

## SISROUTING: SISTEMA DE APOIO A DECISÃO PARA O PROBLEMA DO ROTEAMENTO DO ÔNIBUS ESCOLAR

Vilson Soares de Siqueira<sup>1</sup>, Glauca Sobrinho Santos<sup>2</sup>, Marcelo Lisboa Rocha<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Professor EBTT *campus* Colinas do Tocantins – IFTO. Bolsista PAP/APL. e-mail: <[vilsonsoares@ifto.edu.br](mailto:vilsonsoares@ifto.edu.br)>

<sup>2</sup>Licencianda em Computação, *campus* Colinas do Tocantins – IFTO. Bolsistas do PIC. e-mail: <[glauciasobrinho@gmail.com](mailto:glauciasobrinho@gmail.com)>

<sup>3</sup>Professor Adjunto *campus* Palmas – UFT. e-mail: <[marcelolisboa@uft.edu.br](mailto:marcelolisboa@uft.edu.br)>

**Resumo:** O problema de roteamento do ônibus escolar (PROE), é um importante problema de ordem prática, estudado em otimização combinatória. É formulado através de um conjunto de paradas, frotas de ônibus, escolas e garagem, onde a partir destes conjuntos, busca-se criar rotas otimizadas visando a redução do custo operacional do serviço. Este trabalho apresenta duas grandes contribuições para a melhoria da solução do PROE, sendo elas, o desenvolvimento de um algoritmo baseado na metaheurística GRASP + 2-Opt, para a geração de rotas otimizadas, e um sistema de apoio a decisão para o PROE, com a utilização de funções do Google Maps v3, para proporcionar uma visualização ágil da atual situação do problema para o administrador do sistema, isto, através do uso de marcadores de localizações para paradas de ônibus, escolas e garagem. Os resultados são comparados com os principais trabalhos da literatura do problema, assim conseguindo gerar soluções com uma redução significativa na quantidade de ônibus utilizados, bem como no tempo de processamento para a geração das rotas..

**Palavras-chave:** metaheurística GRASP, ônibus escolar, Otimização Combinatória, SBRP,

### 1 INTRODUÇÃO

O problema de Roteamento do Ônibus Escolar (PROE), do termo em inglês (School Bus Routing Problem – SBRP) é um importante problema de otimização combinatória que foi modelado por Newton e Thomas (1969). O PROE é uma Variação do Problema de Roteamento de Veículos (PRV) do termo inglês Vehicle Routing Problem (VRP), que é comumente tratado na pesquisa operacional.

O problema pode ser enunciado da seguinte maneira: Dado um conjunto de estudantes, escolas e garagem são definidas as paradas de ônibus, que devem estar localizadas próximo ou na porta da residência dos estudantes, entretanto, a definição da parada de ônibus está sujeita a uma restrição de distância, onde, os estudantes devem andar até chegar a mesma. Cada estudante deve estar associado a uma parada. Com estas informações definidas, podem ser utilizados métodos de Programação Linear Inteira, métodos heurísticos ou métodos híbridos para criar a solução de rotas. Os ônibus devem percorrer todas paradas de ônibus, com o objetivo de coletar todos os estudantes associados, logo em seguida, eles são transportados e entregues em suas escolas de destino. No final do dia letivo, o estudante é transportado novamente para o mesmo local onde foi coletado.

O objetivo geral deste trabalho é criar um algoritmo capaz de gerar uma solução de rotas de ônibus otimizadas utilizando a metaheurística GRASP e desenvolver um sistema de apoio a decisão para o problema de roteamento do ônibus escolar.

## **2 METODOLOGIA**

Para resolver o Problema de Roteamento do Ônibus Escolar, foram realizados estudos dos principais trabalhos da literatura. No entanto, serão aprofundados os estudos em apenas dois trabalhos de referência da literatura, sendo eles: Braca et al., (1997) e Park et al., (2012). O critério utilizado para aprofundar nestes dois artigos, foram os seguintes: número de citações em outros trabalhos, número de paradas e alunos atendidos, instâncias de referências para testes, eficiência na solução e melhores resultados da literatura.

As regressões lineares propostas por Braca et al., (1997), foram utilizadas para a criação das seguintes funções: tempo necessário para a coleta dos estudantes e o tempo necessário para a entrega dos estudantes em sua escola de destino.

