

AVALIAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DE ESCOLAS COM MODELOS CAPACITADO E NÃO-CAPACITADO E USO DE UMA FERRAMENTA GIS: ESTUDO DE CASO DE VITÓRIA/ES

Fabício Broseghini Barcelos

broseghini2000@yahoo.com

M.Sc. Departamento de Engenharia Industrial, PUC-RIO

R. Eugênio Netto, 240/302 – Praia do Canto – Vitória - ES, CEP: 29055-270

Nélio D. Pizzolato

ndp@rdc.puc-rio.br

Ph.D. Departamento de Engenharia Industrial, PUC/RIO

Rua Marquês de São Vicente, 225 - 9º andar – CEP: 22453-900 - Rio de Janeiro - RJ – Brasil

Programa Pós-Graduação Engenharia Civil, UFF

Luiz Antonio Nogueira Lorena

lorena@lac.inpe.br

LAC- Laboratório Computação e Matemática Aplicada, INPE- Instituto Nacional Pesquisas Espaciais

Caixa Postal 515 - São José dos Campos – SP – Brasil, CEP: 12.201-970 – Tel. +55.12.3945-6553

RESUMO

O presente estudo está dividido em duas partes. Na primeira parte, o objetivo do estudo é avaliar a atual localização das escolas públicas. A avaliação é feita no aspecto da distribuição espacial com uso do software Arcview-GIS (Geographic Information System) e no aspecto da capacidade ofertada, identificando regiões onde há excesso ou escassez de vagas. Na segunda parte apresenta-se uma experiência prática resultante do uso das técnicas de Pesquisa Operacional. Propõem-se duas novas localizações: a primeira através do Algoritmo de Pizzolato e a segunda obtida pela Relaxação Lagrangeana/Surrogate para modelos capacitados proposta por Lorena e Senne (2001). O estudo foi aplicado na localização de escolas públicas do ensino fundamental na cidade de Vitória/ES, com cerca de 300.000 habitantes.

PALAVRAS-CHAVE

Localização de Escolas; Modelo das P-Mediana; Sistemas de Informação Geográfica.

ABSTRACT

The present study is divided in two parts. In the first part, the objective of the study is to evaluate the current location of public schools. The spatial distribution is evaluated with the p-median model and the Arcview, a GIS software (Geographic Information System). Given the existing capacity, regions with excess or shortage of school places have been identified. In the second part, a heuristic algorithm has been used and the proposed locations identified. The study was applied to the location of elementary public schools in the city of Vitória, a state capital with about 300,000 inhabitants located in the southeast part of Brazil. The number of school children is about 45,000 with 51 public schools.

KEY-WORDS

School Location; P-Median Model; Geographic Information Systems.

1. Introdução

Este trabalho tem como objetivo aplicar um procedimento de avaliação de escolas públicas com respeito à atual localização e atual capacidade, baseando-se em uma situação existente. Também estuda-se uma proposta de nova localização da rede escolar. Em todo o estudo foi extensamente usado o *software* ArcView, da família dos Sistemas de Informação Geográficos, SIG.

O estudo tomou como base o município de Vitória, capital do estado do Espírito Santo com área de 88,8 quilômetros quadrados, população de 291.941 habitantes e uma das maiores densidades demográficas do país com 3.288,90 habitantes por quilômetro quadrado. A metodologia aplicada supõe que toda a população na faixa etária de 7-14 anos deve estar matriculada no ensino fundamental, seja numa escola municipal, estadual ou federal.

Para estudar a distribuição espacial, o problema foi modelado como p-medianas. Sua solução pode ser obtida por duas abordagens: Métodos Heurísticos e Métodos com Base em Programação Matemática. Aproximações heurísticas são mais populares por se tratar geralmente de natureza mais simples, são convenientes em problemas de grande escala e podem oferecer boas soluções. Métodos exatos, como Galvão e Raggi (1989), requerem a solução do Problema de Programação Inteira. Dentre os métodos heurísticos desenvolvidos para o problema das p-medianas, o de Pizzolato (1994), aplicado neste trabalho, parece ser adequado no caso de grandes redes.

2. AVALIAÇÃO DA ATUAL LOCALIZAÇÃO (ARCVIEW – SIG)

Apresenta-se aqui uma metodologia para avaliação da atual localização das escolas públicas com o uso *software* Arcview-SIG. Em particular, aproveita-se a vantagem desse *software* para:

- Calcular a área de abrangência de cada escola;
- Servir como Banco de Dados;
- Simplificar a tarefa de manipulação de dados;
- Melhor compreensão e apresentação do problema;
- Melhor análise dos resultados obtidos através da visualização espacial.

O GIS é uma ferramenta que associa bancos de dados com informações espaciais (mapas digitalizados), formando mapas associados a dados que não dizem respeito, necessariamente, à geografia da região. No presente estudo, não se encontrou dificuldades na obtenção dos dados. Isto se deve ao fato de que o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE), visando suprir tal carência, digitalizou os mapas dos principais centros urbanos brasileiros, além de viabilizá-los economicamente para os interessados.

O GIS permite organizar as informações sobre uma determinada região em camadas, onde cada camada, que representa um tema ou um *layer*, é um conjunto de feições homogêneas que exibem uma informação a respeito de uma característica da região e estão posicionalmente relacionadas às outras camadas através de um sistema de coordenadas comuns. As informações exibidas nas diferentes camadas podem ser analisadas separadamente ou em combinação com outras, uma vez que nem todas as análises necessitam do uso de todos os *layers* simultaneamente. Localizações ou áreas de um determinado tema podem também ser extraídos dos mesmos, separando-os de localizações vizinhas e criando novos *layers*.

O Arcview permite ainda junções espaciais ligando colunas de tabelas distintas a partir da localização geográfica das entidades. Na junção de duas tabelas, dependendo do tipo de entidade (ponto, linha ou polígono) que compõe cada tema, o programa procura qual entidade se encontra dentro ou mais próximo de outra entidade. Dessa forma, encontram-se linhas, pontos ou polígonos que estejam inseridos em outros polígonos, além de calcular a menor distância entre pontos de tabelas diferentes.

