

SISTEMA DE TRANSPORTE DE FUNCIONÁRIOS DA PETROBRAS

Mayron Rodrigues de Almeida - Petrobras

Rua Nilo Peçanha, 151 / 7º andar – Centro – Rio de Janeiro - RJ
mra@petrobras.com.br

Pierre Novis Mendonça - Petrobras

Rua Nilo Peçanha, 151 / 7º andar – Centro – Rio de Janeiro - RJ
pierremendonca@petrobras.com.br

RESUMO

O presente trabalho trata do problema do transporte de ida e volta de pessoas entre suas residências e um local de trabalho comum. A motivação para sua realização vem da necessidade real de se resolver tal problema aplicado ao transporte de empregados das unidades operacionais da Petrobras.

O conjunto de requisitos a serem atendidos implica um problema de alta complexidade e que envolve as seguintes características principais: localização e agrupamento geográficos de passageiros, determinação da localização dos pontos de paradas (para embarque e desembarque), seleção e roteirização de veículos de uma frota heterogênea.

Outrossim, cada refinaria apresenta situações particulares e a necessidade de se tratar algumas das características listadas de forma excepcional. Este trabalho mostra a solução escolhida, implementada e em utilização no sistema Petrobras. O problema foi tratado em três etapas: primeiro calcula-se o agrupamento dos passageiros com um modelo de programação inteira. A seguir, os pontos de ônibus são determinados manualmente e, finalmente, através de um modelo em algoritmos genéticos com busca local, veículos são selecionados e alocados a rotas visando a minimização dos custos de contratação de cada veículo e dos custos de distância rodada.

Os resultados encontrados mostram perspectivas de ganhos da ordem de 17% a 22% quando comparados aos valores das soluções não otimizadas.

PALAVRAS CHAVE. Programação Matemática, Algoritmos Genéticos, Roteamento de Veículos.

Área principal: Otimização Combinatória, Metaheurística.

ABSTRACT

This work solves the problem of people transportation between their homes and a common workplace. A real demand motivated the finding of a solution to the problem of transporting the Petrobras operational plants workers.

All the requisites to be met implies a high complex problem involving many features like: geographic localization and grouping of people, determining the vehicles stop points for both to go to work and to return home and vehicle selection and routing of a heterogeneous fleet. Nevertheless, each operational plant has some particular needs and some of them must be regarded uniquely.

This work describes the implemented solution that has been in use at Petrobras. The problem is divided in three parts: first, workers that live near each other are grouped by an integer programming model. Then, manually, two stop points must be placed for each group. Finally, a hybrid genetic algorithm with local search model selects vehicles and defines their routes minimizing costs of availability and total distance.

Results indicate possible savings up to 17% a 22% when compared to non-optimized solutions.

KEYWORDS. Mathematic Programming, Genetic Algorithm, Vehicle Routing

Main Area: Combinatorial Optimization, Metaheuristic

1. Introdução

O problema de transporte de funcionários das residências para o local de trabalho e do local de trabalho para as residências, envolve dois problemas inter-relacionados. Um problema é associar os funcionários aos seus respectivos pontos de embarque e desembarque e o segundo problema é roteirizar os veículos que irão transportar os funcionários associados a estes pontos. Segundo Laporte (1988), problemas com estas características são conhecidos como Location-Routing Problems (LRPs).

Este problema é semelhante ao problema de roteamento de ônibus escolar (*School Bus Routing Problem – SBRP*). Na literatura, problemas envolvendo o transporte de estudantes para escola têm sido amplamente estudados e diversos artigos publicados. Entre os primeiros artigos publicados podemos citar os trabalhos de Newton e Thomas (1969), Angel et al. (1972), Bennett and Gazis (1972), Bodin e Berman (1979). Os trabalhos mais recentes são de Li e Fu (2002), Spada, Bierlaire e Liebling (2005), Fügenschuh (2009), Martínez e Viegas (2011), Riera-Ledesma e Salazar-González (2012).

Neste trabalho será abordado o problema de transporte de funcionários para as unidades operacionais e demais locais onde a Petrobras fornece este tipo de serviço, bem como a solução implementada.

2. Descrição do Problema

A força de trabalho das unidades operacionais tem direito a transporte fornecido pela Petrobras. São atribuições da companhia: determinar os pontos de paradas desses veículos, que podem ser no próprio endereço informado pelo passageiro ou em um ponto de parada comum a vários funcionários; programar a alocação dos trabalhadores em veículos que devem levá-los e trazê-los da refinaria; determinar os pontos de parada(embarque e desembarque) que cada veículo deverá atender e determinar o tipo de veículo de cada roteiro.

A Petrobras pode contar com uma frota que inclui veículos de capacidades variadas. O custo com o transporte de pessoal depende dos tipos dos veículos contratados e das distâncias percorridas por eles.

As distâncias entre o endereço de um passageiro e seus pontos de embarque e desembarque correspondentes não podem ultrapassar o limite definido a critério da Companhia.

