Solução Parcial para o Problema do Rodízio de Tripulação

Suelaine D. G. Andrade, Gustavo Peixoto Silva
PPGCC - Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação
UFOP - Universidade Federal de Ouro Preto
Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil
email: suelaine.andrade@gmail.com, gustavo@iceb.ufop.br

***Resumo*—O planejamento operacional do sistema de transporte urbano tem sido extensamente abordado, mas ainda é uma área desafiadora para as empresas tanto do setor público como privado. Ele permite reduzir os custos com mão de obra, melhor utilização dos recursos e distribuição mais equilibrada das jornadas para as tripulações. O Problema do Rodízio das Tripulações (PRT) é a última fase dentre as etapas de planejamento do sistema de transporte público urbano. A finalidade é atribuir a cada tripulação de uma empresa uma sequência mensal de jornadas diárias de trabalho de forma que a carga seja distribuída da forma mais justa possível. Neste trabalho O PRT será abordado como uma sequência de problemas de designação das jornadas diárias e resolvido para uma tripulação pelo método de fluxo em redes.**

***Keywords*-transporte, rodízio de tripulações, grafos, fluxo em redes, análise de complexidade.**

I. Introdução

De acordo com [1], os processos de planejamento no transporte público incluem várias fases, como: planejamento estratégico, tático, operacional e controle em tempo real.

O planejamento estratégico está relacionado à descrição dos modos de transporte público que serão usados em uma localidade.

Já a escolha do tipo de veículo, itinerários, locais de implantação das estações, entre outros, são definidos no processo de planejamento tático.

No operacional é tratada a execução das atividades presumidas nos outros planejamentos. Nele, um conjunto de atividades é desenvolvido pelas empresas gestoras para organizar a operação do sistema de transporte coletivo, com a finalidade de alocar de forma melhorada os recursos necessários ao atendimento da demanda e à produção dos serviços com maior eficiência e eficácia possível. Além de definir as linhas e traçados, criação do quadro de horários, programação dos veículos, tripulações e o rodízio destas.

Na fase de controle em tempo real ocorre a avaliação e manutenção de todo o processo.

A primeira etapa do planejamento deve cobrir todas as áreas da cidade, o trajeto deve ser o mais direto possível de forma a diminuir as distâncias e o tempo dos percursos.

Na segunda fase é gerado um quadro de horários que deve levar em consideração a demanda local, que varia de acordo com o horário no dia e com o dia da semana.

A programação de veículos, terceira fase, também conhecida na literatura com *Vehicle Scheduling Problem*, segundo [2] tem sido extensivamente estudada nos últimos 40 a 50 anos. Ela é responsabilidade das empresas de transporte público e consiste em criar uma rotina diária de operações para uma frota de veículos ligados à empresa, para atender as viagens definidas anteriormente. Seu objetivo é reduzir os custos cumprindo todas as viagens através da diminuição do tempo de desocupação do veículo, do número de deslocamentos realizados sem passageiros e do número de trocas de linhas. Há algumas restrições operacionais como o tempo mínimo que o veículo pode permanecer na garagem, o máximo que um veículo pode ficar parado em um ponto final, entre outras.

Já na quarta fase, a programação da tripulação, também conhecida como *Bus Crew Scheduling Problem*, é gerada uma escala de trabalho, ou um conjunto de jornadas para as tripulações que conduzirão a frota de ônibus em operação. Estas jornadas devem contemplar todas as viagens sob responsabilidade da empresa e satisfazer a um conjunto de leis e restrições com o menor custo possível. Nesta etapa, as viagens são agrupadas em *tarefas* em que cada uma corresponde a uma sequência de viagens consecutivas que devem ser executadas por um veículo e por uma mesma tripulação. Estas séries de viagens de cada ônibus devem ser previamente definidas na programação de veículos. A solução deste problema envolve um grande número de possíveis soluções.