3. DESCRIÇÃO METODOLÓGICA PARA OBTENÇÃO DA ÁREA DE ATUAÇÃO DE CADA ESCOLA

O primeiro passo a ser dado para obter a área de atuação de cada escola é procurar digitalizar o mapa da região a ser estudada. Essa região deverá estar dividida em setores censitários que são pequenas divisões definidas pelo IBGE a fim de facilitar a realização do Censo, pois um único recenseador é o responsável pelo levantamento de dados nesta área num limitado espaço de tempo. Existem 271 setores censitários em Vitória, como mostrado nos polígonos da Figura 1.

Para cada setor censitário é preciso localizar seu respectivo centróide, ou seja, um ponto que seja o centro demográfico do setor. Como não se conhece o real posicionamento de cada aluno, assume-se que, toda a população na faixa etária 7-14 anos se encontra localizada neste ponto. Em áreas urbanas, essa suposição é correntemente adotada.

O próximo passo consiste em obter os dados referentes ao último recenseamento (Censo 2000) no que tange à população em faixa escolar, em particular, as quantidades de crianças na faixa etária de 7-14 anos em cada setor censitário, dados, entretanto, ainda não disponíveis. Por outro lado, de acordo com o Censo 1996, existiam em Vitória 41.681 crianças entre 7 e 14 anos de um total de 265.874 habitantes, ou seja, aproximadamente 15% da população total. Usando-se a mesma proporção, resolveu-se fazer uma projeção da população na faixa-etária 7-14 anos em cada setor censitário. Para tanto, foi suposto que 15% da população total se encontra em idade escolar, em todo setor censitário.

A seguir, foi obtido na Secretaria Estadual de Educação (SEDU), o endereço das escolas públicas de ensino fundamental existentes e o número de matriculados por escola. A Figura 1 também mostra a distribuição espacial e localização de todas as escolas estaduais e municipais de Vitória/ES, mediante pontos em azul.

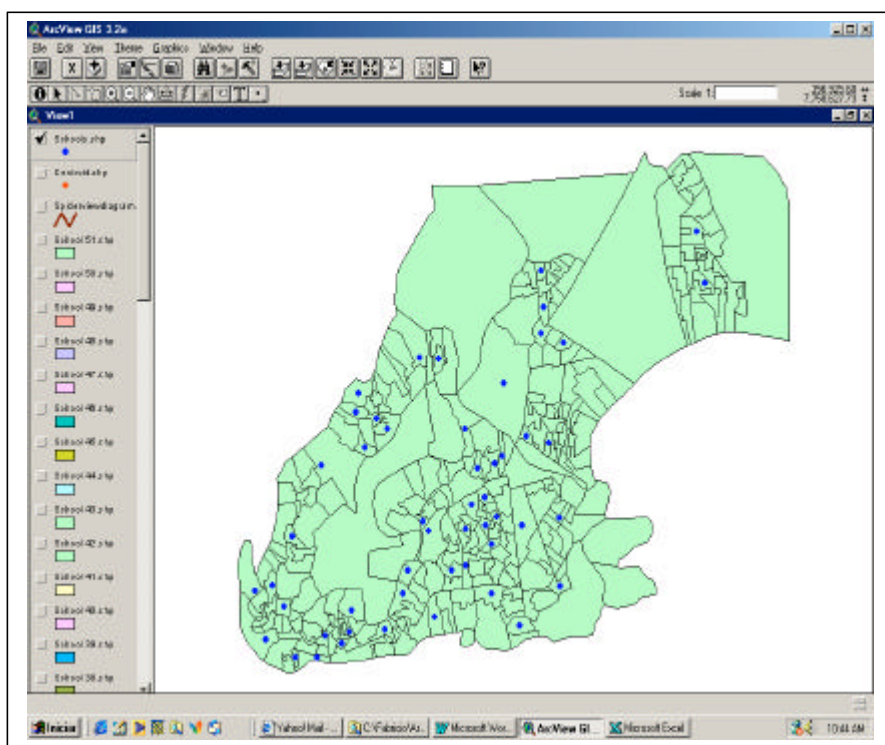


Fig. 1 – Setores Censitários e Distribuição Espacial das Escolas Públicas de Vitória - SEDU 2000

O modelo de p-medianas para localizar escolas tem como base as seguintes premissas:

- ❑ Toda a população em idade escolar que mora num determinado setor censitário encontra-se concentrada no seu respectivo centro demográfico (centróide);
- ❑ Todas as escolas oferecem as mesmas condições de ensino, conservação, espaço para recreação, conforto, merenda escolar, tradição, competência dos professores etc. Desta

forma, todo aluno deve optar pela escola mais próxima de sua residência, podendo, assim, se deslocar a pé até a mesma. Em outras palavras, se a escola mais próxima da residência oferece condições idênticas ou bem parecidas à escola modelo, então o critério de proximidade passa a ser um determinante na seleção desta pelo usuário. Essa hipótese simplificadora foi empiricamente comprovada em Pizzolato e Silva (1993) ao estudar o comportamento dos alunos na área de Nova Iguaçu;

- Escolas localizadas num mesmo setor censitário atendem à mesma área e são consideradas apenas uma, com as capacidades somadas. Em Vitória existem 54 escolas públicas, porém, para efeito deste estudo, foi considerado 51 escolas, pois três setores censitários apresentam duas escolas cada um.

Como o objetivo do trabalho, de acordo com a segunda premissa acima, é minimizar a distância média percorrida escola-centróide, deve-se, a seguir, determinar qual setor censitário se encontra mais próximo de cada escola. Em outras palavras, determina-se a área de abrangência de cada escola. Para tanto, foi utilizada a função *Junção entre Tabelas* do Arcview, que une duas tabelas de *layers* compostos de pontos e calcula a menor distância entre estes pontos.

A seguir, seleciona-se os setores censitários mais próximos de cada escola separadamente e cria-se um novo layer para cada área de abrangência.

