

# Omnibus - Sistema de Transporte de Funcionários da Petrobras

**Mayron Rodrigues de Almeida** - mra@petrobras.com.br - TIC/TIC-SERV/SPO  
**Pierre Novis Mendonça** - pierremendonca@petrobras.com.br - TIC/TIC-SERV/SPO  
**Maria Cristina Ferreira Gomes** - mcgomes@petrobras.com.br - TIC/TIC-SERV/SPO

**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.

## 1 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 (HT) 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 funcionários; 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 trabalho.

**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 e; 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;

## 2 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 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.

### 2.1 Modelo de Agrupamento

Para agrupar os funcionários em pontos de concentração utilizamos um modelo de programação matemática. Para detalhes deste modelo veja Almeida and Mendonça (2013). 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; o “Google Place API”<sup>1</sup> e criados pelo usuário utilizando o mapa. 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.

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



### 2.2 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 transito de ônibus, se o local não representa perigo para os funcionários, dentre outros. Além disso, para cada 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 figura 2 mostra um exemplo desta decisão a partir dos pontos de concentração definidos na etapa anterior.

<sup>1</sup>Para detalhes veja <https://developers.google.com/places/documentation/>

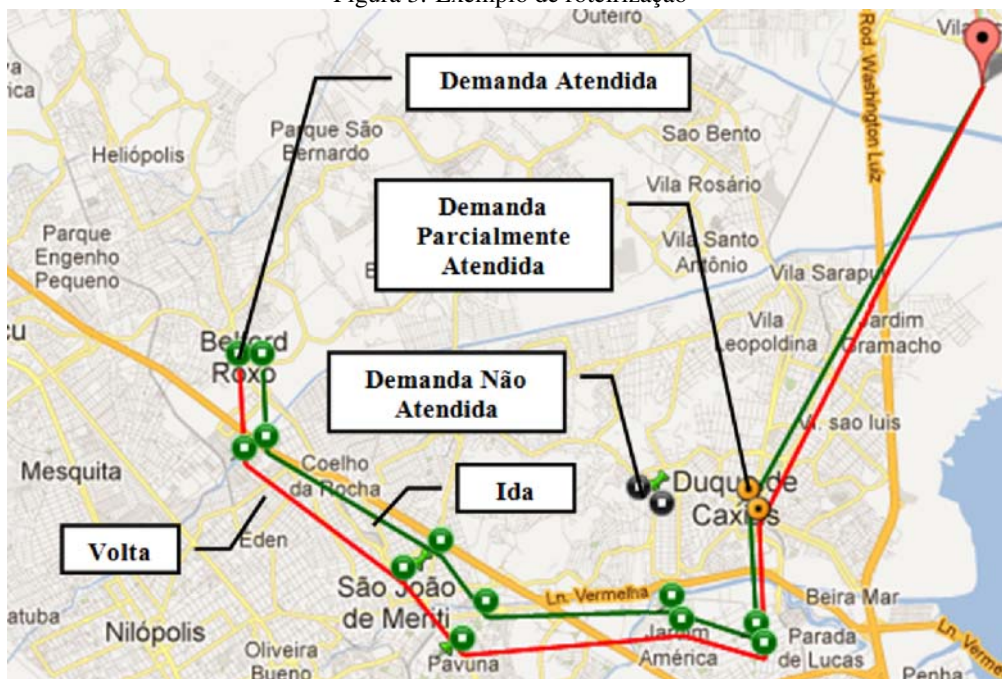
Figura 2: Exemplo de pontos de parada associados a PC ativos



### 2.3 Modelo de Roteirização

O modelo de roteirização utilizado neste trabalho utiliza um método híbrido contido por algoritmos genéticos e busca local. O modelo apresentado nesta seção é baseado nos trabalhos propostos por Penna et al. (2013) e Prins (2004). A figura 3 mostra um exemplo de roteirização realizada pelo módulo de otimização do sistema.

Figura 3: Exemplo de roteirização



## 3 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 escolhemos um cenário real 661 passageiros. 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.

Foram realizados testes utilizando os mesmos parâmetros utilizados atualmente variando-se a distância caminhada e os tipos de veículos disponíveis para a roteirização. Na fase de agrupamento foram testadas duas variações de distância caminhada: 0,8 km e 1,2 km. Denominamos estas variações com  $Va_x$  e  $Vb_x$ . 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. O resultado obtido pelo modelo de agrupamento foi de 192 e 177 pontos de concentração ativos para as distâncias caminhada de 0,8 km e 1,2 km, respectivamente.

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  $Va_x$  e  $Vb_x$  foram testados, com o mesmo tempo limite de viagem de 120 minutos. Os cenários com frota homogênea são  $Va_a$  e  $Vb_a$  e os cenários com frota heterogênea são  $Va_b$  e  $Vb_b$ . 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.

O resultado (veja tabela 1) da otimização deste cenário foi comparado com a realidade atual da unidade operacional e mostram um ganho de 17,6% (configuração  $Va_a$ ) considerando a mesma configuração atual de distância máxima caminhada, tempo máximo de viagem e veículos utilizados. Os demais resultados (configuração  $Vb_a$ ,  $Va_b$  e  $Vb_b$ ) mostram ganhos de até 22,6% com o aumento da distância máxima caminhada e inclusão de frota heterogênea.

Tabela 1: Resultado Final

Cenários	Tipo Frota	Redução Custo Total	
		(%)	R\$/ano
Atual	Homogênea	-	-
$Va_a$	Homogênea	17,6	714.300,00
$Va_b$	Heterogênea	20,8	845.995,00
$Vb_a$	Homogênea	21,5	874.547,00
$Vb_b$	Heterogênea	22,6	917.375,00

O sistema está sendo utilizado em todas as refinarias, nas unidades de fertilizantes e no Comperj. Com a extrapolação dos resultados obtidos, estima-se uma redução de custos entre 10% e 20%, que representa aproximadamente uma redução de R\$ 8 milhões/ano a R\$ 16 milhões/ano.

## 4 Conclusões

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.

## Referências

- Almeida, M. R. and Mendonça, P. N.** (2013). Sistema de transporte de funcionários da petrobras. pages 2634–2645. ANAIS DO XLV SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional.
- 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*, 19(2):201–232.
- Prins, C.** (2004). A simple and effective evolutionary algorithm for the vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 31(12):1985–2002.