O foco principal deste artigo está na última fase de planejamento operacional, especificamente no rodízio das tripulações.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: a próxima Seção (II), explica com maiores detalhes o problema abordado e sua importância. As etapas, procedimentos e algoritmos executados para se alcançar os objetivos deste trabalho são mostradas na Seção III. Na Seção IV, é apresentada a análise de complexidade dos algoritmos propostos, enquanto na Seção V são apresentados e discutidos os experimentos realizados, a conclusão em VI e em VII uma idéia para trabalhos futuros.

II. O Rodízio de Tripulações

As empresas de transporte público são encarregadas de cumprir diariamente um quadro de horários de viagens para cada linha concedida a elas. As tripulações, compostas por motoristas e cobradores, segundo Silva e Cunha em [3], recebem um conjunto de viagens que deve ser executado. No entanto estas jornadas apresentam diferenças como horários de início e término, tempo de duração e turno de trabalho.

Para realizar o planejamento destas jornadas, hoje, as empresas utilizam o sistema de escala fixa. Nele as tripulações realizam as mesmas jornadas de trabalho todos os dias.

A vantagem deste sistema é a construção, que é simples, por outro lado, é bastante custoso para as empresas além de ser um tanto parcial para os funcionários. Dispendioso por não permitir a compensação de horas e injusto pelo critério de seleção, que é o tempo de casa dos funcionários, em que os mais antigos podem escolher as jornadas que mais os atraem, mas normalmente as tripulações recebem os mesmo salários.

O rodízio de tripulações, em contraste com o sistema de escala fixa, visa permitir uma carga de trabalho mais imparcial aos funcionários e distribuição equânime das horas-extras. A ideia principal é permitir jornadas de trabalho intercaladas, com o objetivo de compensar as horas extras com horas ociosas de jornadas de dias posteriores.

Assim, o Problema do Rodízio de Tripulações visa determinar um conjunto de escalas mensais de trabalho (compostas, cada uma, de uma sequência de jornadas diárias de trabalho) que devem ser atribuídas às tripulações de uma empresa de transporte público, com o objetivo de se produzir jornadas mais justas e reduzir os gastos, respeitando as regras trabalhistas e operacionais.

As jornadas são compostas de um conjunto de viagens que devem ser feitas por uma mesma tripulação em um dia. Para cada dia existe um conjunto de jornadas que devem ser cumpridas, as *jornadas diárias* e há um quadro para todos os dias úteis, outro para sábados e outro para domingos (que é igual ao de feriados).

Elas apresentam características que as separam das outras como:

1) *horário de início*, ou partida da primeira viagem,
2) *horário de término*, em que o funcionário está liberado do expediente de trabalho,
3) *ociosidade*, quando a duração de uma jornada é inferior à carga normal de trabalho,
4) *hora extra*, ao contrário de ociosidade, são as horas superiores à carga normal de uma jornada,
5) *dupla pegada* que indica se houve interrupção superior a duas horas durante o horário de trabalho,
6) *turno* em que a jornada inicia e *noturna* que aponta se a jornada é do tipo noturno.

O PRT e os Problemas de Programação Diária são muito estudados através de aplicacões na área de transportes, como o aero e ferroviário, urbano e interurbano. A atenção maior dada a estes dois problemas ocorre devido principalmente aos impactos nos custos.

Ernst et al. (2004a) destaca Bodin *et al.* (1983) e Carraresi δ Gallo (1984) como os principais trabalhos que abordam o PRT no sistema de transporte público.

Segundo Bodin em [4], o modelo de escalonamento cíclico usado para a classe de problemas de trabalhadores com localização fixa e pode ser usado para alguns problemas de rodízio. Assim, o tempo t é de um dia e a demanda dt é o número de tripulações requeridas para o dia t. Simplificadamente, o horizonte de programação é de uma semana e os dt's são iguais para todos os dias. O modelo de escalonamento cíclico considera todas as jornadas de um dado dia com pesos iguais, o que de fato não ocorre e foge do objetivo da programação dos rodízios que é balancear o trabalho requerido da tripulação minimizando as horas-extras com horas ociosas de forma que todos recebam salários mais uniformes e justos. O modelo proposto por Carraresi δ Galo em [5] tratado neste artigo atribui um peso a cada jornada de acordo com o custo que é para a tripulação. Ele será tratado com maiores detalhes na Seção III.