4. DESCRIÇÃO METODOLÓGICA PARA OBTENÇÃO DO EXCESSO OU ESCASSEZ DE VAGAS EM CADA ESCOLA

Para obter-se o excesso ou escassez de vagas no ensino fundamental de Vitória foi feita uma análise de cada escola separadamente, com sua respectiva área de abrangência. De posse da tabela dos centróides, pode-se calcular a demanda somando-se individualmente a coluna *Demanda Centróide* para cada escola. Por outro lado, o Arcview facilita este trabalho através da função *Summarize*, criando automaticamente uma nova tabela com estes somatórios.

Primeiramente deve-se selecionar na tabela dos centróides a coluna *IdEscola*. No menu *Field*, escolhe-se a opção *Summarize*. Na janela *Summary Table Definition*, clica-se na opção *Save As* para a escolha do diretório onde se deseja salvar o arquivo *sum1.dbf*, criado automaticamente pelo Arcview com a opção *Summarize*. A seguir, nos campos *Field* e *Summarize by* escolhe-se as opções *Demanda Centróide* e *Sum*, respectivamente. Clique em *Add* e em seguida *Ok*.

Dessa forma, cria-se uma nova tabela chamada *sum1.dbf* com dois novos campos: *Count* e *Sum_Demanda Centróide*. O campo *count* mostra o número de setores censitários atraídos por cada escola, enquanto que o campo *Sum_Demanda Centróide* mostra a demanda de cada escola.

Deste modo, pode-se verificar em cada área de abrangência o número de crianças em idade escolar. Em outras palavras, a demanda de cada escola é definida como sendo o número de crianças morando em todos os setores contidos em cada árvore.

Por último, é preciso comparar os dados referentes ao número de crianças de cada área de abrangência com as respectivas capacidades de cada escola (dados fornecidos pela Secretaria de Educação do Estado). Para tanto, criam-se duas novas colunas na tabela *sum1.dbf*: a primeira chamada *Capacidade* e a segunda chamada *Excesso/Escassez*.

Após digitar as respectivas capacidades das escolas, pode-se determinar o excesso e a escassez de vagas para cada segmento da escola. A coluna *Excesso/Escassez* é preenchida subtraindo da coluna *Capacidade* a coluna *Sum_Demanda Centróide*. Se o resultado na coluna *Excesso/Escassez* for negativo, significa que a escola está com escassez de vagas. Caso contrário, se o valor der positivo, significa que a escola apresenta excesso de vagas e que recursos podem ser remanejados para áreas mais necessitadas.

Assim sendo, nas regiões onde tem-se uma redução na taxa de natalidade ou naquelas onde apresenta-se excesso de vagas, pode-se decidir quais as escolas que podem ser fechadas ou reduzidas. Por outro lado, pode-se avaliar possíveis expansões da rede escolar nas regiões que apresentam taxas de natalidade crescente ou escassez de vagas como é o caso de algumas regiões em Vitória. Esta

expansão pode ser feita através da construção de uma nova escola ou através da ampliação de uma escola já existente.

5. AVALIAÇÃO DA ATUAL LOCALIZAÇÃO

Nesta etapa, é fornecido ao algoritmo em arquivos do Bloco de Notas (.txt) os 51 vértices que representam as atuais escolas. O grafo é então dividido em 51 árvores que correspondem às 51 micro regiões, indicando o espaço de abrangência de cada escola, de acordo com a proximidade.

Como resposta, o algoritmo fornece um relatório contendo, primeiramente, o valor da função objetivo "Z" encontrado. A seguir, para cada uma das árvores criadas, o algoritmo fornece o código da mediana escolhida, a quantidade de vértices atraídos por esta mediana e os códigos dos vértices atraídos. Além disso, o algoritmo fornece a contribuição "J" de cada árvore no valor "Z" da função objetivo, a maior distância "D" percorrida dentro de cada árvore e qual o vértice mais distante.

O relatório completo do algoritmo pode ser encontrado em Barcelos (2002) e é visualmente apresentado na Figura 2. Para exemplificar o relatório obtido, tome-se como exemplo a primeira árvore encontrada no relatório, sobre a qual tem-se as informações:

- ❑ Vértice escolhido como mediana: Vértice 221;
- ❑ Número de vértices atraídos: 14;
- ❑ Vértices atraídos: 221, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 21, 22, 23;
- ❑ Contribuição na função objetivo: $J(221) = 6559$;
- ❑ Maior distância percorrida dentro da árvore: $D(221) = 1503$;
- ❑ Vértice mais distante da mediana escolhida: Vértice 12 ($J = 12$).

A Figura 2 é uma tentativa de visualizar o problema existente. Através dos diversos níveis de cores, ela mostra faixas de excesso ou escassez de vagas nas micro-regiões. É importante para o gerenciamento a curto prazo. Dessa forma, fica claro observar que as áreas prioritárias de investimentos deveriam ser aquelas na cor vermelha, pois representam áreas com escassez acima de 1000 vagas.