A localização dos pontos de parada depende da forma como os passageiros são agrupados. Dá-se o nome Ponto de Concentração (PC) ao local onde a restrição de distância caminhada é atendida para um grupo de passageiros. Os pontos de concentração ativos são um subconjunto dos pontos de concentração e são os que terão pontos de parada associados.

Os trabalhadores são divididos nas categorias: turno (HT¹) e administrativo (HA). Os veículos empregados na coleta do pessoal que inicia um turno devem ser aproveitados para fazer a entrega do pessoal que termina o turno anterior.

O problema abordado neste trabalho tem a seguinte definição:

Dados:

- Um local de trabalho;
- As coordenadas geográficas das residências dos funcionários²;
- Uma frota heterogênea de veículos e suas características (capacidade, custo fixo e custo variável);
- Pontos de concentração;
- Matriz de distâncias entre funcionários e pontos de concentração;
- Matriz de distâncias entre pontos de parada e entre pontos de parada e local de trabalho³.

¹ A programação dos funcionários que trabalham em horário de turno não será abordada neste trabalho.

² As coordenadas geográficas são obtidas através do “Google Maps API for Business”.

³ As distâncias podem ser euclidianas ou obtidas através do “Google Maps API for Business”.

Determine:

- Pontos de concentração ativos e funcionários associados a eles;
- Para cada ponto de concentração ativo, atribua dois pontos de parada (embarque e desembarque);
- A programação dos veículos requerida para transportar todos os funcionários de/para o local de trabalho;

Sujeito as seguintes restrições:

- Distância máxima permitida de caminhada entre as residências dos funcionários e seu ponto de concentração associado;
- Tempo de viagem de ida e volta do trabalho não deve exceder um tempo máximo especificado;
- Tempo de viagem de ida e volta do trabalho não deve exceder o tempo de viagem ideal de cada passageiro. Exemplo: supondo que o tempo de viagem de um passageiro seja 30 minutos para uma viagem direta do ponto de parada para local de trabalho, o tempo de viagem programado para este passageiro não poderia superar 50% deste valor (ou seja, 45 minutos). Chamaremos esta restrição de conforto do passageiro.
- A ocupação dos veículos não deve exceder a capacidade especificada;

É assumido que:

- No início do expediente, cada rota se inicia em um ponto de parada e termina no local de trabalho;
- No fim do expediente, cada rota se inicia no local de trabalho e termina em um ponto de parada;

3. Solução Adotada

Com o objetivo de minimizar os custos envolvidos na operação de transporte em algumas áreas da Petrobras, um sistema computacional foi desenvolvido. Esse sistema inclui módulos e funcionalidades tais como:

- Interface com o usuário;
- Integração com bases georeferenciadas (Google Maps);
- Módulos de otimização e;
- Módulos de simulação.

Os módulos de simulação têm a finalidade de permitir ao usuário fixar o valor de quaisquer variáveis de decisão. À primeira vista, isso pode parecer inconveniente já que uma solução ótima pode ser alterada ou pode nem ser atingida. O uso desses módulos se justifica pelo caráter prático e pelo grande número de casos excepcionais que os programadores tem que ajustar ao exercer suas atividades. Os módulos de simulação, no entanto, não serão abordados neste trabalho.

A abordagem de solução utilizada divide o problema em três etapas: (1) Agrupamento dos funcionários em pontos de concentração (PC); (2) determinação dos pontos de parada (embarque e desembarque) a partir dos pontos de concentração; e (3) seleção e roteirização dos veículos.

As etapas (1) e (3) podem ser resolvidas por modelos de otimização ou de forma manual com os simuladores do sistema. Na etapa (2), a decisão é exclusivamente feita pelo usuário a partir dos pontos de concentração determinados.

a) Modelo de Agrupamento

Esta seção apresenta o modelo de programação matemática proposto para associar funcionários a pontos de concentração.

O modelo proposto não cria um ponto de concentração em qualquer ponto no mapa. O modelo recebe pontos de concentração candidatos que poderão ser ativados e, então, terão funcionários associados a eles respeitando o limite de distância caminhada.

Os pontos de concentração candidatos podem ser determinados de 3 formas:

- Utilizando-se o endereço dos funcionários como pontos candidatos;
- Utilizando-se o “Google Place API ⁴”;
- Criados pelo usuário utilizando o mapa;

Desta forma, o problema pode ser descrito como: seja, um conjunto $F = \{1, \dots, f\}$ de funcionários que devem ser agrupados em pontos de concentração ativos pertencentes a um subconjunto de um dado conjunto $P = \{1, \dots, p\}$ de pontos de concentração candidatos.

