UMA HEURÍSTICA PARA SOLUÇÃO DO PROBLEMA DA DISTRIBUIÇÃO DE JORNAIS PARA ASSINANTES

José Eugenio Leal
Departamento de Engenharia Industrial
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
Jodelson Aguilar Sabino
Departamento de Engenharia Industrial
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
Mauro César Marchetti
Departamento de Engenharia Civil
Universidade Regional Integrada

RESUMO

Este artigo expõe o problema de distribuição de jornais para assinantes de uma zona urbana, apresenta uma revisão sobre os tipos de problemas similares de distribuição e propõe uma heurística para resolver o problema apresentado. Parte dos algoritmos propostos é validada através de uma aplicação prática no Bairro do Leme, localizado na Zona Sul da cidade do Rio de Janeiro, Brasil.

ABSTRACT

This work presents the problem of newspaper distribution to subscribers in a city zone, builds up an overview on similar delivering problems and proposes a heuristic to solve the presented problem. Some of the proposed algorithms are validated through a practical application in Leme district, located in southern Rio de Janeiro, Brazil.

1. INTRODUÇÃO

Os problemas de roteirização e programação de coleta e entrega aparecem na rotina das cidades modernas, nos setores público e privado e a sua solução está sempre ligada, indiretamente, a alguma contribuição para a qualidade de vida da população. O transporte em ônibus escolares, a distribuição de jornais, revistas e cartas e a limpeza das ruas são alguns dos inúmeros exemplos de serviços cujo planejamento conduz a problemas deste tipo. O objetivo é sempre otimizar a distribuição, seja pela redução do preço ou do prazo de entrega.

Este artigo apresenta uma heurística para realizar, por computador, o trabalho de planejamento de distribuição de jornais aos assinantes, em substituição ao trabalho que é feito, normalmente, de forma manual pelo departamento responsável da empresa jornalística.

2. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

De uma forma geral o problema de roteamento de veículos pode ser enunciado da seguinte forma:

Seja uma rede G=[N,A,C] , onde N é o conjunto de nós, A é o conjunto de arcos e $C=[c_{ij}]$ é a matriz de custos ou seja, c_{ij} representa o custo ou a distância de locomoção entres os nós *i* e *j*. A cada elemento da matriz de custos está associada, biunivocamente, um arcos do conjunto A. Seja M uma frota de veículos que devem servir os nós ou arcos de G. A solução do problema consiste em construir um conjunto de rotas viáveis, de menor custo, uma para cada veículo. Uma rota é uma seqüência de localidades que o veículo deve visitar com a indicação do serviço a ser prestado em cada localidade. Este problema é primariamente de natureza espacial. Quando os movimentos dos veículos devem levar em conta tanto o espaço quanto o tempo, diz-se que o problema é de programação de veículos.

3. TIPOS DE PROBLEMA DE ROTEAMENTO

Esta seção define o problema básico de roteamento de veículos e desenvolve uma revisão dos problemas deste tipo e os respectivos algoritmos usados para resolvê-los, baseado na classificação apresentada em Bodin *et al.* (1981).

O problema mais simples de roteamento de veículos envolve um depósito e um veículo e é conhecido na literatura como problema do caixeiro viajante ou *Traveling Salesman Problem (TSP)* e requer a determinação de um ciclo hamiltoniano em G de custo total mínimo (um ciclo hamiltoniano é um ciclo passando por cada nó $i \in N$ exatamente uma vez). Se o custo é simétrico, isto é, se o custo de deslocamento entre dois nós é o mesmo, independente da direção, diz-se que o problema do caixeiro viajante é simétrico. Caso contrário se diz que o problema é assimétrico (Ghiani et al, 2004).

Karp (1972) mostrou que o TSP é NP-completo, ou seja, é improvável que exista um algoritmo exato de ordem de complexidade polinomial para resolvê-lo. Com efeito, os primeiros algoritmos para solução do TSP, como Crowder e Padberg (1980), Held e Karp (1970) e Miliotis (1976), encontraram problemas de capacidade de armazenamento e de velocidade de processamento para resolver instâncias com mais de cem nós. Devido a esta dificuldade, muitas das soluções para este problema foram desenvolvidas baseadas em heurísticas. Mais recentemente, algumas técnicas de relaxação tem auxiliado na soluão combinando programação matemática e heurísticas avançadas. Segundo Ghiani et al (2004), uma relaxação, na busca de um bom limite inferior é obtida, removendo restrições de integralidade das variáveis.

