

Aplicação de p-medianas para atendimento aos colégios estaduais por viaturas do Batalhão de Patrulha Escolar

Reginaldo Santa Rosa (UFPR) reginaldo_00@hotmail.com
Arinei Carlos Lindbeck da Silva (UFPR) arineicls@gmail.com
Flávia Konowalenko (UFPR) flavia.konowalenko@hotmail.com
Paula Francis Benevides (UTFP) paula_benevides@hotmail.com

Resumo:

O objetivo deste trabalho é otimizar a atual distribuição dos colégios estaduais atendidos pelas equipes/viaturas do Batalhão de Patrulha Escolar Comunitária (BPEC) no município de Curitiba/PR. A metodologia adotada neste trabalho é a utilização da Programação Linear Inteira Binária e o Algoritmo de Teitz e Bart, implementados em uma ferramenta que possibilita uma solução ótima e heurística para o problema, a partir do conhecimento das coordenadas dos colégios, associados às técnicas de resolução do problema das p-medianas, como nova proposta de designação, reagrupando os setores de forma que fique distribuída uniformemente a quantidade de colégios por viatura.

Palavras chaves: Problema das p-medianas, Roteamento de Veículos, Programação Linear Inteira Binária, Colégios.

Application of p-median schools to serve the state by car Battalion Patrol School

Abstract

The objective of this study is to optimize the current distribution of state schools attended by teams / cars Battalion Patrol School Community in the city of Curitiba/ PR. The methodology adopted in this work is the use of binary integer linear programming algorithm and Teitz and Bart, implemented in a tool that enables an optimal solution to the problem and heuristics, from the knowledge of the coordinates of the schools associated with the resolution of the techniques p-median problem as a new proposal for the appointment by regrouping sectors so that it is evenly distributed the number of schools per vehicle.

Words: p -median Problem, Vehicle Routing, Binary Integer Linear Programming, Schools.

1. Introdução

A rede de ensino pública estadual no município de Curitiba, no ano de 2010, contava com mais de 193.000 alunos matriculados, distribuídos entre o ensino fundamental e médio, atendidos por 165 estabelecimentos de ensino.

Toda essa concentração de alunos, juntamente com aspectos sociais, desigualdades econômicas e socioculturais acabam gerando em muitos casos um clima de tensão na comunidade escolar, ocasionando conflitos entre discentes e docentes. Aglomerações em torno dos colégios de pessoas que utilizam o grande fluxo de alunos circulantes para realizar

delitos, seja a venda de substâncias entorpecentes ilícitas, brigas, etc. agravam o problema da segurança no âmbito escolar.

Devido às particularidades do público que o meio escolar envolve, em sua grande maioria crianças e adolescentes, existe a necessidade de um tratamento diferenciado quando se pretende passar a sensação de segurança para os envolvidos neste contexto. Diante disto, no ano de 1994 surgiu no Paraná a primeira modalidade de policiamento tentando minimizar o problema de violência nas escolas, chamado de “Patrulha Escolar”, que era realizado por uma dupla de policiais militares femininas, as quais desenvolviam suas atividades através de patrulhamento motorizado e de permanência em locais de maior potencial de risco, completando suas atividades com visitas programadas aos estabelecimentos de ensino da capital, tendo a finalidade de ampliar a sensação de segurança e proteção às crianças e adolescentes que frequentavam as escolas.

No ano de 2008 foi criado o Batalhão de Patrulha Escolar Comunitária - BPEC, com sede em Curitiba/PR. Em complemento às atividades desenvolvidas pelos policiais do Batalhão de Patrulha Escolar são desempenhadas outras atividades como: interação com a comunidade e autoridades locais; aconselhamento aos alunos; mediação na resolução de conflitos; busca pessoal (preventiva e por fundada suspeita); operações externas às escolas; palestras interativas; busca coletiva com autorização judicial, etc.

2. Descrição do problema real

Até o ano de 2010 o BPEC estava presente em 90 municípios do Paraná de forma exclusiva. Nos municípios que não possuem efetivos do BPEC, as chamadas para atendimento de ocorrência no âmbito escolar são encaminhadas diretamente para as Rádios Patrulhas do batalhão responsável pelo município.

O Batalhão de Patrulha Escolar Comunitária está estruturado em quatro companhias. Os colégios da região de Curitiba são atendidos pelas viaturas pertencentes o 1º e 2º Pelotões da 1ª Companhia de Polícia Militar do BPEC (1ª Cia.PM/BPEC). Cada viatura do BPEC pode ser composta por um ou dois policiais que trabalham diariamente de segunda a sexta-feira. O primeiro turno tem início às 07h00min. até as 15h00min. e o segundo turno tem início às 15h00min. até às 23h00min.

O presente estudo tem foco na avaliação da atual distribuição das Rádios Patrulhas (RPA) pertencentes ao 1º e 2º pelotões da 1ª Cia.PM do Batalhão de Patrulha Escolar Comunitária (BPEC), que são responsáveis pelo atendimento dos chamados de ocorrência e a realização do patrulhamento preventivo nos estabelecimentos de ensino da rede pública estadual no município de Curitiba/PR. Pretende-se verificar se os colégios atendidos pelas viaturas estão bem designados, ou seja, se a distância percorrida por uma viatura para realizar as visitas diárias está otimizada, utilizando para isso a implementação de um algoritmo exato e um heurístico, pretendendo assim tornar o mais próximo e rápido possível o deslocamento de uma viatura para um colégio.