Dados os seguintes parâmetros:

- C_p : Custo de se ativar o ponto de concentração candidato p ;
- $C_{f,p}$: Custo de se associar o funcionário f ao ponto de concentração p ;
- $D_{f,p}$: Distância entre o funcionário f e o ponto de concentração p ;
- Dr_f : Distância entre o funcionário e o local de trabalho;
- Dr_p : Distância entre o ponto de concentração e o local de trabalho;
- R_f : Distância máxima de caminhada do passageiro até o ponto de concentração associado;
- R_p : Distância máxima entre o ponto de concentração e o local de trabalho;

Considerando as variáveis:

- $Y_p \in \{0,1\} \forall p \in P \mid Dr_p \leq R_p - 1$ indica que o ponto de concentração p está ativo;
- $X_{f,p} \in \{0,1\} \forall f \in F, p \in P \mid D_{f,p} \leq R_f$ - indica que o funcionário f está associado ao ponto de concentração p ;

O modelo pode ser formulado como:

$$\min \sum_{f=1}^f \sum_{p=1}^p C_{f,p} X_{f,p} + \sum_{p=1}^p C_p Y_p \quad (1)$$

S.A.:

$$X_{f,p} \leq Y_p; \forall f \in F, \forall p \in P \mid D_{f,p} \leq R_f, Dr_p \leq R_p \quad (2)$$

$$\sum_{p=1}^p X_{f,p} = 1; \forall f \in F \mid D_{f,p} \leq R_f, Dr_p \leq R_p \quad (3)$$

A função objetivo é dada pela equação (1) que procura minimizar o número de pontos de concentração ativos e o custo de deslocamento (distância caminhada) de cada funcionário ao seu respectivo ponto de concentração. A minimização do número de pontos de concentração ativos implicará um menor número de pontos de parada e possivelmente em uma roteirização de menor custo.

A equação (2) garante que os funcionários estarão associados a um ponto de concentração ativo.

A equação (3) garante que os funcionários estarão associados a um ponto de concentração.

Não é necessário que exista restrição para garantir que a distância caminhada pelo passageiro até o ponto de concentração seja menor que o parâmetro R_f pois a condição de geração da variável $X_{f,p}$ substitui esta restrição. O mesmo ocorre para a restrição para garantir que a distância entre o ponto de concentração e o local de trabalho seja menor que R_p .

A Figura 1 mostra exemplo de mapa com funcionários, pontos de concentração candidatos criados utilizando as 3 opções descritas acima e a resposta otimizada do agrupamento com os pontos de concentração ativos e os funcionários associados aos pontos de concentração ativos.

⁴ <https://developers.google.com/places/documentation/>



Figura 1 - Exemplo com funcionários, PC candidatos e PC ativos

b) Determinação dos Pontos de Parada

A definição dos pontos de parada é realizada de forma manual e exclusivamente pelo usuário do sistema, pois esta decisão exige o conhecimento das vias onde os veículos podem circular. Nesta decisão o usuário precisa observar o sentido das vias, se é permitido o trânsito de ônibus, se o local não representa perigo para os funcionários, dentre outros.

Além disso, para um ponto de concentração ativo é obrigatório que sejam definidos dois pontos de parada: um de ida (embarque) para o local de trabalho e outro para o retorno (desembarque) para as residências dos funcionários. Estes dois pontos não são classificados a priori como embarque ou desembarque, está é uma decisão do modelo de roteirização. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra um exemplo desta decisão a partir dos pontos de concentração definidos na etapa anterior.



Figura 2 - Exemplo de pontos de parada associados a PC ativos

c) Modelo de Roteirização

Esta seção apresenta o modelo que utiliza algoritmos genéticos e busca local para otimizar a roteirização dos veículos. O modelo apresentado nesta seção é baseado nos trabalhos propostos por Prins (2004) e Penna, Subramanian e Ochi (2013).

Representação

A representação utilizada neste trabalho é uma representação indireta baseada em ordem (que passará por um processo de decodificação), composta por dois segmentos de números inteiros: o primeiro segmento representa a ordem de programação dos veículos e o segundo segmento representa a ordem de programação dos pontos de parada (coleta e entrega) para cada veículo do primeiro segmento.

Esta representação foi escolhida pois transformando o problema em um problema baseado em ordem que garante que todas as soluções serão viáveis.

Para exemplificar a representação, considere uma programação com 5 veículos e 16 pontos de parada. Neste caso, os indivíduos serão representados por seqüências aleatórias dos códigos dos veículos e dos pontos de parada, como mostram as Tabela 1 e Tabela 2.

1	3	5	4	2
---	---	---	---	---

Tabela 1 - Exemplo de representação do segmento de veículos

5	1	2	8	10	11	15	7	6	14	12	3	9	4	10	13
---	---	---	---	----	----	----	---	---	----	----	---	---	---	----	----

Tabela 2 - Exemplo de representação do segmento de pontos de parada

A programação é construída seguindo o processo de decodificação descrito a seguir.