Segundo Bodin, Golden e Assad (1981), os métodos heurísticos se dividem em três grandes grupos: rotinas de construção de caminhos, rotinas de melhoria de caminhos e rotinas compostas. As rotinas de construção de caminhos geram uma solução quase ótima a partir da matriz de distâncias. São exemplo deste tipo de rotina os procedimentos de busca em vizinhança mais próxima, a tradicional heurística de Clarke e Wright (1964) e os procedimentos de inserção. As rotinas de melhoria de caminhos tentam encontrar uma solução próxima da última a partir de uma solução inicial dada. As rotinas compostas definem uma solução inicial utilizando uma rotina de inserção e em seguida procura encontra uma solução melhor usando uma ou mais rotinas de melhoria de soluções.

Os métodos exatos para solução do TSP geralmente se baseiam em procedimentos de relaxação lagrangeana para calcular limites inferiores precisos e em estruturas do tipo *branch and bound* embutidas nestes procedimentos para se obter a solução exata para o problema. Estes métodos são capazes de resolver problemas com algumas poucas centenas de nós em fração de segundos.

O problema tradicional de roteamento de veículos envolve um depósito e vários veículos e é conhecido na literatura como *Vehicle Routing Problem (VRP)*. É dado um conjunto de nós ou arcos a serem servidos por uma frota de veículos. Não há restrições de tempo e nem quanto à ordem em que estas entidades devem ser servidas. O problema consiste em construir uma rota viável e de custo mínimo para cada veículo. O custo está normalmente associado à distância percorrida. Há uma demanda determinística associada a cada nó e cada veículo tem uma capacidade máxima conhecida.

O m-TSP é uma generalização do TSP comum que se consiste em um VRP sem limitação de capacidade (ou seja, a capacidade dos veículos e demanda associada a cada nó não é considerada). Não há restrição quanto ao número de nós que cada veículo deve visitar exceto em alguns casos em que o veículo deve visitar pelo menos um nó.

A versão com demanda estocática é uma variação do VRP tradicional em que a demanda não é constituída de valores conhecidos e sim de uma dada distribuição de probabilidade, como, por exemplo, por uma distribuição de Poisson com média λ_i. O VRP com demandas estocásticas é no mínimo tão difícil de resolver quanto o VRP. A presença de componentes não lineares nas restrições ou na função objetivo em decorrência da demanda probabilística, pode, de fato, introduzir um grau de dificuldade considerável ao problema. Devido a isto, apenas métodos heurísticos são utilizados para resolver este problema e há disponível poucos estudos na literatura que tratam deste problema.

As estratégias de solução mais comuns para este problema podem ser classificadas como

1. Reunir em *clusters* primeiro e definir rotas depois: Nesta estratégia, primeiramente os nós são agrupados em conjuntos chamados de *clusters*, de acordo com a demanda e depois, em um segundo passo, são definidas as rotas mais econômicas para cada *cluster*. Estes métodos apresentam dificuldades no tratamento de veículos de capacidades diferentes.

2. Definir rotas primeiro e reunir em *clusters* depois: Esta estratégia desenvolve a solução na ordem inversa. Primeiro, uma rota única (geralmente inviável) é construído de modo a incluir todos os nós e arcos do problema. Em seguida, esta rota inicial completa é dividida em rotas menores, porém viáveis. Em Bodin, Golden e Assad (1981) há citações de referência ao uso desta estratégia para solução de problemas de roteamento de ônibus escolares para uma escola (i.e. um depósito) e para roteamento de limpadores de ruas.