A. *Motivação*

Conforme Eduardo Vasconcelos aponta em [6], as condições gerais de transporte e trânsito são insatisfatórias para a maioria da população: as grandes cidades dos países em desenvolvimento apresentam níveis baixos de serviço de transporte público, altos índices de acidentes de trânsito, congestionamento, poluição ambiental e invasão dos espaços habitacionais e de vivência coletiva por tráfego inadequado.

A insatisfação dos motoristas e cobradores, o aumento no preço das passagens pode agravar estes problemas pela perda de passageiros, que muitas vezes optam pelo transporte privado, causando um aumento no número de veículos circulando na cidade, amplificando a poluição, os engarrafamentos e o *stress* causado pelo trânsito.

O planejamento do sistema de transporte urbano torna-se de fundamental importância para garantir um desempenho satisfatório do modelo de circulação urbana. A escala variável traz benefícios para motoristas, cobradores, que contam com uma divisão mais imparcial das atividades, o que torna o ambiente de trabalho mais amigável, beneficiando também os passageiros.

Assim, as empresas poderão contar com diminuição nos gastos com horas-extras, o que diminui a pressão sobre os preços das tarifas.

Um dos grandes desafios científicos é o desenvolvimento de estratégias de solução mais simples, mais rápidas e mais robustas, que resultem em um bom desempenho computacional.

III. MÉTODOS

A metodologia utilizada possui como base o modelo proposto por Carraresi e Galo em [5] considerando as características do sistema de transporte brasileiro.

Para cada jornada um peso é associado, que representa uma medida do custo da jornada para a tripulação (tempo excedido ou ocioso).

Segundo [5] este problema de encontrar um balanceamento das jornadas sobre um dado intervalo de tempo é formulado como encontrar o peso máximo total das jornadas ligadas e uma tripulação de forma que seja minimizado.

Este modelo formula o PRT para um horizonte de m dias, cada dia com n jornadas. Ele é tratado como um problema de encontrar no grafo da Figura 1, n caminhos disjuntos do primeiro conjunto de nodos ao último, de tal forma que o caminho mais longo tenha mentor custo). Para $m = 2$ temos o problema padrão de designação com gargalo. Já para $m > 2$ o problema é chamado de Problema de Designação Multi-Nível com Gargalo (*Multilevel Bottleneck Assignment Problem - MBA*)

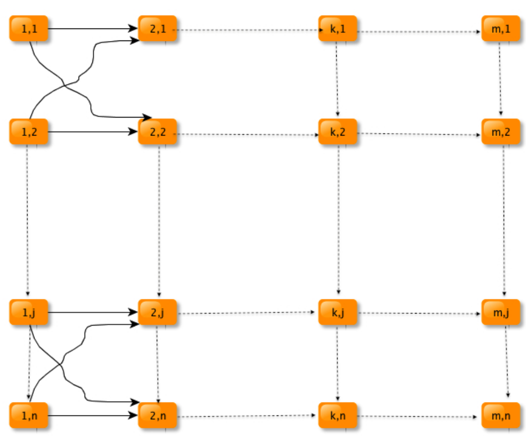

Figura 1. Grafo das Jornadas

Para uma única tripulação, por exemplo, o problema corresponde a encontrar um caminho de um dos nodos do primeiro conjunto a a um dos nodos do m-ésimo conjunto (dia). Seu tamanho total é dado pela soma dos pesos de cada nodo utilizado no caminho.

Os autores assumem que um mesmo conjunto de jornadas deve se repetir a cada dia. Um nó $< k, i >$ representa a jornada i no dia k (nível). Um arco do nó $< k, i >$ para o nó $< k+1, j >$ é incluído se as jornadas i e j puderem ser feitas pela mesma tripulação em dias consecutivos.

Tais arcos são indicados como $(k; i, j))$ com fluxo x_{ij}^k recebendo valores 0 ou 1.

Considere que $S_k(j)$ seja o conjunto de jornadas que podem ser associadas ao dia $k+1$ para a mesma tripulação para a qual a jornada j foi associada no dia k.