Desenvolveu-se aplicativo para auxiliar nas possíveis novas distribuições quando estiverem disponíveis mais equipes de serviço/viaturas, bem como se for necessário temporariamente diminuir o número de viaturas disponíveis para o patrulhamento, possibilitando de forma dinâmica redistribuir os colégios que cada viatura deverá atender, auxiliando diariamente nas decisões dos responsáveis por determinar qual o conjunto de escolas que cada viatura deve atender.

Realizou-se o roteamento das viaturas, a fim de estabelecer, além de um critério para comparação da eficiência do modelo proposto em vista do atual, uma solução boa para a realização do trajeto a ser feito pelos patrulheiros escolares nas visitas aos estabelecimentos

de ensino quando não estiverem em atendimento de ocorrência, diminuindo o tempo do deslocamento entre uma escola e outra, conseqüentemente podendo aumentar o número de colégios visitados diariamente. Foram designadas as equipes de serviço de maneira homogênea aos estabelecimentos de ensino, possibilitando um número igual de colégios para cada viatura de serviço do BPEC disponível ao dia, evitando desta forma sobrecarregar uma equipe de serviço.

3. Revisão da Literatura

Os problemas de Localização de Facilidades são uma classe de problemas dentro da Otimização Combinatória. Na literatura, problemas de localização são tratados pela teoria dos grafos. Estes problemas são conhecidos como problema dos centros e problemas das medianas. Nos dois casos, o objetivo é a localização de facilidades ao longo de uma rede viária definida por um grafo. De acordo com o objetivo desta localização, caracteriza-se o problema como sendo um problema de localização de centros ou de medianas.

As facilidades podem estar localizadas em um vértice e/ou sobre uma aresta. Minieka (1977) distingue dois problemas de achar medianas: se as p facilidades devem estar localizadas nos vértices, estas são chamadas de medianas, e temos um problema de p -medianas. Se as facilidades podem ser encontradas além do vértice também nas arestas, temos um problema de p -medianas absoluto.

Em 1963 Leon Cooper publicou um trabalho para resolver problemas de alocação e locação, onde apresentava um método exato e outra heurística para solucionar o problema. O algoritmo exato, quando comparado às situações que envolviam grandes números de dados, já não era viável o tempo de sua execução. Desta forma, Cooper indica qual caminho deveria se adotar a fim de pesquisar métodos que diminuíssem a quantidade de cálculos envolvidos.

As primeiras formulações do problema das p -medianas foram apresentadas por Hakmi (1964), que demonstrou a solução para o problema. Foi demonstrado que existe no mínimo um conjunto $V_p \subset V(G(V,A))$, onde $G(V,A)$ é um grafo não orientado e V é o conjunto dos vértices do grafo e A é um conjunto de arestas. V_p contém p vértices do grafo que geram para o problema o menor valor possível ou que seja igual a solução produzida por qualquer outro conjunto de X_p de vértices localizados nos arcos ou vértices do grafo G .

Teitz e Bart (1968) apresentaram um método aproximado para encontrar a mediana de um grafo ponderado. Método este que apresentou bom resultado a época com a troca de vértices partindo de uma solução aleatória inicial, que será abordado na sequência neste trabalho.

Sampaio (1999) utilizou de metaheurística para o problema de localização de escolas do ensino fundamental no município de Curitiba. No trabalho elabora-se um plano com intenção de aperfeiçoar a rede escolar, analisando a expansão, retração ou criação de novas escolas em uma determinada região do município, visando desta forma minimizar o caminho percorrido pelos alunos desde suas residências até a escola mais próxima. Foram abordadas técnicas de Algoritmo Genético e *Simulated Annealing* para o problema das p -medianas.

Rosário (2002) apresentou proposta de solução utilizando o problema das p -medianas para a localização de unidades de saúde 24 horas no município de Curitiba/PR. Foi feita a distribuição espacial das unidades de saúde 24 horas com o objetivo de minimizar a distância média do deslocamento dos usuários, desde suas residências até a unidade de saúde mais próxima. Foram abordados os Algoritmos Genéticos, o algoritmo as p -medianas de Teitz e Bart e o Diagrama de Voronoi, sendo este utilizado após achar onde deveriam ser implantadas as p -medianas, qual a área da população que deveria deslocar para cada unidade de saúde, encontrando em cada ponto do município qual a mediana mais próxima.

Smideele (2001) estudou a distribuição e relocação das unidades de farmácia dentro da área urbana do município de Pato Branco/PR. Utilizando as coordenadas dos pontos das atuais farmácias e aplicando Algoritmo Genético e a heurística de Teitz e Bart aperfeiçoou a menor distância a ser percorrida pelos usuários. O resultado final mostrou que realocando as posições das unidades farmacêuticas, ocorreu um ganho de 81,38% na distância mínima de cada bairro a farmácia mais próxima. E levando em consideração a opção de diminuir o número de unidades das 38 na época do estudo para 25, ocorreu um ganho de 57,86% nesta mesma distância mínima entre bairros e unidades.