3. Inserção ou redução de custos: Esta estratégia constrói uma solução em que, a cada passo do procedimento, é feita uma comparação com a solução obtida no passo anterior, procurando inserir nós de forma a reduzir o custo total da solução. As soluções parciais, ou até mesmo a solução final não tem o compromisso de serem viáveis. Um exemplo típico deste tipo de estratégia é o algoritmo apresentado e denominado *saving algorithm* por Clarke e Wright (1964) é um procedimento em que, a cada passo, um conjunto de rotas é substituído por um conjunto melhor, baseado em uma lista construída inicialmente em que a capacidade de redução de espaço percorrido é classificada em ordem decrescente para o conjunto de nós dados.

4. Melhoria ou troca: São métodos que partem de uma solução viável e procuram outra solução viável, mas com melhores valores para a função objetivo. Isto é, uma solução viável conduz a uma outra solução viável com custo reduzido e assim por diante, até que não seja mais possível gerar uma nova solução viável com custo menor do que a última obtida. Em Bodin, Golden e Assad (1981) há uma citação de um caso de uso desta abordagem para solução de um problema de programação de rota para microônibus que atendem a requisição de transporte de pessoas entre duas localidades.

5. Baseadas em programação matemática: Esta estratégia utiliza-se de algoritmos que se baseiam na modelagem do problema como um problema de programação matemática. Em Bodin, Golden e Assad (1981) é citado um exemplo de estudo desenvolvido por Fisher e Jaikumar que se configura como um excelente exemplo do uso desta técnica.

6. Otimização interativa: Trata-se de uma abordagem de propósito geral em que há interação humana no mecanismo de solução do problema através da definição de parâmetros e inclusão de decisões subjetivas feitas por profissionais experientes na tomada de decisão no modelo de otimização. Esta classe de algoritmo tem a vantagem da simplicidade conjugada com a eficiência, porém, em casos mais complexos, o processo fica exposto ao risco de falha humana.

7. Procedimentos exatos: Este grupo inclui procedimentos especializados de *branch and bound*, programação dinâmica e algoritmos de *cutting planes*.

O algoritmo de varredura se mostrou eficiente para resolver problemas com até 250 nós. A solução é desenvolvida em duas fases e se baseia em coordenadas polares dos pontos . Na primeira fase os nós são associados a veículos e na segunda fase é definida a ordem em que cada veículo deve visitar os nós associados a ele.

A generalização do VRP é o caso em que existem vários depósitos e vários veículos envolvidos. Neste problema, a frota de veículos deve atender a partir de vários depósitos ao invés de apenas um. Todas as demais restrições do VRP típico se aplicam e, além disso, o veículo deve retornar ao mesmo depósito de onde saiu. Segundo Bodin, Golden e Assad (1981), pequenas alterações na formulação baseada em programação inteira do caso com um depósito podem ser feitas para permitir a modelagem deste caso mais genérico

4. MODELAGEM E ESTRATÉGIA DE SOLUÇÃO

É dado um mapa de uma região geográfica, a qual deverá ser dividida em quadras, onde devem ser entregues jornais. O problema consiste, em última análise, em definir o melhor roteiro para o entregador. Para isso, é necessário reunir as quadras em conjuntos que serão servidos por um entregador, definir os pontos, na rua principal, onde este entregador deverá receber os jornais de um veículo de grande porte que os transporta desde um centro de distribuição até os pontos de entrega aos entregadores de jornal. Também é necessário definir a melhor rota para o veículo de grande porte, dado os pontos de parada do mesmo que são chamados de pontos de caída. Trata-se, portanto, de vários problemas de roteamento e de programação integrados.

A modelagem do problema foi feita através de sua decomposição em quatro sub-problemas que devem ser resolvidos sequencialmente de modo a otimizar o processo completo de distribuição de jornais.

Na primeira fase, as quadras de uma região são agrupadas em conjuntos chamados de clusters que correspondem a regiões que serão atendidas por um único entregador.

Na segunda fase é determinada a localização ótima para os *pontos de caída*, que são as localidades onde um veículo de grande porte deverá deixar pacotes de jornais a serem distribuídos aos entregadores.

Na terceira fase é definido um circuito de Euler que representa o roteiro do entregador, considerando que cada entregador atenderá uma região previamente definida na primeira fase.

Na última fase, é utilizada uma heurística para solucionar o problema de encontrar a melhor rota para o veículo de grande porte que deve visitar todos os pontos de caída.