Park et al., (2012), apresentaram melhorias para o método Mix Load (Carga Mista), onde, seus resultados computacionais são comparados com os métodos Single Load (Carga Única) e o algoritmo de Braca et al., (1997). Os dados de entrada (paradas, escolas e garagem e ônibus) estão disponíveis em [http://logistics.postech.ac.kr/Mixed\\_SBRP\\_Benchmark.html](http://logistics.postech.ac.kr/Mixed_SBRP_Benchmark.html), e também os resultados computacionais das instâncias com a solução das rotas criadas. As instâncias são utilizadas como fonte de referência, para a comparação dos resultados computacionais da presente proposta, com outras técnicas relevantes para o PROE.

O algoritmo GRASP (Greedy Randomized Adaptative Search Procedure) que significa em português Procedimentos de Busca Adaptativos Gulosos Randomizados, foi desenvolvida por Feo e Resende (1995). É um procedimento iterativo, onde cada iteração consiste em uma fase de construção de uma solução inicial de forma adaptativa gulosa aleatorizada, combinada com uma aplicação de uma heurística de melhoramento, tipicamente um procedimento de busca local. A melhor solução dentre todas as iterações será então o resultado final (FEO e RESENDE, 1995).

## **3 PROBLEMA DE ROTEAMENTO DO ÔNIBUS ESCOLAR**

De acordo com Desrosiers et al. (1981) o PROE é subdividido em cinco etapas: preparação dos dados, seleção das paradas, geração das rotas, ajuste das janelas de tempo e escalonamento das rotas.

Preparação de dados. Neste sub-problema é especificado, a rede de estradas e são preparados quatro tipos de entradas de dados para PROE: estudantes, escolas, veículos e matriz de distâncias. Os dados para os estudantes incluem a localização (endereço) de suas casas, a escola de destino e o tipo de aluno. O tipo de aluno é geral ou deficientes. (PARK; KIM, 2010).

Seleção de paradas. Esta etapa procura selecionar um conjunto de paradas de ônibus e fazer alocação dos estudantes às mesmas. No entanto, há restrições em relação à distância máxima que os estudantes devem caminhar de sua casa até ponto de ônibus mais próximo. (PARK; KIM, 2010).

Geração das Rotas. Para FARAJ et, al. (2013) a etapa mais significativa para o PROE é a geração das rotas, onde os dados oriundos das etapas anteriores são processados a fim de serem construídas as melhores rotas possíveis.

Ajuste das janelas de tempo. De acordo com Park e Kim (2010), na maioria dos estudos, o horário inicial e final das escolas são considerados como restrições. No entanto, há uma série de trabalhos que consideram o horário como uma variável de decisão e as tentativas de encontrar ótimos horários para iniciar e terminar, pode maximizar o número de rotas atendidas sequencialmente por um único ônibus, desta forma reduzir o número de ônibus utilizados.

Escalonamento de Rotas. Newton e Thomas (1969), desenvolveram um modelo multi-escola para determinar todas as rotas de ônibus para uma escola. Eles assumiram que existem períodos de tempo distintos e as escolas começam em diferentes períodos. Desta forma, criaram uma cadeia de rotas que podem ser sequencialmente atendida pelo mesmo ônibus.

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Para comprovar a eficácia da metaheurística proposta, buscou-se os trabalhos de referência para o PROE que fornecem instâncias de referência de grande porte, para avaliar o comportamento do algoritmo GRASP com situações de problemas mais complexos. Também foi comparado o tempo computacional necessário para gerar a solução para o problema.

Para realizar os testes computacionais foram utilizadas as instâncias de referências de Park et al., (2012), citadas em vários trabalhos relacionados ao PROE, que estão disponíveis no link [http://logistics.postech.ac.kr/Mixed\\_SBRP\\_Benchmark.html](http://logistics.postech.ac.kr/Mixed_SBRP_Benchmark.html).

Os dados são resultados do estudo de Park et al., (2012), onde foram apresentados melhorias para o algoritmo de Carga Mista (Mix Load), em relação ao trabalho de Braca et, al (1997), que por vez, utilizou o algoritmo LBH de Bramel e Samchi-Levi (1992). Na ocasião o os resultados apresentados pelo algoritmo proposto por de Park et al., (2012), conseguiram gerar soluções melhores para o PROE, que até o momento são as melhores da literatura.