4. Metodologia

Com base na escala de serviço de um dia específico, e com os endereços de cada um dos 164 estabelecimentos de ensino (não foi considerado neste estudo o Colégio da Polícia Militar do Paraná, por sua característica militar), estes foram plotados como marcadores no aplicativo *Google Earth Pro*, versão 4.2 (beta). Obtendo desta forma as coordenadas geodésicas (sexagesimais) de cada estabelecimento (FIGURA 1).

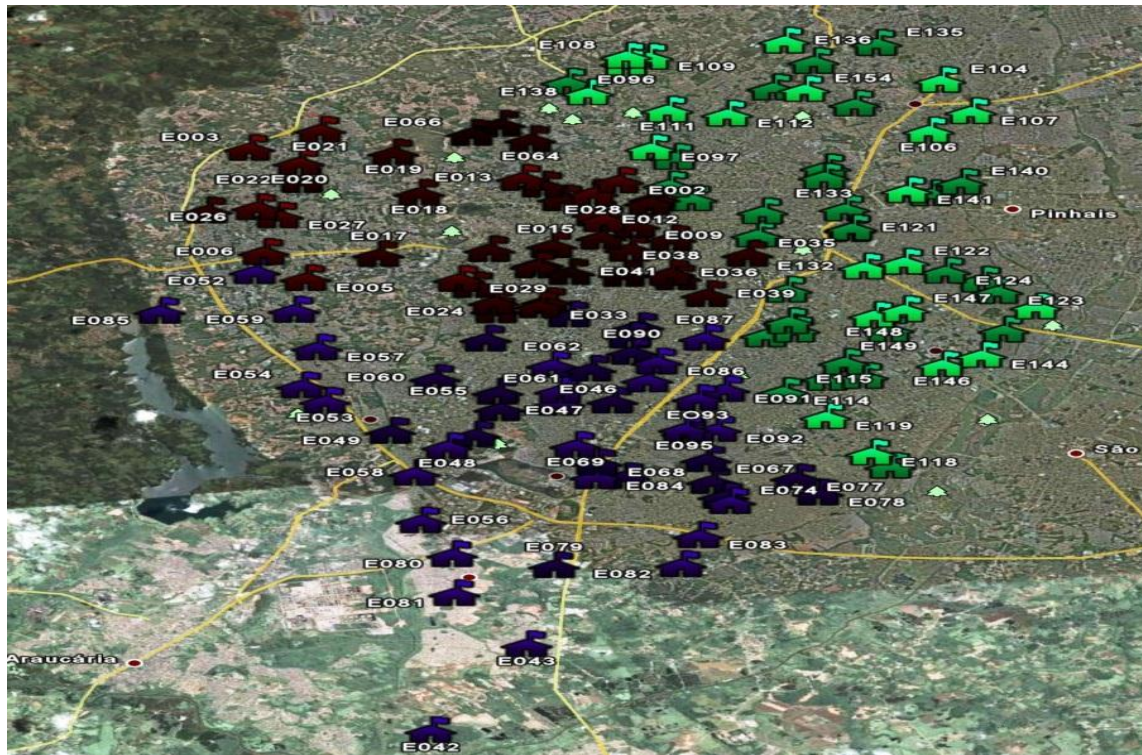


Figura 1 - Colégios Estaduais do município de Curitiba

As coordenadas geodésicas não exprimem a fiel posição de um ponto em um sistema de coordenadas cartesianas, devido as suas posições estarem definidas sobre os arcos de graus que formam as latitudes e longitudes da Terra. Deslocando um grau no globo terrestre, estamos percorrendo aproximadamente 111,13 quilômetros. Desta forma, foi utilizado neste trabalho o aplicativo *TCGeo*, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Estatística (IBGE), mais especificamente pela Coordenação de Geodésia (CGED) no escopo do Projeto Mudança do Referencial Geodésico/Projeto de Infraestrutura Geodésica Nacional (PMRG/PIGN).

O aplicativo permite a entrada dos dados de forma manual ou automática, sendo esta última a indicada para entrada de um número grande de coordenadas, que após a leitura e conversão, gera um arquivo de saída no formato “.txt” com as coordenadas cartesianas (X,Y,Z). De posse destas coordenadas, foi adotada a distância euclidiana para determinar a aproximação entre os colégios.

Foram criadas três modalidades de agrupamento: a **Geral BPEC** que disponibiliza todos os 164 colégios para serem distribuídos sem nenhuma restrição da área de atuação de um pelotão; o **Pelotão BPEC** que designa as viaturas aos colégios conforme a região que estes estão localizados dentro da área territorial do 1º ou 2º pelotão BPEC; e a **UOA** (Unidade Operacional de Área). Esta última refere-se aos colégios que estão dentro da área de atuação de um Batalhão de Polícia Militar responsável pelo patrulhamento ostensivo, rotineiro e preventivo, que no Curitiba é de responsabilidade das unidades não especializadas 12º BPM, 13º BPM e 20º BPM. Este é o critério atualmente adotado pelo batalhão. Por exemplo, existem duas viaturas do BPEC que atuam nos bairros que possuem colégios dentro da responsabilidade do 12º BPM, que é um batalhão não especializado e atende os chamados não pertinentes ao meio escolar.