4.1. Formação de grupos de quadras (Clusters)

Para a formação dos grupos de quadra, ou *clusters*, é necessário levar em conta duas variáveis, associadas às quadras que serão visitadas pelos entregadores de jornal. A primeira variável é a demanda de jornais em cada quadra, expressa pelo número de jornais a serem entregues, a qual está relacionada à capacidade de transporte de cada entregador. A segunda variável é o tempo necessário para a entrega dos jornais de cada quadra, uma vez que existe um horário limite para que os jornais cheguem ao assinante. Tem-se, então duas restrições, ser relacionadas a capacidade em peso que pode ser carregado por cada entregador e ao tempo disponível para o entregador realizar a entrega de jornais.

Na formação dos *clusters* considera-se que nenhum entregador poderá atravessar uma rua principal durante a entrega, ou seja, os *clusters* só deverão conter quadras que se situem de um mesmo lado em relação a qualquer rua principal. Esta restrição se deve ao fato de que, como o tempo para atravessar uma rua principal é relativamente grande, qualquer travessia deste tipo geraria uma redução significativa no tempo disponível para entrega dos jornais pelo entregador.

A modelagem do ambiente, neste caso é feita considerando uma rede agregada, que representa as quadras como nós e as travessias das esquinas como arcos bidirecionais, conforme ilustrado na figura 2.

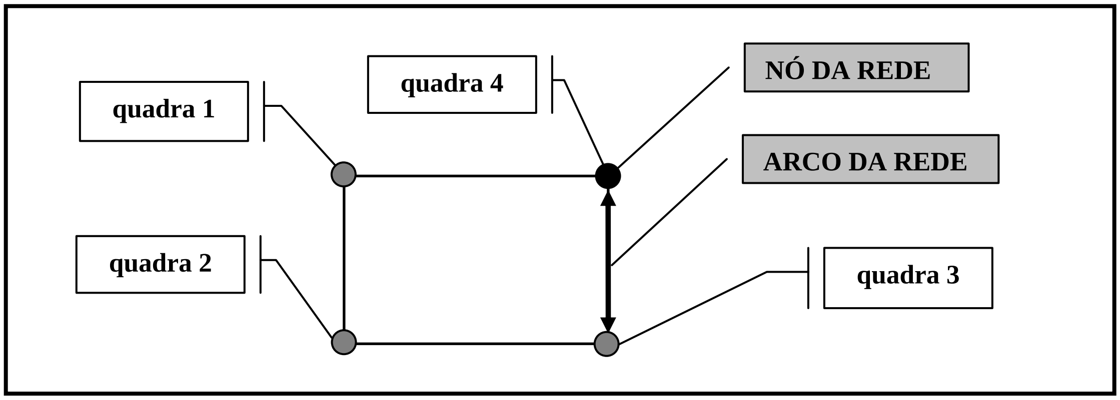

Figura 1: Representação das quadras em rede para a formação dos *clusters*

O algoritmo para determinar os *clusters* parte de um nó inicial qualquer que corresponde a uma quadra à qual estão associados valores de demanda de jornais e tempo de entrega. São dados valores das restrições do tempo disponível e da capacidade de entrega, que são os mesmos para todo entregador.

Os valores de demanda e tempo de estimado de entrega associados ao nó escolhido são comparados com os valores de tempo e capacidade e se satisfeitas as restrições, o tempo e a demanda referentes à quadra que está sendo analisada são subtraídos dos valores correspondentes, referentes à restrição. Trata-se portanto, de um algoritmo guloso de agrupação de quadras em clusters.

O processo continua, analisando nós adjacentes e atualizando os valores de demanda e tempo disponíveis até que não seja mais possível conectar mais nenhum nó ao *cluster* atual. Neste momento é iniciada a formação de um novo *cluster* e o processo maior de geração de *clusters* prossegue até a cobertura de todas as quadras pertencentes à região analisada.

4.2. Criação de um circuito de Euler em um conjunto de quadras

Depois de definidos os conjuntos de quadras ou *clusters* de uma região geográfica onde devem ser entregues os jornais, o próximo passo é definir o roteiro ótimo para o entregador.