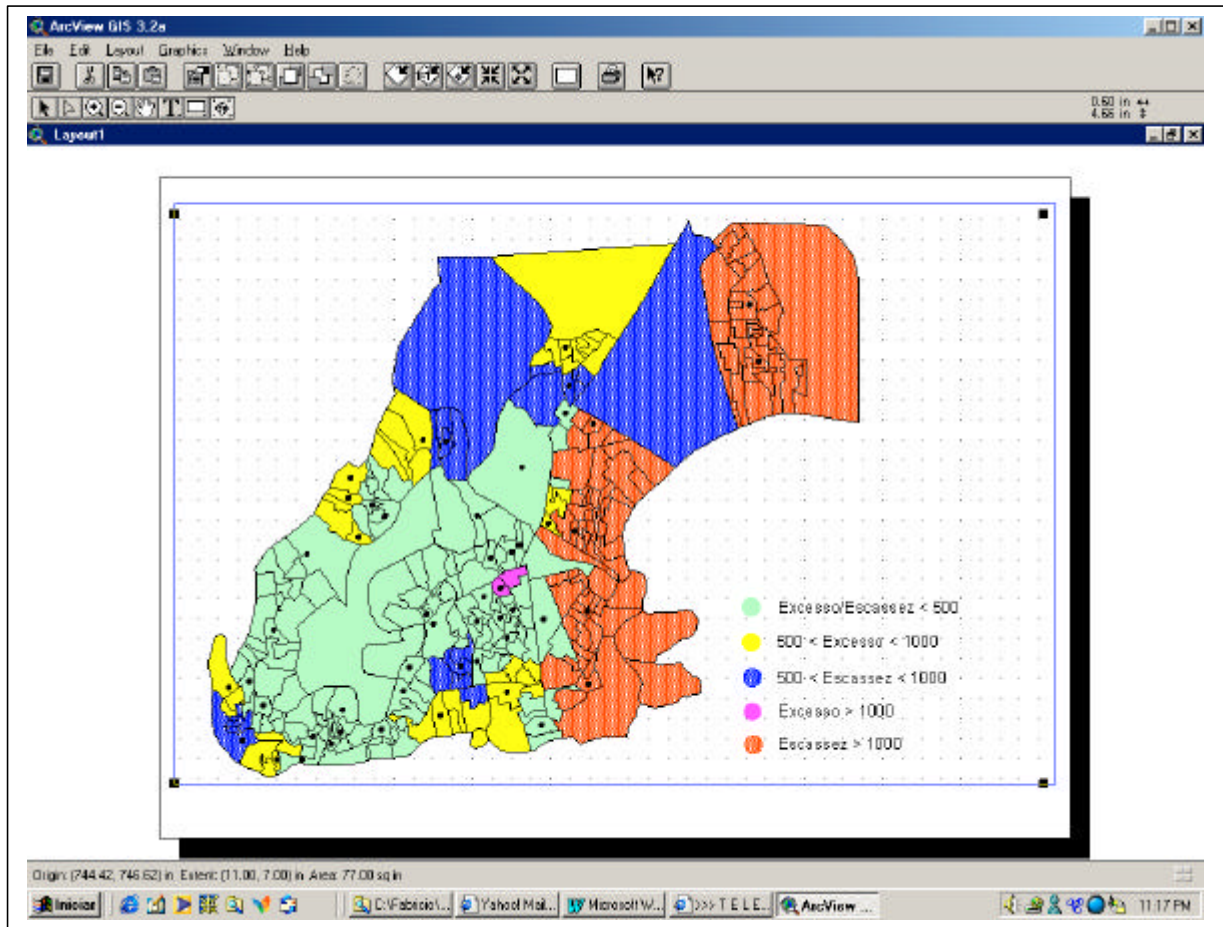


Fig. 2 – Avaliação da Atual Situação por Faixas de Excesso ou Escassez de Vagas

6. PROPOSTA DE UMA NOVA LOCALIZAÇÃO

Nesta etapa, foi aplicado o algoritmo de Pizzolato (1994) para determinar a localização ideal de 51 escolas. Com a resposta obtida, o grafo é então dividido em 51 árvores que correspondem a 51 micro-regiões diferentes do primeiro caso.

Novamente, como resposta o algoritmo fornece um relatório contendo, primeiramente, o valor da função objetivo "Z" encontrado. A seguir, para cada uma das árvores criadas, o algoritmo fornece o código da mediana escolhida, a quantidade vértices atraídos por esta mediana e os códigos dos vértices atraídos. Além disso, o algoritmo fornece, a contribuição "J" de cada árvore no valor "Z" da função objetivo, a maior distância "D" percorrida dentro de cada árvore e qual o vértice mais distante. Tomando-se novamente como exemplo a primeira árvore encontrada, tem-se:

- ❑ Vértice escolhido como mediana: Vértice 174;
- ❑ Número de vértices atraídos: 06;
- ❑ Vértices atraídos: 168, 173, 174, 176, 177 e 265;
- ❑ Contribuição na função objetivo: $J(174) = 3557$;
- ❑ Maior distância percorrida dentro da árvore: $D(174) = 518$;
- ❑ Vértice mais distante da mediana escolhida: Vértice 168 ($J = 168$).

A seguir, de posse dessas novas árvores, pode-se melhor visualizar o resultado obtido com auxílio do Arcview colocando cores e ativando as áreas de abrangência de cada escola, como mostra a Figura 3.