5. Implementação computacional

Para determinar a solução do problema das *p*-medianas serão aplicados os algoritmos exatos de Programação Linear Inteira Binária (PLIB) e as heurísticas do Algoritmo de Teitz e Bart e o de Gillet e Johnson. Utilizou-se como linguagem de programação o *Microsoft Visual Basic 6.0* para elaborar a uma interface que analisa uma possível solução exata, uma solução heurística, além da atual situação, bem como o uso do *LINGO (Linguagem for Interactive Optimizer)* para solucionar os modelos de PLIB. *LINGO* é um software desenvolvido por *LINDO System's Inc.* utilizado para resolver problemas de otimização envolvendo problemas de Programação Linear, Programação Linear Inteira, Programação Linear Inteira Binária, Programação Não-Linear entre outros. O aplicativo *LINGO* fornece um pacote completamente integrado que inclui uma linguagem para expressar modelos de otimização, um ambiente para a construção e edição de problemas, e um conjunto de solver capaz de resolver a maioria das classes de modelos de otimização.

Desenvolveu-se uma rotina através do *Visual Basic*, que cria um arquivo modelo, com a extensão “.lgn”, e automaticamente é encaminhado para o *LINGO*, que resolve o problema, e em seguida “devolve” a resposta para que o aplicativo principal dê continuidade nas demais etapas.

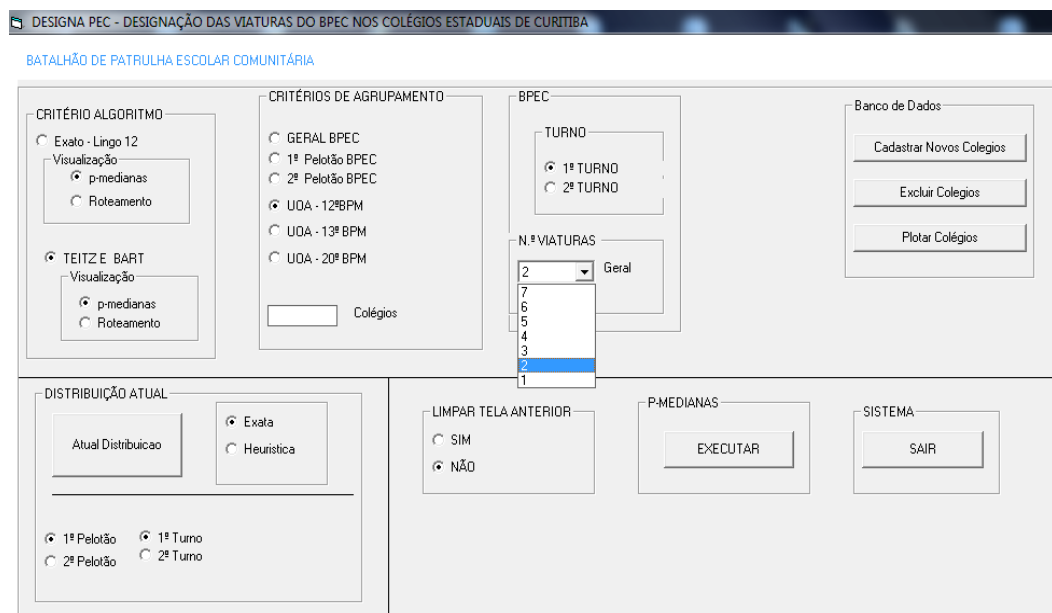


Figura 2 - Interface do “DesignaPEC”

5.1 Problema de Programação Linear Inteira Binária (PLIB)

O problema das p -medianas pode ser formulado como um Problema de Programação Linear Inteira Binária (CHRISTOFIDES, 1975).

Seja $x_{i,j}$ uma matriz de alocação, onde:

$x_{i,j} = 1$, se o vértice x_j é alocado ao vértice x_i .

$x_{i,j} = 0$ se o vértice x_j não é alocado ao vértice x_i .

$x_{i,i} = 1$ indica que o vértice x_i é um vértice mediana e

$x_{i,i} = 0$ caso contrario.

Considere $d_{i,j}$ a matriz de distância ponderadas, isto é, a matriz de distância com cada coluna de j multiplicada pelo peso v_j

Desta forma o problema é formulado como sendo:

$$\text{Mimimizar } F = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{i,j} \cdot x_{i,j}$$

$$\text{Sujeito a } \sum_{i=1}^n x_{i,j} = 1 \quad \text{para } j = 1, \dots, n \quad (5.1.1)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i,i} = p \quad (5.1.2)$$

$$x_{i,j} \leq x_{i,i} \quad \text{para todo } i, j = 1, \dots, n \quad (5.1.3)$$

$$x_{i,j} = 0 \text{ ou } 1 \quad (5.1.4)$$

Restrições:

5.1.1 garante que todo vértice x_j é alocado a um e apenas um vértice-mediana x_i .

5.1.2 garante que existem exatamente p vértices medianas.

5.1.3 garante que as alocações só podem ocorrer em vértices-medianas.

5.1.4 impõem a integralidade, ou seja, $x_{i,j}$ é variável binária, podendo assumir apenas os valores 0 ou 1.