A rede utilizada para representar este problema considera agora os nós como sendo cada esquina e os arcos como sendo as calçadas de cada quadra. Assim sendo, cada quadra possui quatro nós e quatro arcos. A figura 1 abaixo mostra a representação de uma quadra, indicando um nó e um arco de quadra.

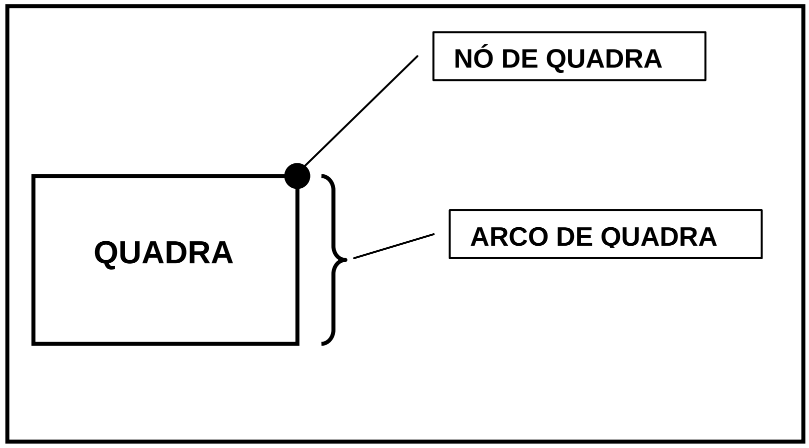

Figura 2: Representação dos nós e arcos de quadra

Note-se que um nó de quadra tem sempre grau dois. Isto garante a aplicação de um circuito de Euler.

As quadras que compõe um *cluster*, interligam-se duas a duas, através de arcos situados em uma esquina das quadras. Na representação da rede, estes arcos são chamados arcos de ligação, ou passagem. Os nós de cada quadra sobre os quais incidem os arcos de passagem são denominados nós de ligação. A figura 3 mostra como são definidos os nós e os arcos de ligação para um conjunto de quadras. Nota-se que um nó de ligação possui grau par maior que dois.

O algoritmo usado para a solução deste problema é uma versão do algoritmo de Euler modificado. Inicialmente são selecionados arcos que ligação que garantem as propriedades de utilização do algoritmo de Euler comum. Parte-se então de uma quadra de origem e varrem-se as quadras adjacentes ainda não ligadas. A partir daí, toma-se uma das quadras já ligadas e repete-se o procedimento até a exaustão das quadras.

A esquina da quadra de partida corresponde ao ponto inicial do percurso do entregador. Supostamente, este ponto localiza-se em uma via principal, por onde passa um veículo que deixa o conjunto de jornais do entregador. No entanto, o caminhão de entrega não vai deixar o conjunto de jornais em cada ponto inicial de cada entregador, pois isto obrigaria a um número muito grande de paradas consecutivas. Logo é necessário definir em que pontos o veículo vai deixar um conjunto de jornais para um grupo de entregadores. Este problema é tratado na seção seguinte.

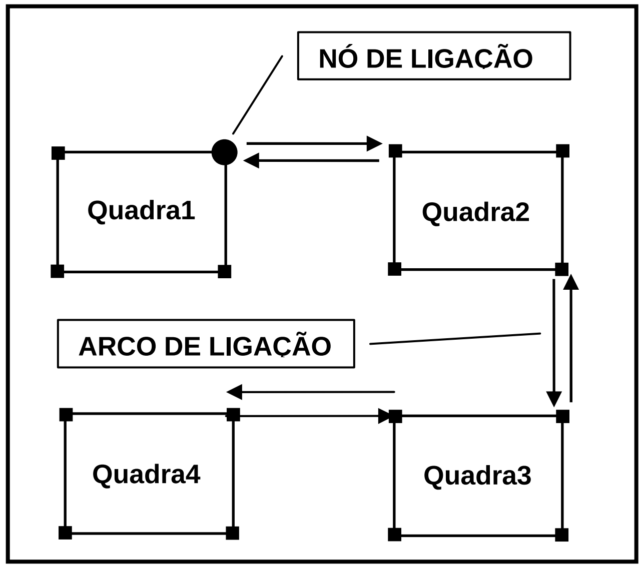

Figura 3: Representação dos nós e arcos de quadra

4.3. Localização dos pontos de caída

Os pontos de caída são aqueles em que os jornais são deixados para os entregadores de cada *cluster* e devem ser localizados nas ruas principais, as quais são percorridas por veículos de médio porte, responsáveis pela coleta dos jornais em um ponto central de distribuição e entrega nos diversos pontos de caída.