Decodificação

```

1: Decodificador (Indivíduo)
2:   custoVariavel = 0;
3:   custoFixo = 0;
4:   CustoTotal = 0;
5:   numeroPassageiroProgramados = 0;
6:   paracada veiculo no segmento de veiculos faça
7:     paracada pontoParada no segmento de pontos de parada faça
8:       se VerificaCapacidadeVeiculo(veiculo, pontoParada) = verdadeiro então
9:         se VerificaTempoViagem(veiculo, pontoParada) = verdadeiro então
10:           pontoParada inserido na programação de ida do veículo
11:           pontoParadaComplementar inserido na programação de volta do veículo
12:           Incrementa custoVariavel
13:           Incrementa numeroPassageiroProgramados
14:         fim se
15:       fim se
16:     fim paracada
17:   se veiculo foi programado então
18:     Incrementa custoFixo
19:   fim se
20:   custoTotal = custoFixo + custoVariavel
21: fim paracada
22: atualiza aptidão do individuo com custoTotal e numeroPassageiroProgramados
23: fim Decodificador

```

Após a decodificação dos indivíduos são realizadas buscas locais nos roteiros gerados pelo algoritmo genético proposto. As buscas locais intra-roteiro utilizadas foram:

- *Reinsertion*: um ponto de parada (embarque) e seu complementar (desembarque) são removidos e inseridos em outra posição da rota;
- *Exchange*: permutação entre dois pontos de parada.

As buscas locais inter-roteiro utilizadas foram:

- *shift(1,0)*: um ponto de parada (embarque) e seu complementar (desembarque) são transferidos de uma rota $r1$ para outra rota $r2$;
- *shift(2,0)*: dois pontos de parada (embarque) e seus complementares (desembarque) são transferidos de uma rota $r1$ para outra rota $r2$;
- *swap(1,1)*: permutação entre um k ponto de parada (embarque) e seu complementar (desembarque) da rota $r1$ e um l ponto de parada (embarque) e seu complementar (desembarque) da rota $r2$.



Figura 3 - Exemplo de roteirização

Avaliação da Solução

As soluções são avaliadas considerando os seguintes componentes:

1. Maximização do número de funcionários transportados;
2. Minimização do custo fixo;
3. Minimização do custo variável;

4. Resultados

O sistema foi desenvolvido em 3 linguagens de programação: C# .NET, C++ e JavaScript. A interface com usuário e módulos de roteirização em C#, os módulos de agrupamento em C++ e camada de visualização e manipulação dos mapas em JavaScript.

O número de funcionários do horário administrativo varia de 200 a 2000, de acordo com o local de trabalho. Entretanto, na maioria dos locais de trabalho, o número de funcionários de HA fica entre 400 e 700. Portanto, para este trabalho foram escolhidos dois cenários reais com 582 (cenário 1) e 661 (cenário 2) passageiros.

No cenário 1 foram realizados testes variando a distância máxima caminhada do funcionário até os pontos de concentração, os tipos de veículos disponíveis para a roteirização e com utilização ou não da restrição de conforto dos passageiros. Os testes realizados neste cenário tem objetivo apenas de observar o efeito destas variações no resultado da otimização.

No cenário 2 foram realizados testes utilizando os mesmos parâmetros utilizados atualmente variando-se apenas os tipos de veículos disponíveis para a roteirização. Neste cenário foi utilizado o “Google Place API” para criação de pontos de concentração candidatos adicionais. Os resultados da otimização neste cenário foram comparados com a realidade atual da unidade operacional.

A Figura 4 mostra parte do cenário 1 com a visualização no mapa.