Considere que $P_{k-1}(j)$ represente o conjunto de jornadas que podem ser associadas no dia $k-1$ à mesma tripulação que a jornada j foi associada no dia k.

No grafo, 1 $S_k(i)$ representa os sucessores do nó (k, j), enquanto $P_k(i)$, o conjunto de nós antecessores.

A formulação matemática pode ser dada por:

Minimizar z, sujeito a:

$$\sum_{j \in S_{k(i)}} x_{ij}^k = 1;\ k = 1, ..., m-1;\ i = 1, ..., n. \tag{1}$$

$$\sum_{i \in P_{k(j)}} x_{ij}^k = 1; k = 1, ..., m-1;\ j = 1, ..., n; \tag{2}$$

$$s_j^1 \ = \ w_{1j};\ j = 1, ..., n. \tag{3}$$

$$s_j^k \ = w_{kj} + \sum_{i \in P_{k(j)}} \ j = 1, ..., n;\ k = 1, ..., n. \tag{4}$$

$$s_j^k = w_{kj} + \sum_{j \in P_{k-1(j)}} s_i^{k-1} x_{ij}^{k-1}, \tag{5}$$

$$j = 1, ..., n;\ k = 2, ..., m. \tag{6}$$

$$s_j^m \leq \ z;\ j = 1, ..., m. \tag{7}$$

$$x_{ij}^k \in \{0, 1\};\ k = 1, ..., m-1;\ i, j = 1, ..., n. \tag{8}$$

Em que:

$S_{k(i)}$ e $P_{k(i)}$ foram definidos anteriormente como o conunto de nós sucessores e predecessores do nós k,
s é a soma dos pesos(pesos acumulados) de todas as jornadas utilizadas até o dia k, em que
w_{kj} é o peso de associar cada jornada j ao dia k
z é o peso total (acumulado) que deve ser minimizado,

$$\sum_{j \in S_{k(i)}} x_{ij}^k$$

é o parâmetro que diz se a jornada j pode ser adiciona no dia $k+1$ à jornada i que ocorreu no dia k.

$$\sum_{i \in P_{k(j)}} x_{ij}^k$$

é o parâmetro que diz se a jornada j pode ser adiciona no dia $k-1$ à jornada i que ocorreu no dia k.

O problema 1 tem uma solução factível se e somente se, para cada $k = 1, ..., m-1$, o conjunto

$$Y_k = \{x^k : \sum_{j \in P_{k(j)}} x_{ij}^k = 1;\ x_{ij}^k \in \{0, 1\};\ i, j = 1, ..., n\} \tag{9}$$

não estiver vazio.

Segundo [5], uma solução provável $(X; z)$ da Equação 9 é uma solução estável se, para $k = 1, 2, ...m - 1$, (x^k, z) é uma solução ótima para o problema de designação de gargalo seguinte:

$BA^k(X)$: Minimizar ξ, sujeito a:

$$\sum_{j \in S_{k(i)}} \xi_{ij} = 1;\ i = 1, ..., n. \tag{10}$$

$$\sum_{i \in P_{k(j)}} \xi_{ij} = 1;\ j = 1, ..., n; \tag{11}$$

$$\xi \ \geq \ s_i^k + \sum_{i \in S_{k(i)}} v_j^k \xi_{ij}, i = 1, ..., n; \tag{12}$$

$$\xi_{ij} \in \{0, 1\};\ i, j = 1, ..., n. \tag{13}$$

$$\tag{14}$$

em que

$$X = (x^1, x^2, ..., x^{m-1})\ e\ x^k = (x_{ij}^k) \tag{15}$$

e

$$\{s_j^1 = w_{1j}, j = 1, ..., n; \tag{16}$$

$$\{s_j^k = w_{kj} + \sum_{j \in P_{k-1(j)}} s_i^{k-1} x_{ij}^{k-1},\ j = 1, ..., n;\ k = 2, ..., m. \tag{17}$$

$$\{v_i^{m-1} = w_{mj}, i = 1, ..., n; \tag{18}$$

$$\{v_i^k = w_{k+1i} + \sum_{j \in S_{k+1(i)}} v_j^{k+1} x_{ij}^{k+1}, \tag{19}$$

$$i = 1, ..., n;\ k = m - 2, ..., 1. \tag{20}$$

O Algoritmo que encontra uma solução estável para o problema de designação multi-nível com gargalo(MBA) inicia-se a partir da solução (X, z) em que $X = (w^1, w^2, ..., w^{m-1})$ com w^k um vetor nulo e $z = 0$. O problema BA$^i(X)$ é resolvido e é determinada uma designação factível entre os dois primeiros conjuntos de nós.