Para a solução do problema de localização dos pontos de caída, utiliza-se, como base, uma heurística que tem sua concepção original aplicada a paradas de ônibus. O princípio básico é que se tem uma linha de distribuição fixa, que é a rua principal, e sobre esta linha identificam-se pontos de demanda, os quais estão associados, biunivocamente, a *clusters*. A associação de cada ponto de demanda ao seu *cluster* correspondente se dá através do nó de quadra mais próximo, localizado na rua principal. Assume-se, portanto, que o entregador pode se deslocar ao longo da rua principal até o seu ponto de caída correspondente. Este procedimento é detalhado a seguir.

São dados: uma rota linear fixa; a posição de alguns pontos fixos, operacionalmente importantes e alguns pontos de demanda, j, com seus valores, Dem(j) de volume, que corresponde ao total de jornais de um entregador e sua posição quilométrica Posdem(j), que corresponde ao ponto inicial da rota do entregador. Na aplicação de entrega de jornais, supõe-se apenas como fixos, os pontos de partida e chegada do veículo de entrega. São dados também limites máximo, (mi) e mínimo (lambda) de distância entre as paradas. O passageiro, e, no caso, o entregador deve se deslocar entre o seu ponto de demanda e o ponto de parada. O Problema a resolver consiste em encontrar a posição dos pontos de parada, de forma a minimizar o trabalho total de deslocamento, ao longo da via principal, dos pontos de demanda aos pontos de parada.

A rota é representada por um sistema de coordenadas unidimensional, que, no caso de ônibus, pode ser dividida em segmentos. O procedimento original trata de fazer uma otimização local em cada segmento. Como observado, nesta aplicação tem-se apenas um segmento. Define-se:

lseg : comprimento do segmento; np : número de pontos de paradas. Este valor deve respeitar a restrição: npmin ≤ np ≤ npmax, onde npmin é o número mínimo de paradas dado por: npmin = int(lseg/mi) e npmax o número máximo de paradas, dado por: npmax = int(lseg/lamb) -1. Nestas últimas relações, int(x) significa a parte inteira do número x.

O Procedimento varia sistematicamente o número de paradas entre npmin e npmax e seleciona o valor que minimiza o trabalho total de deslocamento. Define-se um índice k que indica uma parada na posição P(k). Dado np, define-se dp, distância média entre pontos de parada.

$$dp = lseg / (np +1) \qquad (1)$$

Então, a posição tentativa de cada parada no segmento será:

P(k) = P(0) + dp*k ; k=1,...,np, sendo P(0) a posição de início do percurso.

Para cada parada se define uma área de influência, como mostrado na figura 4. Esta área está delimitada pelos pontos p1 e p2, situados no ponto médio entre duas paradas consecutivas, antes e após a parada k.

