parcial e os pontos interiores restantes, até que não existam mais pontos interiores. Segundo os autores, esta heurística pode ser utilizada manualmente, precisando-se apenas de um mapa da cidade, régua e lápis; sendo os ângulos estimados visualmente.

As várias heurísticas manuais sugeridas foram baseadas em idéias utilizadas em diversas heurísticas que resolvem o problema de roteamento de veículos e o problema do caixeiro viajante. Portanto, elas foram elaboradas de uma composição de procedimentos heurísticos sugeridos na literatura. Procurou-se elaborar procedimentos manuais que mantivessem um equilíbrio entre desempenho e simplicidade de aplicação.

É importante ressaltar que todas as heurísticas manuais elaboradas neste trabalho admitem a suposição de que as distâncias são euclidianas, valendo portanto a desigualdade triangular.

As comparações quanto a qualidade das soluções obtidas pelas heurísticas manuais foram feitas utilizando-se um algoritmo heurístico computacional apresentado em Motta e Yanasse (1985) como referên

cia. Esta comparação permite dar uma primeira estimativa do quanto se pode ganhar ao se implantar um sistema computarizado em substituição a um sistema manual.

Cabe salientar que heurísticas manuais para roteamento de veículos podem ser úteis também em outros contextos totalmente diferentes do abordado neste trabalho.

Descrições detalhadas das heurísticas elaboradas e dos testes comparativos realizados estão apresentados em Motta (1986).

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ROBBINS, J.A.; TURNER, W.C. A manual method for routing school buses. ORSA/TIMS National Meeting, Las Vegas, Fall, 1975.
- [2] KNIGHT, K.W.; HOFER, J.P. Vehicle scheduling with timed and connected calls: a case study. Operational Research Quarterly, 19(3): 299-310, 1968.
- [3] GILLETT, B.E.; JOHNSON, J.G. Multi-terminal vehicle dispatch algorithm. OMEGA, The International Journal of Management Science, 4(6): 711-718, 1976.
- [4] GILLETT, B.E.; MILLER, L.E. A heuristic algorithm for the vehicle-dispatch problem. Operational Research, 22(2): 340-349, 1974.
- [5] ROBBINS, J.A.; TURNER, W.C. A manual method for routing school buses. ORSA/TIMS National Meeting, Las Vegas, Fall, 1975.
- [6] NORBACK, J.P.; LOVE, R.F. Geometric approaches for solving the traveling salesman problem. Management Science, 23(11): 1208-1223, 1977.
- [7] MOTTA, I.V.M.; YANASSE, H.H. Utilização de heurísticas de roteamento de veículos com um único depósito para o caso de múltiplos depósitos. Apresentado no 8º CNMAC, realizado de 16 a 20 de setembro de 1985 em Florianópolis, SC.



- [8] MOTTA, I.V.M. Roteamento de veículos para distribuição de água. Dissertação de Mestrado. INPE - São José dos Campos, SP - Junho de 1986.



- DISSERTAÇÃO
- TESE
- RELATÓRIO
- OUTROS

IDENTIFICAÇÃO	TÍTULO <i>Uma heurística manual para o roteamento de veículos usando a distribuição de água.</i>			
	AUTOR(ES) <i>Jamara Virgínia de M. Motta Horacio Hideki Yanasse</i>		ORIENTADOR —	
	CO-ORIENTADOR —		DIVULGAÇÃO <input type="checkbox"/> EXTERNA <input type="checkbox"/> INTERNA <input type="checkbox"/> RESTRITA EVENTO/MEIO <input checked="" type="checkbox"/> CONGRESSO <input type="checkbox"/> REVISTA <input type="checkbox"/> OUTROS	
	LIMITE —/—/—	DEFESA —/—/—		
REV. TÉCNICA	NOME DO REVISOR <i>* vide obs.</i>		NOME DO RESPONSÁVEL <i>Valter Rodrigues</i>	
	RECEBIDO —/—/—	DEVOLVIDO —/—/—	ASSINATURA —	APROVADO <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO DATA —/—/— ASSINATURA <i>VALTER RODRIGUES</i> <small>Chefe do Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada - Substituto</small>
REV. LINGUAGEM	Nº —	PRIOR. —	RECEBIDO —/—/—	NOME DO REVISOR <i>* vide obs.</i>
	PÁG. —	DEVOLVIDO —/—/—	ASSINATURA —	OS AUTORES DEVEM MENCIONAR NO VERSO INSTRUÇÕES ESPECÍFICAS, ANEXANDO NORMAS, SE HOUVER RECEBIDO —/—/— DEVOLVIDO —/—/— NOME DA DATILÓGRAFA —
Nº DA PUBLICAÇÃO: <i>4262 PEE/1135</i> PÁG.: CÓPIAS:      Nº DISCO:      LOCAL:			AUTORIZO A PUBLICAÇÃO <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO   —/—/—	
OBSERVAÇÕES E NOTAS				

*Submetido a apresentação no X CNMAC, Gramado, RS, 21 a 25 de setembro de 1987.*

*Dispensado da Rev. Técnica e Rev. de Linguagem*

*Horacio H. Yanasse*

*Ok*  
*VALTER RODRIGUES*  
Chefe do Laboratório Associado de  
Computação e Matemática Aplicada - Substituto