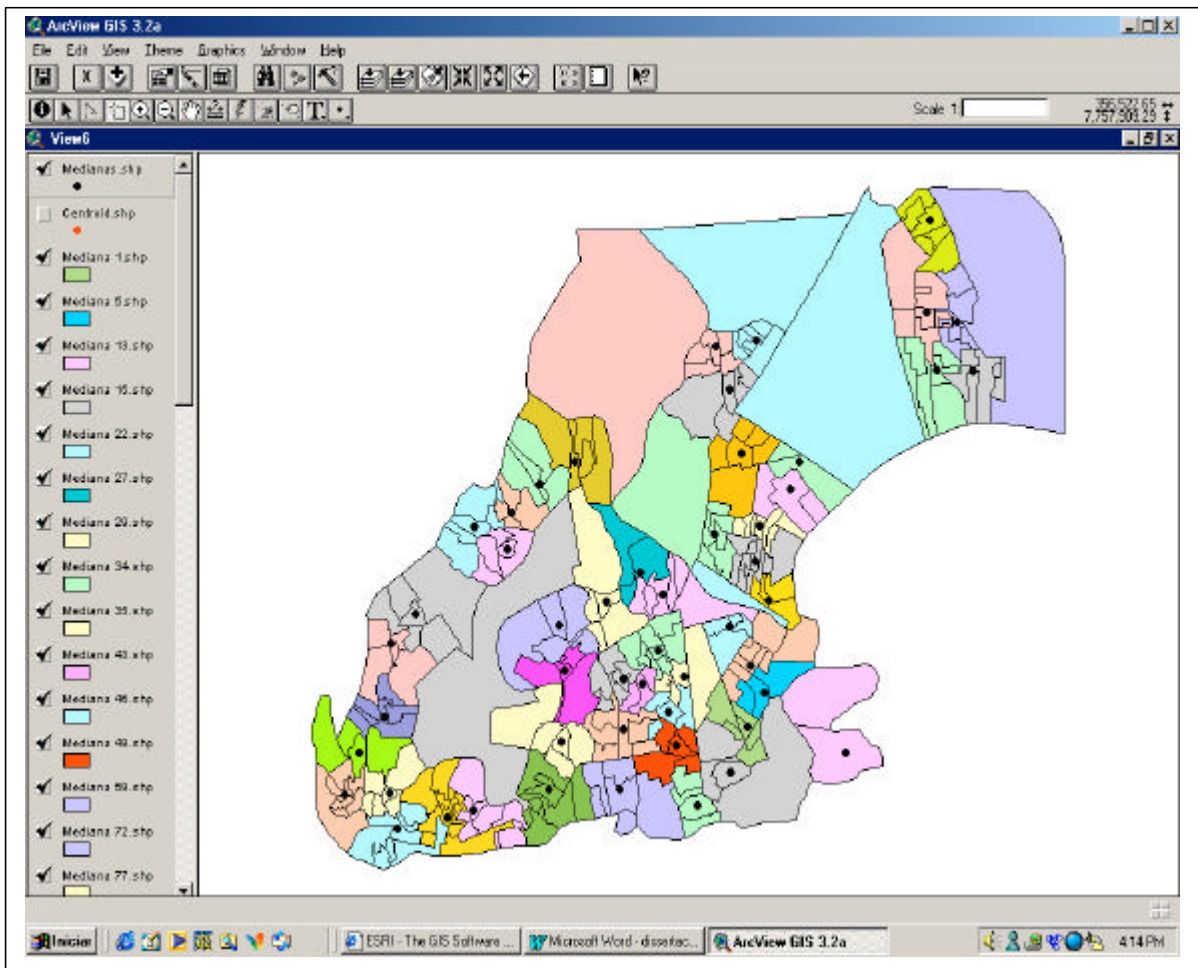


Fig. 3 – Área de Atuação das Escolas Propostas

7. HEURÍSTICA LAGRANGEANA/SURROGATE (MODELO CAPACITADO)

O problema das p-medianas capacitado (PMC) considera a capacidade a ser dada por cada mediana, ou seja, a oferta de vagas em cada região. Parte da premissa que a demanda total dos vértices alocados numa árvore não pode ser maior que a capacidade da respectiva escola.

Esta aplicação pode ser importante nos casos em que a administração deseja construir escolas padronizadas, ou seja, com a mesma capacidade. Estudos anteriores mostram que o custo por estudante é maior tanto em escolas muito pequenas, quanto em escolas muito grandes.

A solução do problema é obtida através da Heurística Lagrangeana/Surrogate ou “Lagsur” proposta em Narciso e Lorena (1999). A relaxação Lagrangeana/Surrogate desenvolvida para resolver de forma aproximada o problema das p-medianas com restrições de capacidade apresenta melhores resultados que a relaxação lagrangeana usual, obtendo limitantes de igual qualidade com menor esforço computacional (LORENA, SENNE et alii, 2001).

Segundo Lorena e Senne (2001), a formulação do problema capacitado é a seguinte:

$$(PMC) = \text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{sujeito a} \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1; \quad i \in \hat{I} \quad N \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{jj} = p \quad (3)$$

$$\sum_{i \in N} q_i x_{ij} \leq Q_j x_{jj} ; j \in N \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}; i, j \in N \quad (5)$$

onde,

q_i = demanda associada ao vértice i

Q_j = capacidade da escola j

Considerando $\lambda \in R_+^n$ a restrição surrogate relativa à restrição (2) será:

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} I_i x_{ij} = \sum_{i \in N} I_i$$

e para um multiplicador $t \geq 0$, a Relaxação Lagrangeana/Surrogate de PMC será:

$$v(L_t PMC^I) = \text{Min} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} (d_{ij} - t I_i) x_{ij} + t \sum_{i \in N} I_i \quad (6)$$

sujeito a (3), (4) e (5).

O problema $(L_t PMC^I)$ é solucionado considerando-se implícitamente a restrição (3) e decompondo o problema, obtendo-se os seguintes N 0-1 problemas da mochila:

$$v(knap_j) = \text{Min} \sum_{i \in N} (d_{ij} - t I_i) x_{ij} ; j \in N \quad (7)$$

sujeito a (4) e (5).

Cada subproblema é facilmente resolvido calculando-se:

$$\beta_j = \sum_{i \in N} [\min\{0, d_{ij} - t I_i\}]$$

Define-se C como o conjunto dos índices dos p menores β_j . Assim, uma solução x^I para o problema $L_t PMC^I$ é dada por:

$$x_{ij}^I = \begin{cases} 1, & \text{se } j \in C \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

e, para todo $i \neq j$:

$$x_{ij}^I = \begin{cases} 1, & \text{se } j \in C \text{ e } d_{ij} - t I_i < 0 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

O valor do Lagrangeano/Surrogate é dado por:

$$v(L_t PMC^I) = \sum_{j \in J} v(knap_j) + t \sum_{i \in N} I_i . \quad (8)$$

Uma característica interessante da relaxação $(L_t PMC^I)$ é que, para $t = 1$ tem-se a relaxação Lagrangeana usual considerando o multiplicador λ , e para um multiplicador λ fixo, o melhor valor para t pode ser encontrado resolvendo-se o problema Dual Lagrangeano $v(D_t^\lambda) = \text{Max}_{t \geq 0} v(L_t PMC^I)$.

O melhor valor da relaxação Lagrangeana/Surrogate fornece um limitante melhor do que o obtido pela relaxação lagrangeana usual. Para obter um bom limitante não é necessário encontrar o melhor valor de t (t^*), sendo suficiente encontrar um valor “ t ” tal que $t_0 < t < t_1$, através de um procedimento de busca heurística descrito em Senne e Lorena (2000). Entretanto, se o valor “ t ” se mantiver constante por um número de iterações fixado a priori, então esse valor será mantido para todas as relaxações seguintes e o procedimento de busca não será mais executado.