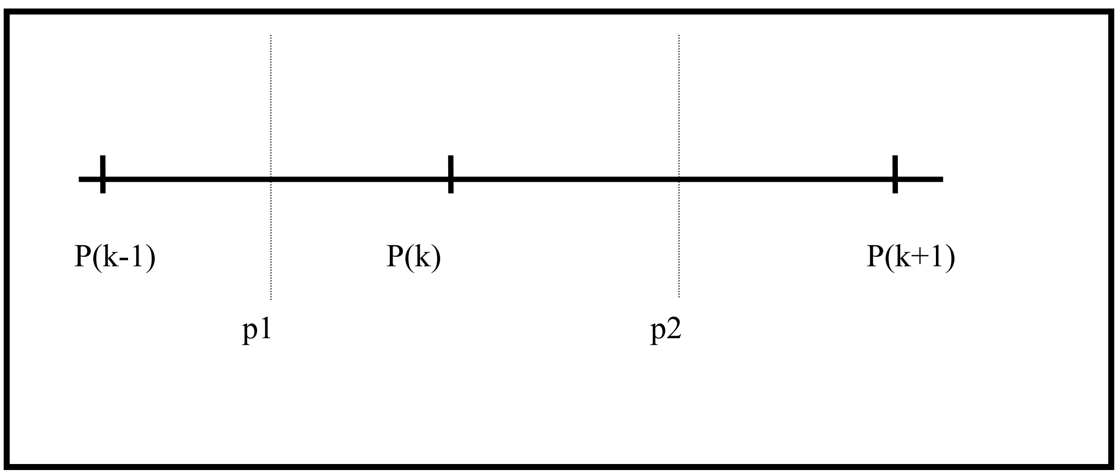

Figura 4: Área de influência de cada parada.

$$p1 =((P(k) + P(k-1)) \ /2 \qquad (2)$$

$$p2 = ((P(k) + P(k+1)) /2 \qquad (3)$$

Por outro lado, uma vez definido um ponto de parada k-1, a localização do próximo ponto deverá respeitar os limites p´1 e p´2, dados por : p’1 = P(k-1) + lamb e p’2 = P(k-1) + mi

Definida uma área de influência de uma parada, pode-se identificar os *ndem* pontos de demanda, que caem dentro desta área de influência S. Então pode-se localizar o ponto de parada, que minimiza, localmente, o trabalho de deslocamento. Este é dado por uma função objetivo:

$$F_k = \sum_{j \in S} Dem(j) * \left| Posdem(j) - P(k) \right| \qquad (4)$$

Para esta função busca-se a posição de k que minimiza F_k. Trata-se de uma função contínua por partes. No ponto mais à esquerda do segmento a derivada desta função é negativa, no ponto mais à direita, positiva. Busca-se a posição em que a derivada torna-se não negativa. A derivada, na região à esquerda do primeiro ponto de demanda, é igual a:

$$Dif = \sum_{j=1}^{ndem} Dem(j) \quad . \qquad (5)$$

O procedimento a seguir encontra a posição quilométrica Pos* da parada que minimiza a função objetivo, dentro da área de influência S.

$i = 0$

Enquanto Dif < 0 faça :

Início:

i = i+1

Dif ← Dif + 2* Dem(i)

FIM enquanto

Pos* = Pos(i)

Para uma configuração com np paradas, a função objetivo assume o valor de:

$$F_{np} = \sum_{k=1}^{np} F_k \qquad (6)$$

A configuração ótima é aquela que minimiza F_{np}, para todos os valores de np.

Em resumo, para cada valor do número de paradas, entre *npmin* e *npmax*, o procedimento parte do ponto inicial e verifica a área de influência da primeira parada, referente à parada tentativa seguinte. Aplicada a otimização local, a primeira parada é fixada e a localização da segunda parada é otimizada. O procedimento prossegue até a última parada e é calculada a soma das funções objetivo locais, F_{np}. Este valor vai ser comparado com os valores obtidos para cada variação do número de paradas. A configuração que minimiza o valor total da função objetivo é a escolhida.

4.4. Determinação da melhor rota para o veículo

Depois de definidos as localizações das paradas, ou pontos de caída, resta definir a melhor rota para o veículo que faz a entrega dos jornais nos pontos de caída. Neste problema são consideradas duas restrições. A primeira se refere ao tempo de entrega dos jornais aos entregadores, já que há uma limitação definida pelo tempo de entrega dos jornais aos assinantes. A segunda restrição se refere à capacidade de carga do veículo.

Utilizou-se para a solução deste problema a versão clássica do algoritmo Clarke and Wright, a qual se baseia no cálculo de ganhos e construção gradativa do roteiro do veículo.

5. APLICAÇÃO DO MODELO

Os dados para o estudo de caso de aplicação do modelo forma obtidos do Departamento de Projetos Especiais do Jornal do Brasil e referem-se à distribuição de jornais no bairro do Leme, situado na Zona Sul da Cidade do Rio de Janeiro. Este bairro possui quadras incompletas advindas do fato de estar localizado entre o mar e uma cadeia de montanhas. Esta peculiaridade geográfica resultou na necessidade de criação de arcos fictícios para viabilizar a aplicação do roteiro de Euler. Este artifício difere do usado na implementação do roteiro de Euler normal pois aqui se trata de complementar uma quadra e não de unir nós de grau ímpar para torná-los de grau par, de modo que o grafo passe a ter somente nós de grau par.