A tabela 1, mostra os dados referentes a 16 instâncias de referências para o PROE, onde foram testados 8 bases de dados com situações diferentes, com o número de paradas de ônibus entre 250 a 2000 e com o número de escolas entre 5 a 50. Foram testados as bases de dados com dois valores para o tempo máximo de percurso para o ônibus percorrer uma rota. Os valores são, 2700 e 5400 segundos, respectivamente 45 e 90 (minutos). No entanto, a rota é viável apenas se não violar a restrição de tempo máximo do percurso. Quanto menor, for a restrição de tempo de percurso da rota, maior será a quantidade de ônibus necessário para atender a demanda. Isto pode ser verificado nos valores do limite inferior, que representa a quantidade mínima de ônibus necessário para atender todos os estudantes de cada base de dados.

| Instâncias de referência da literatura de Park et, al. (2012) |                |            |         |            |                 |
|---|----------------|------------|---------|------------|-----------------|
| Instância   | Tempo percurso | Quantidade |         |            | Limite Inferior |
|   |                | Escolas    | Paradas | Estudantes |                 |
| <b>RSRB01</b>   | 2700           | 6          | 250     | 3409       | 22              |
| <b>RSRB02</b>   | 2700           | 12         | 250     | 3671       | 21              |
| <b>RSRB03</b>   | 2700           | 12         | 500     | 6844       | 45              |
| <b>RSRB04</b>   | 2700           | 25         | 500     | 6867       | 31              |
| <b>RSRB05</b>   | 2700           | 25         | 1000    | 13,765     | 58              |
| <b>RSRB06</b>   | 2700           | 50         | 1000    | 12,201     | 38              |
| <b>RSRB07</b>   | 2700           | 50         | 2000    | 26,934     | 83              |
| <b>RSRB08</b>   | 2700           | 100        | 2000    | 32,048     | 53              |
| <b>RSRB01</b>   | 5400           | 6          | 250     | 3409       | 22              |
| <b>RSRB02</b>   | 5400           | 12         | 250     | 3671       | 21              |
| <b>RSRB03</b>   | 5400           | 12         | 500     | 6844       | 45              |
| <b>RSRB04</b>   | 5400           | 25         | 500     | 6867       | 31              |

|               |        |      |       |         |      |
|---------------|--------|------|-------|---------|------|
| <b>RSRB05</b> | 5400   | 25   | 1000  | 13,765  | 58   |
| <b>RSRB06</b> | 5400   | 50   | 1000  | 12,201  | 38   |
| <b>RSRB07</b> | 5400   | 50   | 2000  | 26,934  | 83   |
| <b>RSRB08</b> | 5400   | 100  | 2000  | 32,048  | 53   |
| <b>MÉDIA</b>  | 4050,0 | 35,0 | 937,5 | 13217,4 | 43,9 |

Tabela 1. Entrada de dados para instâncias de referências de Park et, al (2012).

Na tabela 2 são apresentados os resultados computacionais da proposta apresentada, com a execução do algoritmo GRASP. Para isso, foram comparados dois requisitos:

- Quantidade de ônibus necessários para atender toda a demanda de transporte escolar.
- Tempo de processamento computacional necessário para gerar a solução com todas as rotas.

Com a otimização/minimização da quantidade de ônibus necessários para atender o transporte escolar, pode-se reduzir o custo total referente a prestação do serviço, consequentemente serão economizados gastos com manutenção de ônibus, economia de combustível, redução de gastos com pneus, salário do motorista e principalmente o gastos com aquisições ou alugueis de novos ônibus.

| <b>Comparação dos resultados da metaheurística GRASP em relação aos principais trabalhos da literatura do PROE</b> |           |                     |                 |                  |       |                     |                 |                  |       |
|--|-----------|---------------------|-----------------|------------------|-------|---------------------|-----------------|------------------|-------|
|  | Instância | VEÍCULOS REQUERIDOS |                 |                  |       | TEMPO COMPUTACIONAL |                 |                  |       |
|  |           | Braca LBH           | Park Mixed Load | Park Single Load | GRASP | Braca LBH           | Park Mixed Load | Park Single Load | GRASP |
| 2700 (tempo em segundos)   | RSRB01    | 36                  | 32              | 35               | 30    | 26,6                | 6,0             | 2,5              | 0,44  |
|  | RSRB02    | 34                  | 29              | 32               | 22    | 32,6                | 4,5             | 2,6              | 0,37  |
|  | RSRB03    | 77                  | 61              | 66               | 48    | 123,8               | 17,7            | 4,6              | 1,06  |
|  | RSRB04    | 78                  | 65              | 68               | 45    | 121,1               | 11,8            | 5,4              | 0,84  |
|  | RSRB05    | 118                 | 106             | 124              | 90    | 574,7               | 30,4            | 9,4              | 2,45  |
|  | RSRB06    | 106                 | 93              | 103              | 73    | 695,5               | 21,4            | 9,6              | 1,89  |
|  | RSRB07    | 201                 | 171             | 190              | 167   | 3296,1              | 95,2            | 18,1             | 6,90  |
|  | RSRB08    | 212                 | 168             | 176              | 165   | 3455,6              | 49,8            | 24,3             | 12,51 |
|  | RSRB01    | 31                  | 28              | 31               | 24    | 46,2                | 5,0             | 2,3              | 0,96  |
|  | RSRB02    | 29                  | 25              | 30               | 15    | 43,3                | 4,5             | 2,6              | 0,93  |
|  | RSRB03    | 61                  | 51              | 61               | 42    | 166,8               | 15,4            | 4,6              | 2,17  |
|  | RSRB04    | 60                  | 52              | 57               | 33    | 183,7               | 11,9            | 5,0              | 1,52  |
|  | RSRB05    | 86                  | 86              | 106              | 73    | 866,9               | 30,6            | 8,3              | 4,87  |