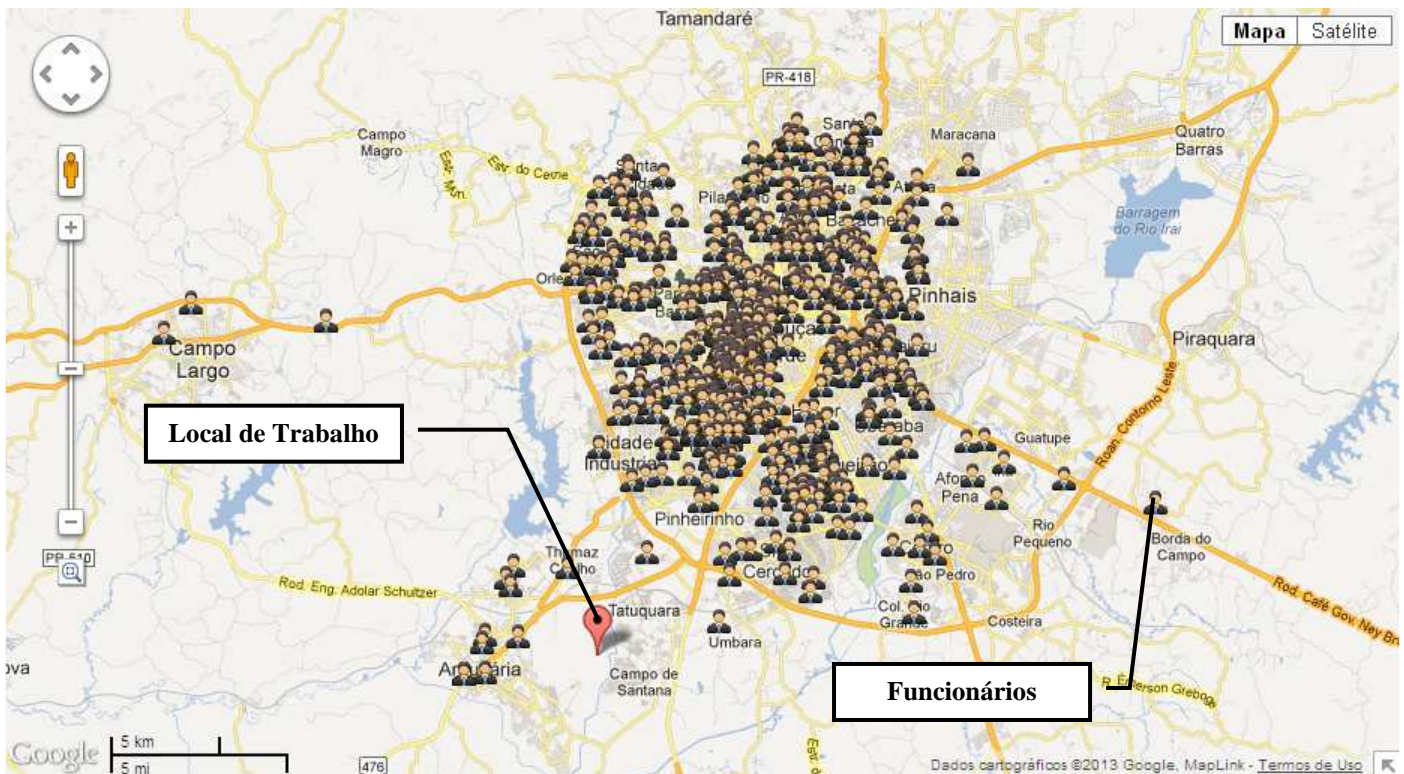


Figura 4 – Exibição no mapa de parte do cenário real testado

a) Modelo de Agrupamento

Para resolver o modelo de otimização de agrupamento foi utilizado o GUROBI 5.5 e a execução foi em um computador com um processador Intel Core 2 Duo com 2,8 GHz e com 3 GB de RAM.

Na fase de agrupamento foram testadas três variações do parâmetro R_f : 0,8 km, 1,2 km e 1,5 km. O objetivo desta variação foi testar o impacto da distância máxima caminhada no número de pontos de concentração ativos e conseqüentemente no número de pontos de paradas.

A Tabela 3 mostra o resultado da otimização com a variação do parâmetro de distância máxima caminhada. Conforme esperado, o número de pontos de concentração ativos diminuiu com o aumento do R_f .

Cenários	Resumo dos Dados de Entrada			Resumo dos Dados de Saída			
	Passageiros	Pontos de concentração candidatos	Distância máxima caminhada (km)	Passageiros concentrados ⁵	Pontos de concentração Ativos	GAP (%)	Tempo Otimização (s)
1a	582	555	0,8	581	143	0,00	0,69
1b	582	555	1,2	581	110	0,00	1,91
1c	582	555	1,5	581	66	0,0085	17,86
2a	661	1221	1,0	642	192	0,00	1,36
2b	661	1221	1,2	642	177	0,00	2,47

Tabela 3 - Resultado do modelo de agrupamento

A Figura 5 mostra o resultado parcial da otimização do agrupamento do cenário 2.

⁵ Alguns passageiros não foram concentrados, pois a distância do ponto de concentração candidato que o passageiro poderia ser associado estava à uma distância maior que o limite R_p .