Se o problema for da p -medianas capacitado, então acrescentamos a seguinte restrição:

$$\sum_{j=1}^n q_j \cdot x_{i,j} \leq w_i \cdot x_{i,i} \quad \text{para } i = 1, \dots, n \quad (5.1.5)$$

onde q_j representa o peso de cada variável $x_{i,j}$ e a variável w_i determina a capacidade de cada mediana i , podendo ser a mesma para todas as medianas.

5.2 Algoritmo de Teitz e Bart

Um das heurísticas mais conhecidas para resolver o problema das p -medianas é o algoritmo

de Teitz e Bart (1968). Esta heurística é baseada na substituição de medianas da solução e seu objetivo é, a partir de uma solução inicial, melhorar o valor da função objetivo em cada interação. A implementação computacional dessa heurística não é considerada difícil.

Ressalta-se que o algoritmo de Teitz e Bart apenas indica quais são os vértices que minimiza a soma das distâncias aos demais vértices não escolhidos, porém o algoritmo não indica quais vértices serão atendidos pelas medianas. Para tanto, após a execução do algoritmo de Teitz e Bart e a obtenção de um conjunto solução de medianas, neste trabalho adotou-se o Algoritmo de Gillet e Johnson, detalhado na sequência.

Muitos trabalhos partem de uma solução gerada por uma metaheurística, como Algoritmos Genéticos, Busca Tabu, etc., como solução inicial para o algoritmo Teitz e Bart.

A seguir são descritos os passos necessários para a execução do algoritmo de Teitz e Bart:

PASSO 1:

Através de algum critério estabelecido ou aleatoriamente selecione um conjunto S , com $|S| = p$ para formar uma aproximação inicial para as p -medianas;

PASSO 2

Rotule todos os vértices $V_i \notin S$ como **não avaliados**;

PASSO 3

Enquanto existirem vértices **não avaliados** em $V - S$, faça:

Selecione um vértice $V_i \in V - S$, **não analisado**, e calcule a redução $\Delta_{i,j}$ do Número de transmissão, para todo $v_j \in S$:

$$\Delta_{i,j} = \sigma(S) - \sigma(S \cup \{v_i\} - \{v_j\});$$

Faça $\Delta_{j,0} = \max_{v_i \in S} [\Delta_{i,j}]$;

Se $\Delta_{i,j} > 0$ faça $S \leftarrow (S \cup \{v_i\} - \{v_{j,0}\})$ e rotule $v_{j,0}$ como **analisado**;

PASSO 4

Se, durante a execução do PASSO 3, houver alguma modificação no conjunto S , volte ao PASSO 2, caso contrário, PARE, e apresente o conjunto S com uma aproximação para a solução do problema das p -medianas.

5.3 Algoritmo de Gillet e Johnson

Como já comentado, após achar o conjunto aproximado das p -medianas pelo algoritmo de Teitz e Bart, é necessário designar cada vértice não mediana, para a mediana mais próxima a ele, respeitando quando for o caso, a capacidade de cada mediana.

O método heurístico utilizado para designar os colégios estaduais às viaturas atendidas pelo BPEC é o algoritmo de Gillet e Johnson (1973) com pequenas modificações.

O algoritmo básico de Gillet e Johnson é detalhado a seguir:

PASSO 1:

Para cada vértice i não designado, seja $L_1(i)$ a mediana mais próxima a i e $L_2(i)$ a segunda mediana mais próxima a i .

PASSO 2:

Para cada ponto i , calcule a razão: $r(i) = \frac{L_1(i)}{L_2(i)}$ e todos os vértices são colocados em uma lista

de designação, em ordem crescente pelos valores de $r(i)$. Desta forma a designação começa pelos primeiros elementos da lista, e no caso das p -medianas capacitado, a designação é feita até o momento em que se esgota a capacidade de uma mediana.

PASSO 3

Quando um vértice é designado para uma mediana que já está com sua capacidade esgotada, a razão $r(i)$ é recalculada para todos os vértices ainda não designados, considerando apenas as medianas ainda com capacidade disponível. A designação continua até todos os pontos serem designados.

Corrêa (1999) relata que através do cálculo de $r(i)$, procura-se conhecer a “urgência” [grifo do autor] em fazer a designação de um vértice em relação aos demais, pois quanto menor for o valor de $r(i)$, maior será a urgência, já que a segunda mediana mais próxima fica em posição bem pior em relação ao vértice do que a primeira. Em seu estudo de designar os candidatos aos locais de prova do processo seletivo do vestibular da Universidade Federal do Paraná, propõem que o cálculo seja feito pela diferença ao invés da razão entre o primeiro e segundo locais de prova mais próximos da residência de um candidato. Quando o objetivo for minimizar a soma total das distâncias percorridas o cálculo da diferença será sempre apropriado (CORRÊA, 1999, p. 44-3).

Com base nisto, na designação dos colégios atendidos pelo BPEC em Curitiba utilizou-se a diferença entre a distância da primeira e segunda viatura/mediana mais próxima.

6. Análise dos resultados

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos para cada tipo de agrupamento, além dos resultados da roteirização atual com os algoritmos exato e heurístico. Os resultados para alguns modelos exatos solucionados no aplicativo *LINGO* versão 12.0 foram obtidos com a interrupção do aplicativo após ficar mais de oito horas em execução e não apresentar o ótimo global. Nestes casos foram apresentados como soluções exatas os resultados parciais achados até o momento do cancelamento.