Um algoritmo de subgradientes é utilizado para resolver o problema de p-medianas. O valor inicial de λ é:

$$I_i = \min_{j \in N} \{d_{ij}\}, i \in N$$

O tamanho do passo é calculado como:

$$\theta = [\pi (ub - lb) / \|g^\lambda\|^2]$$

onde o subgradiente identificado é:

$$g_i^\lambda = 1 - \sum_{j \in N} x_{ij}^\lambda, i \in N.$$

O controle do parâmetro π é o proposto por Held and Karp (1971), onde $0 \leq \pi \leq 2$. Inicialmente seu valor é fixado em $\pi = 2$, sendo reduzido à metade em cada iteração sempre que lb mantiver seu valor constante por 30 iterações sucessivas. Os testes de parada utilizados são: $\pi \leq 0.005$, $ub - lb < 1$ e $\|g^\lambda\|^2 = 0$.

A solução x^I do $v(L_tPMCI)$ não é necessariamente viável, mas o conjunto C identifica os vértices escolhidos como centros que podem ser usados para produzir soluções viáveis para os problemas. Para alocar os vértices não-medianas no conjunto de medianas identificado anteriormente, deve-se solucionar o seguinte problema generalizado de atribuição:

$$\text{Max} \sum_{i \in N-C} \sum_{j \in C} p_{ij} x_{ij}^f \quad (9)$$

$$\text{(PGA)} \quad \text{sujeito a:} \quad 0, j \in C \quad (10)$$

$$\sum_{j \in C} x_{ij}^f = 1, i \in N - C \quad (11)$$

$$x_{ij}^f \in \{0,1\}, i \in N - C; j \in C \quad (12)$$

sendo $p_{ij} = -d_{ij}$, $i \in N - C$; $j \in C$, o ganho se o vértice i for atribuído ao centro j . $x_{ij}^f = 1$ se o vértice i é alocado ao centro $j \in C$ e $x_{ij}^f = 0$, caso contrário.

O algoritmo *MTHG* proposto por Martello and Toth (1990) é usado para resolver de forma aproximada o problema generalizado de alocação (PGA). A solução x^f do problema acima é ainda melhorada pela Heurística de Localização-Alocação, inspirada nos trabalhos de Cooper (1963) e Taillard (1996).

Essa heurística baseia-se na observação que, após a definição de x^f , obtém-se exatamente p aglomerados identificados por C_1, C_2, \dots, C_p , correspondendo às p medianas e suas respectivas não-medianas alocadas. A solução x^f pode ser melhorada procurando-se por um novo centro dentro de cada aglomerado, trocando-se a mediana atual por outro vértice e recalculando-se as alocações.

O algoritmo de p-medianas descrito anteriormente foi integrado por Lorena e Senne a dois Sistemas de Informações Geográficas: Arcview (ESRI, 1996) e SPRING (SPRING, 1998). Para efeito deste estudo, considerando a base de dados reais da cidade de Vitória, foi testada somente a integração com o Arcview.

A distância entre os vértices foi calculada a partir da escala do mapa no qual estão inseridos. Os valores resultantes representam a distância direta linear entre os vértices ou a distância sobre os arcos que compõem o mapa. Neste modelo de solução do problema de p-medianas, a distância entre os vértices foi o único parâmetro de custo considerado.

Para a visualização da solução, utilizou-se a função *Spider*, disponível no *Arcview*, que foi modificada para se adequar às necessidades da integração. Essa função verifica as distâncias entre os vértices de demanda, contidos em um tema, e os vértices relativos aos centros ofertantes, contidos em outro tema, e representa a alocação dos vértices aos centros selecionados para atendimento.

Os valores de demanda podem ser extraídos dos temas disponíveis baseados no número de imóveis existentes em cada setor. Porém, os valores considerados neste trabalho, assim como na sessão 03, foram extraídos baseando-se no Censo Populacional elaborado pelo IBGE. Os setores com demanda nula recebiam um valor de demanda igual a 1.

A partir dessa informação, a *script* calcula a demanda total como sendo a soma da demanda de todos os vértices do tema de pontos selecionado. Este valor é então dividido pelo número de medianas a serem localizadas, definindo, assim, a capacidade de cada centro de atendimento. O valor encontrado pode, ainda, ser multiplicado por um fator $t > 1$, permitindo modelar cenários com escassez ou excesso na capacidade de atendimento dos centros.

Por questões de viabilidade, a capacidade individual de atendimento de cada centro (considerada idêntica neste estudo) não deve ser inferior ao maior valor de demanda individual observado no tema escolhido.

Na Figura 4 tem-se a visualização da *Spider* com a solução do modelo capacitado para a região de Vitória considerando distâncias lineares. A Figura 5 mostra a necessidade de novas escolas em certas regiões, comparando a solução atual (duas escolas) e a solução do modelo capacitado (cinco escolas).

8. SÍNTESE DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

Analisando a figura 2 pode-se observar que há escassez de vagas em grande parte das regiões. Nos lugares onde há excesso de vagas, esse número não é suficiente para atender à falta de vagas das outras regiões. O somatório da demanda é de 45.766, enquanto que o somatório da oferta de vagas é de 42.198. Assim sendo, há uma falta global estimada na região de 3.568 vagas.

Com relação à avaliação da atual situação, pode-se concluir que:

- O estudo mostra onde a construção de mais escolas é necessária. Algumas regiões do município, tais como as zonas norte e leste, são mal atendidas pelo sistema público. Isto pode ser explicado pelo fato dessas regiões serem habitadas por pessoas de renda mais elevada, que tradicionalmente preferem escolas privadas;