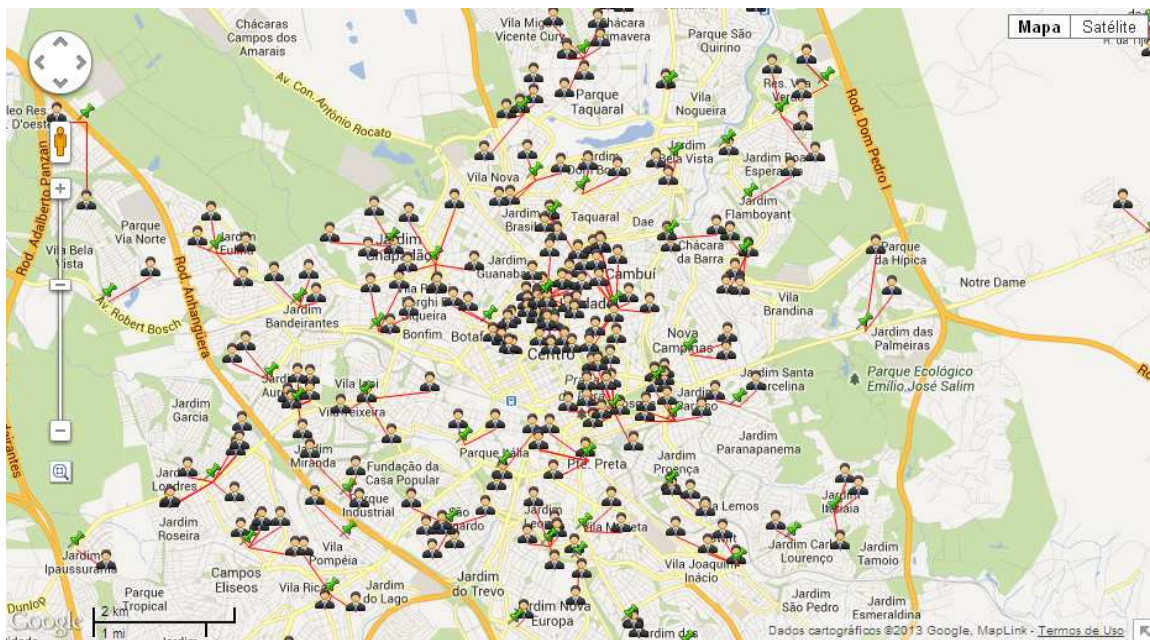


Figura 5 - Parte do resultado do agrupamento do cenário 2

b) Modelo de Roteirização

Os testes do modelo de roteirização do cenário 1 foram realizados considerando os resultados obtidos nos cenários 1a, 1b, 1c. Os pontos de parada dos cenários 1a, 1b e 1c foram criados automaticamente pelo sistema nas mesmas coordenadas dos pontos de concentração ativos. Os cenários ficaram com 286, 220 e 132 pontos de parada, respectivamente. Nos cenários 1a, 1b, e 1c foram testados com um tempo limite de viagem de 90 minutos, com e sem a restrição de conforto dos passageiros e duas configurações de tipos de veículos: com frota homogênea com veículos de 44 lugares e com frota heterogênea com veículos de 44 lugares e 24 lugares. A Tabela 4⁶ mostra a configuração dos veículos utilizada nos testes do cenário 1.

Os testes do modelo de roteirização do cenário 2 foram realizados considerando os resultados obtidos nos cenários 2a e 2b. Os pontos de parada destes cenários foram criados pelo responsável na unidade operacional pela programação dos veículos e ficaram com 384 e 354 pontos de parada. O cenário 2a e 2b foram testados, com o mesmo tempo limite de viagem de 120 minutos. Os cenários com frota homogênea são 2aa e 2ba e os cenários com frota heterogênea são 2ab e 2bb. Devido a restrições de confidencialidade os custos dos veículos não podem ser publicados e no resultado da otimização serão exibidos apenas a variação do custo total em relação ao praticado atualmente na unidade.

Tipo	Capacidade	Custo Fixo (R\$/dia)	Custo Variável (R\$/km)	Quantidade
Ônibus	44	250	1,2	30
Micro	24	150	0,7	50

Tabela 4 – Configuração dos tipos de veículos do cenário 1

Os testes realizados no cenário 1 foram feitos 10 experimentos com 300 indivíduos, evoluindo por 500 gerações, com re-inicializações mantendo 10% dos melhores indivíduos até que fosse atingido o critério de parada de 15 minutos de execução (30 minutos para frota heterogênea) ou de 300 gerações sem alterações no valor da função objetivo. Nos testes do cenário 2 foram utilizadas as mesmas configurações com limite de tempo de execução de 10 horas.

O segmento de veículos usa os seguinte operadores de crossover: *partial-mapped crossover*

⁶ Os dados referentes ao custo fixo e custo variável são fictícios.

(PMX), *order crossover* (OX) e *cycle crossover* (CX). O segmento de pontos de parada usa os seguintes operadores de crossover: *Sub-tour Exchange Crossover* (SXX), proposto por Yamamura e Kobayashi (1992); *Greedy Selection Crossover* (GSX). Proposto por Cheng e Gen (1994) e *Generalized Partition Crossover* (GPX), proposto por Whitley, Hains e Howe (2010). Os segmento de veículos e o segmento de pontos de parada usam os seguintes operadores de mutação: *inversion mutation* e *insertion mutation* descritos em Gen e Cheng (1996).

Cenários	Parâmetros		Resumo dos Dados de Saída				
	Restrição de Conforto do Passageiro	Tempo Máximo Otimização (min)	Número Veículos ⁷	Ocupação (%)	Custo Fixo (R\$/dia)	Custo Variável (R\$)	Custo Total (R\$)
1aa	SIM	15	21	62,88	5250,00	1318,65	6568,65
1aa	NÃO	15	18	73,36	4500,00	1295,59	5795,59
1ab	SIM	30	25(14/11)	66,02	5150,00	1242,00	6392,00
1ab	NÃO	30	23(11/12)	75,26	4550,00	1190,70	5740,70
1ba	SIM	15	19	69,50	4750,00	1203,14	5953,14
1ba	NÃO	15	17	77,67	4250,00	1165,31	5415,31
1bb	SIM	30	21(9/12)	84,94	4050,00	1018,14	5068,14
1bb	NÃO	30	19(9/10)	91,35	3750,00	1031,75	4781,75
1ca	SIM	15	15	88,03	3750,00	1068,37	4818,37
1ca	NÃO	15	15	88,03	3750,00	1019,38	4769,38
1cb	SIM	30	17(11/6)	92,52	3650,00	873,90	4523,90
1cb	NÃO	30	16(11/5)	96,19	3500,00	856,12	4356,12

Tabela 5 - Resultados da roteirização do cenário 1

Os resultados dos testes do cenário 1 são mostrados na Tabela 5. Conforme esperado, cenários que permitem maior distância caminhada até o ponto de concentração (conseqüentemente com menor número de pontos de parada) e sem a restrição de conforto do passageiro tem o custo total reduzido.