|               |        |             |             |             |             |               |             |            |            |
|---------------|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|-------------|------------|------------|
| tempo em 5400 | RSRB06 | 81          | 75          | 82          | 50          | 760,8         | 17,3        | 8,5        | 3,53       |
|               | RSRB07 | 163         | 147         | 158         | 119         | 4422,7        | 79,8        | 15,9       | 13,04      |
|               | RSRB08 | 186         | 149         | 158         | 105         | 5728,4        | 45,4        | 21,3       | 12,31      |
|               | MÉDIA  | <b>97,4</b> | <b>83,6</b> | <b>92,3</b> | <b>67,5</b> | <b>1284,0</b> | <b>27,9</b> | <b>9,1</b> | <b>6,3</b> |

Tabela 2. Comparação dos resultados computacionais.

Na tabela 2 são apresentados os resultados computacionais da proposta deste trabalho, destacados e representado pela coluna com o título GRASP. Observando os resultados numéricos da proposta, nota-se claramente a eficiência da solução em relação aos demais resultados de referência do PROE. Destacando, a redução na quantidade de ônibus (média de 67,5 contra 83,6 do melhor competidor) em todas as instâncias e como também no tempo de processamento computacional (média de 6,3 contra 8,1 do melhor competidor). Com os resultados, pode-se comprovar a eficácia da proposta apresentada em relação aos outros trabalhos de referências.

Na tabela 3, são mostrados os valores em percentagem da melhoria na solução com a metaheurística GRASP, quanto a minimização da quantidade de ônibus e a percentagem de tempo em relação ao tempo utilizado em relação ao trabalho de referência. Também são mostrados os percentuais comparativos para cada instância.

Para avaliar os resultados, foi calculado a média geral de todas as instâncias, e o GRASP, foi capaz de reduzir o número de ônibus utilizados em 30,7% em relação ao algoritmo LBH de Braca et, al (1997), 19,3% em relação ao algoritmo com carga mista (Mixed load) e 26,9% em relação ao algoritmo de carga simples (Single Load) de Park et, al. 2012.

| Comparação dos resultados com a metaheurística GRASP em relação aos principais trabalhos da literatura do PROE (em %) |                                     |                 |                  |   |                 |                  |
|---|-------------------------------------|-----------------|------------------|---|-----------------|------------------|
| Instância   | Redução (em %) Veículos necessários |                 |                  | Tempo computacional necessário para o GRASP em relação as soluções de referência (em %) |                 |                  |
|   | Braca LBH                           | Park Mixed Load | Park Single Load | Braca LBH   | Park Mixed Load | Park Single Load |
| RSRB01  | 16,7%                               | 6,3%            | 14,3%            | 1,7%  | 7,3%            | 17,6%            |
| RSRB02  | 35,3%                               | 24,1%           | 31,3%            | 1,1%  | 8,2%            | 14,2%            |
| RSRB03  | 37,7%                               | 21,3%           | 27,3%            | 0,9%  | 6,0%            | 23,0%            |
| RSRB04  | 42,3%                               | 30,8%           | 33,8%            | 0,7%  | 7,1%            | 15,6%            |
| RSRB05  | 23,7%                               | 15,1%           | 27,4%            | 0,4%  | 8,1%            | 26,1%            |