O bairro do Leme possui uma demanda de 703 jornais e um tempo de entrega total é de 312,8 minutos.

Os seguintes conjuntos de dados foram utilizados para mapear o problema:

- Arquivo “clus.dad”, utilizado para a formação dos *clusters,* mapeia os elementos da figura 2 e contém o número de nós de esquina (11 quadras), o número de arcos de ligação (44 arcos de quadra), as demandas de cada um dos nós, o tempo de percurso necessário para cada um dos nós e uma lista de ponteiros que indica a origem e o destino de cada arco. Os dados de saída desta fase são o número de quadras, o número de arcos de ligação e o total de arcos de cada *cluster*.

- Arquivo “redeo.dad” que detalha a rede, mapeando os elementos da figura 3, é usado para definição do roteiro ótimo para o entregador. Neste arquivo é informado o número de nós da rede, o número de arcos de quadra e de ligação, o número de nós que pertence a cada quadra e um ponteiro que indica a posição e o nó de destino para cada arco. Como dados de saída é fornecida uma seqüência de nós que determina a ordem em que deverão ser visitados os pontos de entrega no roteiro do entregador.

Embora tenham sido definidos métodos para as quatro fases de resolução do problema, a definição dos pontos de caída e da melhor rota para os veículos de grande porte não foram desenvolvidas no estudo de caso prático.

6. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi tratado o problema de distribuição de jornais a assinantes, considerando desde a definição do roteiro e dos pontos de caída para os veículos que recolhem os jornais dos centros de distribuição e os entrega aos entregadores até a definição de conjuntos de quadras a serem associados a cada entregador e o próprio roteiro de cada entregador.

O estudo de caso tratou dos dois problemas ligados ao entregador, deixando os dois problemas ligados aos veículos de distribuição para estudos futuros.

O estudo de caso, utilizando dados reais referentes à distribuições de um jornal em um bairro do município do Rio de Janeiro demonstrou que os dois algoritmos propostos, um para definição de *cluster* e o outro para definição de rotas para entregadores, são aplicáveis ao caso real de distribuição de jornais produzem os resultados esperados.

Ainda na linha de sugestões para pesquisas futuras, a primeira idéia está no desenvolvimento de um procedimento integrado contendo todas as heurísticas propostas desde a formação de *cluster* até a definição da rota a ser traçada pelo veículo de grande porte que distribui os jornais aos entregadores. A segunda sugestão se refere aos dados de entrada. A idéia é definir uma base de dados única, de preferência utilizando-se de coordenadas integradas a um sistema de informações geográficas, que facilitaria muito a entrada de dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bodin, L. D.; Golden, B.L. e Assad, A. A. (1981) Roting and Scheduling of Vehicles and Crews. *Computers and Operation research,* v. 10, n 2, p. 63-211

Marquetti, M. C. e Leal, J. E. (1994) Uma Heurística para solução do problema da distribuição de Jornais para Assinantes, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Karp, R. (1972) Reducibility among combinatorial problems. *Complexity of Computer Compulations.* Editado por R. Miller e I. Thatcher, p. 85-104, Plenum Press, New York

Crowder, H. e Padberg, M. (1980) Solving large-scale symmetric traveling salesman problems to optimality. Management Science, v. 26, n. 5, p. 495-509

Held, M. e Karp, R. (1970) The traveling salesman problem and minimum spanning trees. *Operations Research,* v. l7, p. 1138-1162

Miliotis, P. (1976). Integer programming approaches to the traveling salesman problem. *Mathematical Programming*, v. 10, p. 367-378

Clarke, G e Wright J. W. (1964) Scheduling Vehicle from a Central Depot to a number of Delivery Points. *Operations Research*, v. 12, n.4, p. 568-581

Ghiani, G.; Laporte, G.; Musmano, R. (2004). Introduction to logistics systems planning and control. John Wiley & Sons. West Sussex, England.