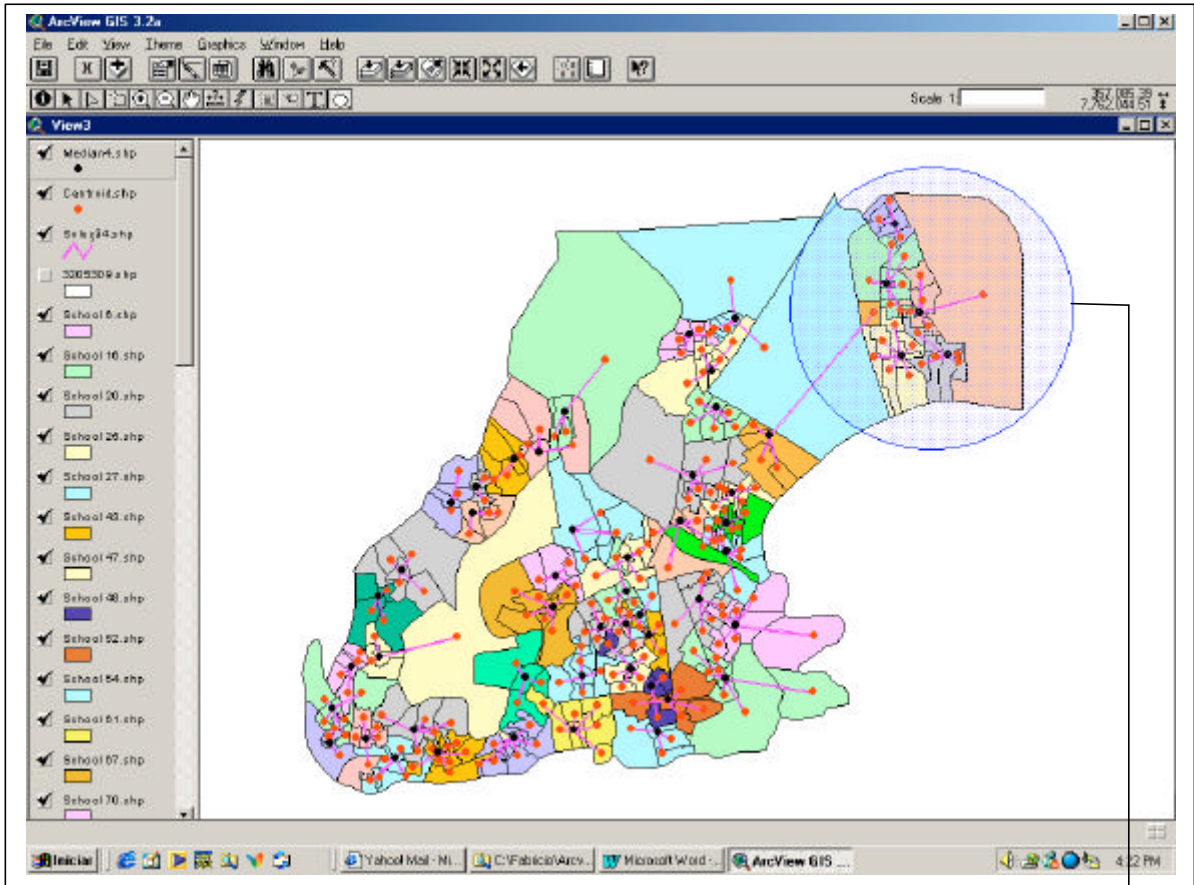
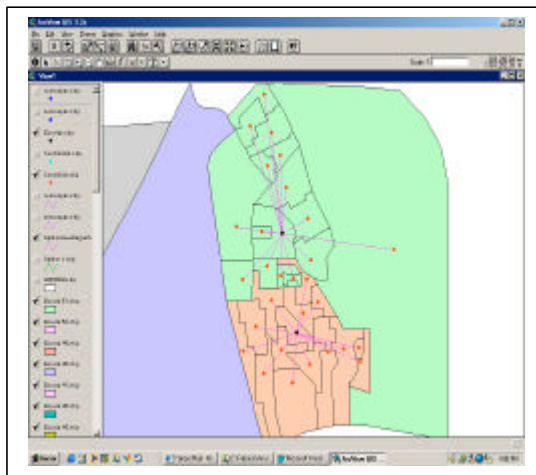
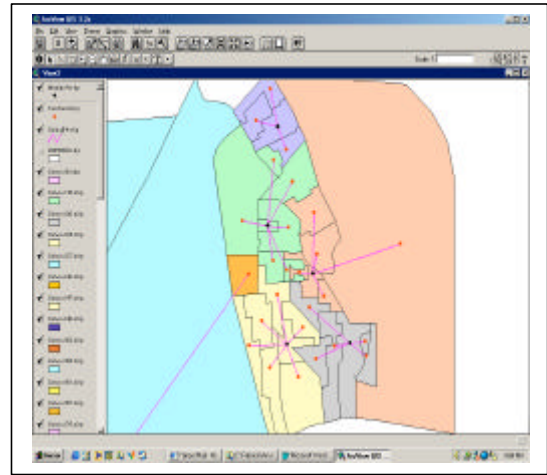


Fig. 4 – Solução Modelo Capacitado



Solução Atual
(Fig. 3.4)



Solução do Modelo
Capacitado

Fig. 5 – Mais Escolas em Algumas Regiões

- ❑ A falta de um planejamento acompanhando o processo de urbanização da cidade fez com que os órgãos competentes não se alertassem para a explosão demográfica de certas regiões, tal como a zona norte do município, região que só conta com duas escolas;
- ❑ O gerenciamento da capacidade a curto prazo, foco de interesse na primeira parte do estudo, pode ser facilmente atendido com medidas simples, tais como ativando espaços não usados, contratando mais professores, adaptando salas existentes, porém vazias etc.

Com relação à proposta de uma nova localização para as escolas obtida pelo Algoritmo de Pizzolato, podemos concluir que:

- ❑ 51 escolas são suficientes em Vitória caso a política de mandar toda a população 7-14 anos para a escola pública queira ser implantada. O que necessita ser feito é o remanejamento e a ampliação das escolas, além de remanejamento de recursos;
- ❑ Fechamento ou redução na capacidade das escolas localizadas na região central de Vitória.. A região central, antes densamente povoada, vem sofrendo uma séria migração nas últimas décadas. Dessa forma, as escolas que foram planejadas para uma demanda muito maior que a atual, estão com excesso de vagas;
- ❑ A natureza não-capacitada do modelo empregado contradiz com a natureza capacitada do problema real. Porém, havendo, por exemplo, duas escolas, uma com excesso e outra com escassez, pode-se resolver o problema transferindo capacidade da primeira para a segunda;
- ❑ Basicamente, a grande maioria das escolas pode variar sua capacidade através de medidas como: aumentar/diminuir o número de alunos por classe; variar o número de turnos de cada escola; ativar espaços não utilizados; ampliação; construção/fechamento de novas escolas; transferência de mesas, cadeiras, professores, funcionários etc.