|                          |        |              |              |              |             |              |              |
|--------------------------|--------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| tempo em 2700            | RSRB06 | 31,1%        | 21,5%        | 29,1%        | 0,3%        | 8,8%         | 19,7%        |
|                          | RSRB07 | 16,9%        | 2,3%         | 12,1%        | 0,2%        | 7,2%         | 38,1%        |
|                          | RSRB08 | 22,2%        | 1,8%         | 6,3%         | 0,4%        | 25,1%        | 51,5%        |
| 5400 (tempo em segundos) | RSRB01 | 22,6%        | 14,3%        | 22,6%        | 2,1%        | 19,2%        | 41,7%        |
|                          | RSRB02 | 48,3%        | 40,0%        | 50,0%        | 2,1%        | 20,7%        | 35,8%        |
|                          | RSRB03 | 31,1%        | 17,6%        | 31,1%        | 1,3%        | 14,1%        | 47,2%        |
|                          | RSRB04 | 45,0%        | 36,5%        | 42,1%        | 0,8%        | 12,8%        | 30,4%        |
|                          | RSRB05 | 15,1%        | 15,1%        | 31,1%        | 0,6%        | 15,9%        | 58,7%        |
|                          | RSRB06 | 38,3%        | 33,3%        | 39,0%        | 0,5%        | 20,4%        | 41,5%        |
|                          | RSRB07 | 27,0%        | 19,0%        | 24,7%        | 0,3%        | 16,3%        | 82,0%        |
|                          | RSRB08 | 43,5%        | 29,5%        | 33,5%        | 0,2%        | 27,1%        | 57,8%        |
|                          | MÉDIA  | <b>30,7%</b> | <b>19,3%</b> | <b>26,9%</b> | <b>0,5%</b> | <b>22,6%</b> | <b>69,2%</b> |

Tabela 3. Comparação dos resultados computacionais em percentual (%).

O tempo computacional do GRASP foi menor que a média geral de todas as instâncias, em relação ao tempo necessário para a gerar a solução, sendo possível observar que, o tempo médio de processamento foi de apenas 0,5 % do tempo médio de processamento do algoritmo LBH de Braca et, al (1997), 19,3% do tempo médio de processamento do algoritmo com carga mista (Mixed load) e 26,9% do tempo médio de processamento algoritmo de carga simples (Single Load) de Park et, al. 2012. Assim sendo, a metaheurística GRASP proposta nesse trabalho superou o trabalho de Park et, al 2012 que apresenta os melhores resultados da literatura até aqui, tanto no tocante a qualidade da solução (minimização do número de ônibus) quanto ao tempo computacional.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho traz avanços significativos para o problema de roteamento do ônibus escolar. Através destes estudos foi desenvolvido um algoritmo com base na metaheurística GRASP, capaz de gerar rotas para o transporte escolar, com uma quantidade de dados razoável. Neste contexto, o sistema mostrou-se eficiente para um problema, que contenha até 2.000 paradas e 100 escolas. Se aplicado no Brasil, o sistema pode ser utilizado em várias cidades brasileiras.

Os testes computacionais mostram excelentes resultados para uma simulação, onde é gerado uma solução para uma instância com total de 32.048 estudantes, 2.000 paradas e

100 escolas. Para gerar a solução o sistema demorou apenas 12.51 segundos para o processamento e mostrar o resultado.

## REFERÊNCIAS

BRACA, J.; BRAMEL, J.; POSNER, B.; SIMCHI-LEVI, D. A computerized approach to the New York City school bus routing problem. **IEE Transactions**, v. 28, 8, p. 693–702, 1997.

DESROSIERS, J., FERLAND, J., ROUSSEAU, J.-M., LAPALME, G., AND CHAPLEAU, L. An Overview of School Busing System. , p. 235–243, 1981.

FARAJ, M. F. ;SARUBBI, J. F. . M.; SILVA,C. M.; PORTO, M. F. Estudo de Caso: o Problema do Transporte Escolar Rural em Minas Gerais. **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, p. 1332–1343, 2013.

FEO, T.; RESENDE, M. Greedy randomized adaptive search procedures. **Journal of global optimization**, 1995.

FARAJ, M.F.; SARUBBI, J.F.F. ; SILVA, C.M. ; PORTO, M.F. ; NUNES, N. T.R. A Real Geographical Application for the School Bus Routing Problem. **2014 IEEE 17TH International Conference on Intelligent Transportation Systems (Itsc)**, 2014.

NEWTON, R. M.; THOMAS, W. H. Design of school bus routes by computer. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 3, n. 1, p. 75–85, 1969.

PARK, J.; KIM, B. I. The school bus routing problem: A review. **European Journal of Operational Research**, 2010.

PARK, J.; TAE, H.; KIM, B. I. A post-improvement procedure for the mixed load school bus routing problem. **European Journal of Operational Research**, 2012.