Também, para cada agrupamento, foram simulados separadamente os dois turnos de serviço, visto que na data da escala havia uma diferença no número de equipes disponíveis, sendo que no primeiro turno, 07h00min às 15h00min existiam sete viaturas e no segundo turno, das 15h00min. às 23h00min. eram seis viaturas. Para o processamento dos modelos, utilizou-se um processador Intel® de 1,9 MHz com 2 gigabytes de RAM, e as distâncias apresentadas estão em quilômetros.

6.1 Roteamento da escala atualmente adotada

Não foi possível no presente estudo determinar qual é o roteiro usado nas visitas dos colégios, pois atualmente o deslocamento entre os colégios, dentro de um setor, ocorre de forma aleatória, sendo que cada comandante da equipe (mais graduado ou mais antigo) determina, por experiência própria, ou pela “sensação” de aproximação entre os estabelecimentos, qual a sequência que deverá ser feita nas visitas. Sem contar o fato de poder ocorrer um chamado para atendimento de ocorrência em outro colégio que não seja o da atual “rota”, o que determina o cancelamento temporário da visita a este estabelecimento.

Desta forma, para critério de comparação da eficiência dos algoritmos propostos em relação a atual distribuição, foi feito o levantamento de quais colégios cada viatura atende atualmente, de acordo com setor previsto na escala, e na sequência realizado a roteirização com o algoritmo exato de Programação Linear Inteira Binária e o algoritmo do vizinho mais próximo com a melhoria de rota 2-opt. (Tabela 1).

Algoritmo	Método	Situação atual	Nova proposta
Heurística	P-medianas	Escala de serviço	Algoritmo de Teitz e Bart Algoritmo de Gillet e Johnson
	Roteamento	Vizinho mais próximo Substituição 2-opt	Vizinho mais próximo Substituição 2-opt
Exatos	P-medianas	Escala de serviço	PPLIB
	Roteamento	PPLIB	PPLIB

Tabela 1- Esquema adotado para comparação dos resultados

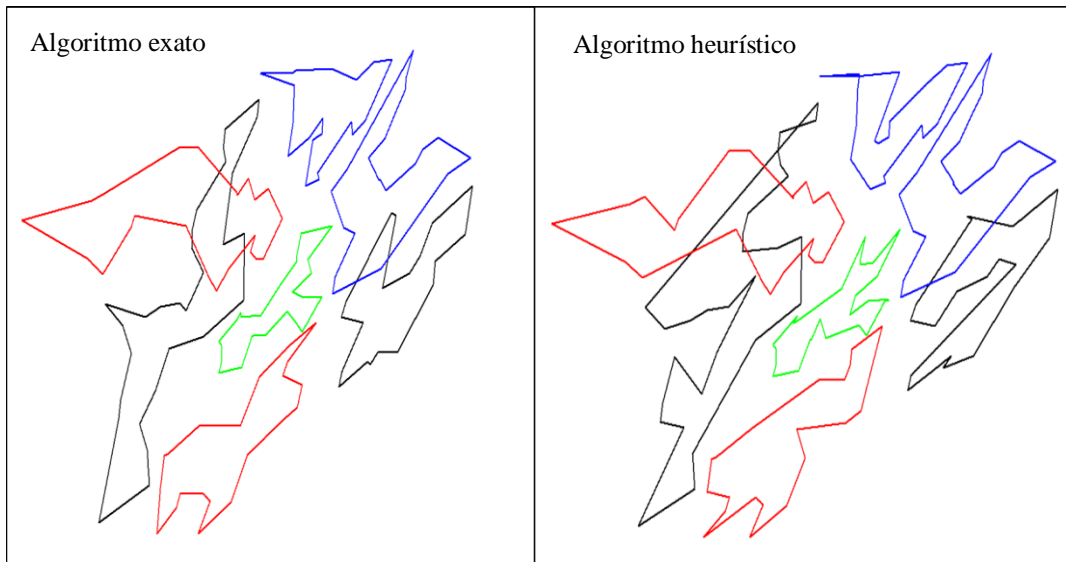


Figura 3- Roteamento da atual distribuição no 1º turno.

6.2 Geral BPEC: atual x exato x heurístico.

O modelo exato não apresentou o ótimo global após oito horas de funcionamento do aplicativo para o agrupamento Geral BPEC. Porém mesmo assim, apresentou uma economia maior do que a atual situação, quando comparado ao mesmo algoritmo de roteamento. Se for feita a comparação do agrupamento no caso Geral BPEC com os outros dois tipos de agrupamento, o modelo exato tenderia a ter a maior economia, pois abre as possibilidades de comparações pelo fato de não ter restrições de limitação de área, porém não foi possível devido às limitações computacionais chegar ao máximo global.

Algoritmo	Desvio padrão n.º colégios/viaturas		Total km	% km	Exato x Heurístico
	1º turno	2º turno			
Situação atual - exato	5,36	5,02	457,37	6,13%	5,50%
Proposta p-medianas - exato	1,39	1,49	429,5		
Situação atual - heurística	5,36	5,02	490,31	7,34%	
Proposta p-medianas heurística	0,49	0,47	454,32		

Tabela 2 - Comparação agrupamento Geral BPEC

6.3 Pelotão: atual x exato x heurístico

A seguir são apresentados os comparativos entre os algoritmos, agrupando por Pelotão BPEC. De todas as três formas de agrupamento (Geral, Pelotão, UOA) foi a que mais rendeu economia, chegando a quase 20% para o deslocamento total, nos dois turnos de serviço.