Pode-se encontrar o relatório completo para o caso com restrição de capacidade (Modelo Capacitado) em Barcelos (2002). De acordo com o relatório, pode-se concluir que:

- ❑ 51 escolas são suficientes em Vitória caso a política de mandar toda a população 7-14 anos para a escola pública queira ser implantada. O que necessita ser feito é o remanejamento e a ampliação das escolas, além de remanejamento de recursos;
- ❑ Pode-se concluir em relação às distâncias máximas percorridas que há somente um arco com distância superior a 1500 metros, distância máxima almejada. De acordo com o relatório, essa distância refere-se ao arco entre os vértices 171-201 e equivale a 2.608,84 metros. Observando a Fig. 4, pode-se concluir que este problema é facilmente resolvido aumentando-se a capacidade da escola localizada no vértice 199, setor censitário 910065. Dessa forma, a distância seria de 526 metros;

A Tabela 8.2 abaixo mostra o resultado final obtido para os três estudos aqui tratados.

Tabela 8.2 – Resultado Final

Método Utilizado	Peso Populacional	“Z” – Valor da Função Objetivo (m)
Avaliação Atual Arcview (SIG)	1 habitante por setor censitário	99.229
Algoritmo de Pizzolato 2ª Etapa (não-capacitado)	1 habitante por setor censitário	70.586
Algoritmo de Pizzolato 2ª Etapa (não-capacitado)	projeção da atual população	110.116
Relaxação LagSur Modelo Capacitado	1 habitante por setor censitário	[77.024; 85.083]

Não foi levado em consideração neste estudo uma pequena quantidade de alunos que estão avançados em relação aos demais, começando o ensino fundamental com 5 ou 6 anos e terminando com 12 ou 13 anos. Há também, porém em maiores proporções, aqueles que entram atrasados ou que se atrasaram por repetições e abandonos devido à ineficiência do sistema. Muitos ainda não chegam a terminar a primeira série e outros nem sequer entram no sistema, condenados ao analfabetismo.

Para piorar o resultado acima exposto, deve-se levar em consideração que a área metropolitana da Grande Vitória é constituída por cinco municípios demograficamente, econômica e culturalmente diferenciados. Desses, Vitória, por ser a capital, é a que parece estar atualmente em melhor situação, enquanto os demais se apresentam ainda em crescente desenvolvimento. Além disso, muitas famílias que têm suas residências nos municípios vizinhos trabalham na capital, e por conveniência de horário, preferem ter seus filhos estudando nas proximidades do local de trabalho.

Como conseqüência da vinda de alguns estudantes dos municípios vizinhos para a capital, tem-se o surgimento de uma “*demanda extra*” sobre o sistema, que não foi levada em consideração nesse estudo.

9. BIBLIOGRAFIA

BARCELOS, Fabrício B. 2002, “Avaliação da Localização de Escolas com Modelo Capacitado e Não-Capacitado e Uso de uma Ferramenta GIS: Estudo de Caso da Cidade de Vitória/Es”, Tese M.Sc., Programa de Engenharia de Produção, PUC/RIO, RJ, Brasil.

ESRI - Environmental Systems Research Institute. Último acesso ao site em 23 de Janeiro de 2002. Disponível na Internet: <<http://gis.esri.com/arcsripts/scripts.cfm>>

ESRI, 1996: Avenue customization and application development for Arcview. Environmental Systems Research Institute, Inc., Redlands, CA.

GALVÃO, R. D. e RAGGI, L. A., 1989, “A Method for Solving to Optimality Uncapacitated Location Problems”, *Annals of Operations Research*, v.18, pp. 225-244.

LORENA, L. A. N. e SENNE, E. L. F., 2001, “Local search heuristics for capacitated p-median problems”, *Networks and Spatial Economics*.

LORENA, L. A. N., SENNE, E. L. F. et alii, 2001, “Integração de Modelos de Localização a Sistemas de Informações Geográficas”, *Gestão e Produção*, v.8, n.º 2, pp. 180-195.

MEC, 1999, “Educação Brasileira: Políticas e Resultados”. Último acesso ao site em 23 de Janeiro de 2002. Disponível na Internet: <<http://www.mec.gov.br/home/poleduc/default.shtm>>

MEC, 2000, “Desempenho do Sistema Educacional Brasileiro: 1994-1999”. Último acesso ao site em 23 de Janeiro de 2002. Disponível na Internet: <<http://www.mec.gov.br/home/poleduc/default.shtm>>

PIZZOLATO, N.D. e SILVA, H. B. F., 1993, “Proposta Metodológica de Localização de Escolas: Estudo do Caso de Nova Iguaçu”, *Pesquisa Operacional*, Vol. 14, No. 2, pp. 1-13.

PIZZOLATO, N.D., 1994, “A Heuristic for Large-Size p-Median Location Problems with Application to School Location”, *Annals of Operations Research*, Vol. 50, pp. 473-485.

PIZZOLATO, N. D. e SILVA, H. B. F., 1997, “The Location of Public Schools: Evaluation of Practical Experiences”, *International Transactions in Operations Research*, Vol. 4, Nº 1, pp. 13-22.

PIZZOLATO, N. D., BASSIL, K. W. e SOARES, T. S., 1999, “Avaliação da Localização de Escolas Públicas com uso do SIG”, *Anais do XXXI SBPO - Juiz de Fora*, CD-ROM.

PIZZOLATO, N. D., BARCELOS, F. B. e LORENA, L. A. N., 2001, “School Location Methodology in Urban Areas of Developing Countries”, *submitted*.

SPRING, 1998: Sistema de processamento de informações georeferenciadas. INPE, São José dos Campos, SP. Último acesso ao site em 23 de Janeiro de 2002. Disponível na Internet: <<http://www.dpi.inpe.br/spring>>