A Figura 6 mostra um exemplo de roteiro otimizado do cenário 2 e a Figura 7 mostra um destaque deste roteiro mostrando o roteiro de ida (linha verde) e o roteiro de volta (linha vermelha).

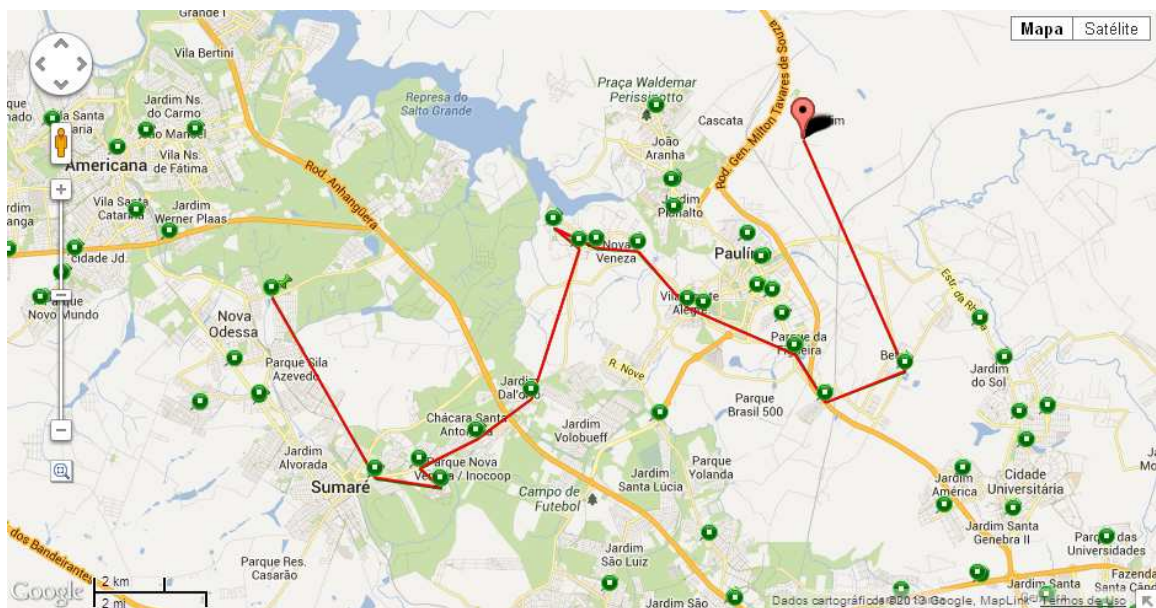


Figura 6 - Exemplo de um roteiro otimizado do cenário 2

⁷ Total de veículos utilizados (veículos de 44 lugares/veículos de 24 lugares)

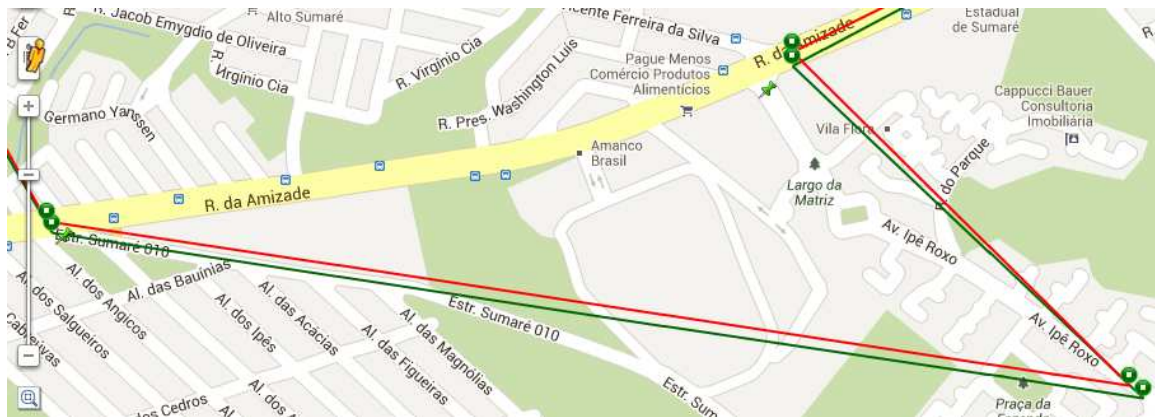


Figura 7 – Destaque do roteiro

Os resultados dos testes do cenário 2 são exibidos na Tabela 6 e mostram um ganho de 17,6% (configuração 2aa) considerando a mesma configuração atual de distância máxima caminhada, tempo máximo de viagem e veículos utilizados. Os demais resultados (configuração 2ab, 2ba e 2bb) mostram ganhos de até 22,6% com o aumento da distância máximo caminhada em 20% e inclusão de frota heterogênea.