Algoritmo	Distâncias				Total KM	% Km	Exato x Heurístico
	1º turno		2º turno				
	1º pelotão	2º pelotão	1º pelotão	2º pelotão			
Situação atual - exato	112,91	123,79	52,77	167,90	457,37	19,78%	20,59%
Proposta p-medianas - exato	107,18	113,70	21,79	124,21	366,88		
Situação atual - heurística	120,65	132,10	56,22	181,33	490,30	5,77%	
Proposta p-medianas heurística	114,22	122,72	102,21	122,86	462,01		

Tabela 3- Comparação agrupamento por Pelotão BPEC

Outro fator importante é que, além de diminuir o total percorrido diariamente, também possibilitou uma melhor distribuição dos colégios por viatura, chegando a se obter o mesmo número de colégios para cada viatura, como por exemplo, no caso do 2º pelotão no 1º turno, conforme tabela 4.

Algoritmo	Desvio padrão n.º colégios/viatura			
	1º turno		2º turno	
	1º pelotão	2º pelotão	1º pelotão	2º pelotão
Situação atual	2,94	4,32	2,50	5,35
Proposta p-medianas - exato	1,29	0,00	2,16	0,00
Proposta p-medianas heurística	0,43	0,00	0,50	0,40

Tabela 4 - Comparação desvio padrão colégios/viaturas Pelotão BPEC

6.4 Unidades de áreas: atual x exato x heurístico

O agrupamento por unidade de área determina a quantidade de viaturas que o BPEC disponibiliza para atender os colégios que estão sobre a responsabilidade territorial de um batalhão local (12º BPM, 13º BPM ou 20º BPM). O BPEC necessita dos canais de radiocomunicação de cada uma destas unidades e seus Despachantes para receber os chamados para as ocorrências, pois até o momento não existe um canal exclusivo para a unidade. O agrupamento por UOA era o utilizado pelo Batalhão Escolar no momento deste estudo.

O modelo exato representou uma melhoria de 6,12%, reduzindo o deslocamento diário em 28 quilômetros. Já o modelo heurístico, representou uma diferença em relação ao mesmo algoritmo aplicado atualmente em 6,98%, em relação ao exato uma diferença 5,86%.

Também ocorreu a padronização da quantidade de colégios por veículos, onde deixou de, por exemplo, uma viatura do BPEC que atua na área de responsabilidade territorial do 20º BPM, ter um desvio padrão de 6,5 para apenas 0,5 colégios por viaturas.

Algoritmo	Distâncias						Total Km	%	Exato x Heurístico
	1º turno			2º turno					
	12º BPM	13º BPM	20º BPM	12º BPM	13º BPM	20º BPM			
Atual exato	52,76	96,52	87,41	52,76	89,36	78,53	457,34	6,12%	5,86%
Nova proposta exata	52,73	82,48	82,22	52,73	82,48	76,72	429,36		
Atual heurística	56,22	103,33	93,19	56,22	98,21	83,11	490,28	6,98%	
Nova proposta heurística	54,82	88,86	86,64	54,82	88,86	82,08	456,08		

Tabela 5 - Comparação agrupamento UOA

7. Conclusão

O objetivo central deste trabalho era comparar a atual distribuição das viaturas do Batalhão de Patrulha Escola Comunitária com a proposta de reestruturação utilizando o modelo das *p*-medianas. Este modelo se enquadrou bem na estruturação devido ao fato de possibilitar uma distribuição de tal forma que, cada setor de uma viatura não interfere na área de atuação da outra, ou seja, não existe sub-rotas que se cortam, ficando bem evidente o setor de atuação de cada equipe.

No que se refere o algoritmo exato, o que representou a melhor economia foi o agrupamento por Pelotões BPEC, economizando para visitar todos os colégios uma média de 90 quilômetros. Considerando o fato que cada equipe de serviço trabalha diariamente de segunda a sexta-feira, esse número aumenta no decorrer da semana.

O modelo exato implica na aquisição da licença de outro aplicativo comercial e ainda a utilização do algoritmo exato causa demora em encontrar o ótimo global (não tendo garantia que encontrará) como exemplo de ter sido interrompido após oito horas sendo executado e não achar a solução ótima para o caso geral das *p*-medianas. Além do fato que futuramente possa se acrescentar mais colégios, tanto municipais como estaduais, dependendo apenas de um estudo prévio do número de chamados que a rede municipal ou particular gera diariamente, o que tornaria maior o número de colégios que o aplicativo teria que distribuir, podendo novamente causar um demora na sua execução. Fato este que não ocorre com a heurística, que teve um desempenho bom em relação a atual distribuição e próximo aos valores obtidos pelo modelo exato.

Os dois algoritmos proporcionaram um ótimo desvio padrão no total de colégios por viaturas, ficando com um desempenho satisfatório em relação a atual distribuição, possibilitando cada equipe ficar responsável pelo mesmo número de colégios.