Cenários	Parâmetros		Resumo dos Dados de Saída	
	Tipo Frota	Tempo Máximo Otimização (h)	Redução Custo Total (%)	Redução Custo Total (R\$/ano)
Atual	Homogênea	-	-	-
2aa	Homogênea	10	17,6	714.300,00
2ab	Heterogênea	10	20,8	845.995,00
2ba	Homogênea	10	21,5	874.547,00
2bb	Heterogênea	10	22,6	917.375,00

Tabela 6 - Resultados da roteirização do cenário 2

5. Considerações Finais

Neste trabalho foi apresentado o problema de transporte de funcionários da Petrobras do horário administrativo e uma solução híbrida foi proposta. A abordagem de solução adotada para resolver o problema foi dividi-lo em três subproblemas. O primeiro subproblema é o agrupamento de passageiros em pontos de concentração onde a solução é obtida por um modelo de programação matemática. O segundo subproblema é a definição, pelo usuário, dos pontos de paradas a partir agrupamento anterior. O terceiro subproblema, cuja solução é obtida por um modelo baseado em algoritmos genéticos, é a roteirização dos veículos para transportar os passageiros associados aos pontos de parada definidos pelo usuário do sistema.

Os resultados obtidos mostram que o sistema desenvolvido fornece subsídios objetivos para a realização dos novos contratos com as empresas de transporte, além de reduções de custos esperados da ordem de 10 a 20 %. Ademais, o uso do sistema permite que sejam feitos ajustes a soluções correntes com facilidade, o que é uma necessidade freqüente.

Em trabalhos futuros, pretende-se implementar as demais buscas locais descritas em Penna, Subramanian e Ochi (2013) e um algoritmo similar para resolver o problema do horário de turno, que necessita de um modelo diferente do modelo do horário administrativo na fase de roteirização.

6. Referências

- Angel, R. D.; Caudle, W. L.; Noonan, R. and Whinston, A. (1972). "Computer-assisted school bus scheduling". *Management Science*, vol. 18, No. 6 (February), pp. 279-288.
- Bennett, B. T. and Gazis, D. C. (1972). "School bus routing by computer". *Transportation Research*, vol. 6, No. 4 (December), pp. 317-325.
- Bodin, L. D. and Berman, L. (1979). "Routing and scheduling of school buses by computer". *Transportation Science*, vol. 13, No. 2, pp. 113-129.
- Cheng, R.; Gen, M. (1994). "Crossover on intensive search and traveling salesman problem". *Computers & Industrial Engineering*, Volume 27, Issues 1-4, Pages 485-488
- Fügenschuh, A. (2009). "Solving a school bus scheduling problem with integer programming". *European Journal of Operational Research*, vol. 193, No. 3 (March), pp. 867-884.
- Laporte, G. (1988). Location-routing problems. In Golden, B. and Assad, A., editors, *Vehicle Routing: Methods and Studies*, pages 163-197. North Holland.
- Li, L. and Fu, Z. (2002). "The school bus routing problem: A case study". *Journal of the Operational Research Society*, vol. 53, pp. 552-558.
- Martínez, L. M. and Viegas, J. M. (2011). "Design and deployment of an innovative school bus service in Lisbon". *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 20, pp. 120-130.
- Newton, R. M. and Thomas W. H. (1969). "Design of school bus routes by computer". *Socio Economic Planning Sciences*, vol. 3, No. 1, pp. 75-85.
- Penna, P. H. V., Subramanian, A., and Ochi, L. S. (2013). "An Iterated Local Search heuristic for the Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem". *Journal of Heuristics*, Volume 19(2), pp. 201-232, Print ISSN 1381-1231, Publisher Springer US, 2013.
- Prins, C. (2004). "A simple and effective evolutionary algorithm for the vehicle routing problem". *Computers & Operations Research*, Volume 31, Issue 12, Pages 1985-2002.
- Riera-Ledesma, J. and Salazar-González, J. J. (2012). "Solving school bus routing using the multiple vehicle traveling purchaser problem: A branch-and-cut approach". *Computers & Operations Research*, vol. 39, No. 2, pp. 391-404.
- Spada, M.; Bierlaire, M. and Lieblich, T. M. (2005). "Decision-aiding methodology for the school bus routing and scheduling problem". *Transportation Science*, vol. 39, No. 4 (November), pp. 477-490.
- Yamamura, M; Kobayashi, T Ono (1992). "Character-Preserving Genetic Algorithms for Traveling Salesman Problem". *Journal of Japanese Society for Artificial Intelligence* Vol.7.
- Whitley, W.; Hains, D.; Howe, A. (2010). "A hybrid genetic algorithm for the traveling salesman problem using generalized partition crossover", *Proceedings of the 11th international conference on Parallel problem solving from nature: Part I, Kraków, Poland*.