As figuras 4 e 5 representam a nova proposta de distribuição dos colégios para o primeiro turno de serviço de acordo com os resultados apresentados pelos algoritmos exatos e heurísticos, onde cada poligonal fechada representa uma equipe de serviço.

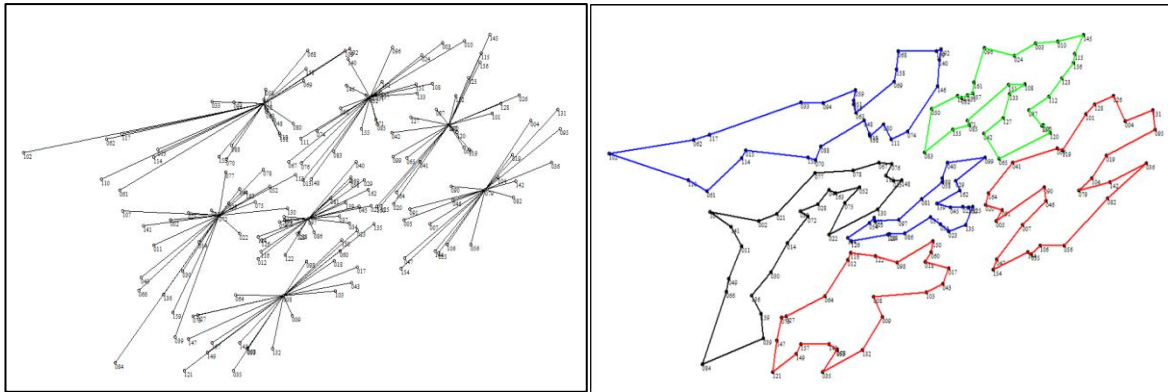


Figura 4 - Melhor resultado pelo algoritmo exato (agrupamento Pelotão BPEC)

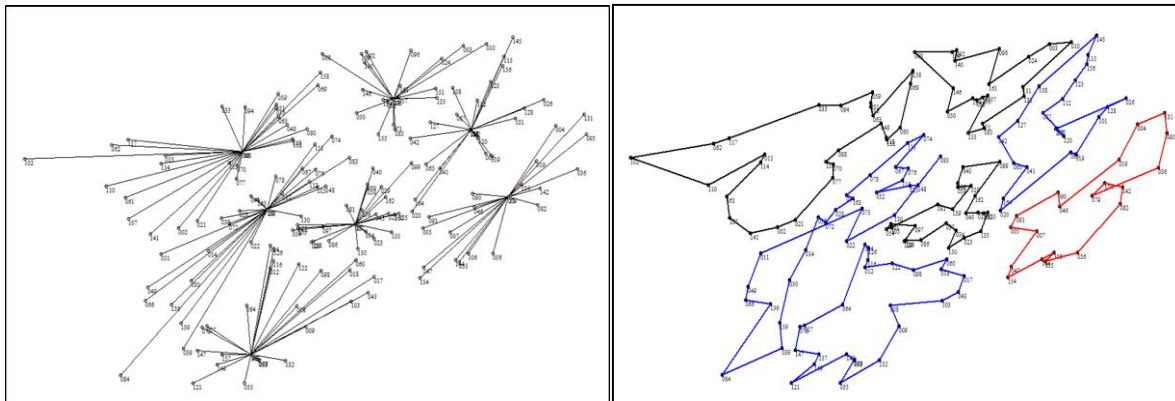


Figura 5 - Melhor resultado pelo algoritmo heurístico (agrupamento Geral BPEC)

Referências

CONSULTAS DE ESCOLAS. In Secretaria de Estado de Educação do Paraná – SEED. Disponível em: <<http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br>>. Acesso em 10 dez. 2010.

CORRÊA, Elon Santos. *Algoritmo Genético e Busca Tabu aplicados ao problema das p-mediana*, 2000. Dissertação Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

CHRISTOFIDES, N. *Graph Theory – An Algorithmic Approach*. New York: Academic Press, 1975.

DIAS, António Ferreira. *O problema da p-mediana aplicado ao problema da gestão óptima da diversidade*. 2005. Dissertação Mestrado, Universidade de Aveiro.

GAREY, M. R. et al; JOHNSON, D. S. *Computers and Intractability. A Guide to the Theory of NP-Completeness*. W. H Freeman and Company, 1979.

GILLET, B.E.; MILLER L.R. *A heuristic algorithm for the vehicle dispatch problem*. Operations Research, v.22, p.240-249, 1974.

HAKIMI, S. L. *Optimum location of switching centers and the absolute centers and medians of a graph*. Operations Research, v.12, p.450-459, 1964.

LOBO, Débora da Silva. *Dimensionamento e otimização locacional de unidades de educação infantil*. 2003. Tese Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

ROSÁRIO, Ronilson Leal do. *Proposta de solução para o problema das p-medianas na localização de unidades de saúde 24 horas*. 2002. Dissertação Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SMIDERLE, Andreia et al. *Estudo de caso da distribuição geográfica das unidades farmacêuticas do município de Pato Branco – PR*. In: XXV Encontro Nac. de Engenharia de Produção, 2005, Porto Alegre, 2005.

TEITZ, M. B.; BART, P. *Heuristics methods for estimating the generalized vertex median of a weighted graph*. Operations Research, v.16, p.955-961, 1968.