Considere que x^1 seja um vetor que define uma atribuição e z^1 o valor da função objetivo. No algoritmo, é feita a associação $X = (x^1, w^2, ..., w^m, z = z^1)$, resolvido o problema para cada instância até que seja obtida a solução (X, z) dos $m-1$ níveis únicos dos problemas de designação com gargalo.

No sistema desenvolvido foram implementados dois algoritmos: o primeiro para designação das jornadas através ddo sistema de alocação fixa da tripulação sobre as jornadas e o segundo para geração da solução com otimização (minimização) dos custos baseado nos dados de [5].

Ambos os algoritmos estabelecem a alocação das jornadas no horizonte de m dias para uma tripulação.

São consideradas as restrições dadas na equação 1 além da distinção no tratamento dos dias da semana, que se discernem em três tipos: dias úteis, Sábados e Domingos. Este tratamento diferenciado se faz necessário pois as jornadas se distinguem de acordo com o tipo do dia. Então não é possível, nem positivo trabalhar sobre um horizonte de m dias iguais, já que na realidade isso não ocorre. O número máximo total de jornadas consideradas é fixo.

Após o carregamento dos dados (jornadas, tempos, custos, dias) recebidos pela empresa, os algoritmos recebem como parâmetros estes dados junto com os padrões de tamanhos das entradas.

O primeiro algoritmo construído, alocação fixa, é bastante simples em complexidade. Ele itera sobre o número de dias e internamente sobre o número de jornadas e a cada repetição adiciona uma jornada fixa ao rodízio de acordo com o tipo do dia em questão. Este algoritmo não leva em consideração custos nem tempos, apenas as jornadas.

Já o segundo algoritmo procura minimizar os custos resultantes da associação das jornadas. Como no algoritmo de [5] ele determina uma solução estável.

Ele considera:

1) $z =$ Custo acumulado
2) $X =$ Conjunto de jornadas do rodízio da tripulação em questão
3) $x =$ jornada adicionada no momento ao rodízio
4) $FBA(k, X) =$ selectBestJorn - Função que seleciona a melhor jornada no momento a adicionar ao resultado final com base no objetivo de mimizar o gasto com horas-extras compensando com ociosas

O método selectBestJorn() funciona da seguinte forma: dado um conjunto de jornadas, seu tamanho e o custo acumulado, verifica sobre todas as jornadas disponíveis qual, em associação(soma) com o custo obtido nas etapas anteriores, terá o resultado que mais aproximado de zero e retorna a jornada escolhida. Ao final é obtido um caminho com custo pequeno, muitas vezes próximo de zero. O Código é o seguinte:

Em um primeiro momento é inicializado o rodízio e associada automaticamente a primeira jornada ao primeiro dia e consequentemente os custos desta jornada são acrescentados.

Posteriormente, para cada dia é verificado o tipo do dia e com base nele é definida a melhor jornada a acrescentar naquele momento. Se a jornada for viável, ela é acrescentada a melhor jornada no momento ao rodízio. Este procedimento é repetido sucessivas vezes para cada dia até se obter uma jornada possível para acrescentar e no final uma solução estável.

IV. Análise de Complexidade

Algoritmo 1:

O Algoritmo 1, faz exatamente uma iteração sobre o número m de dias e aninhada, outra sobre a quantidade n de jornadas existentes.

Portanto ele faz

$$m * n$$

comparações no pior caso, no melhor e no caso médio, ou seja, ele é

$$\Theta(mn)$$

Sobre o número de comparações executadas.

Algoritmo 2:

Em um primeiro momento ele realiza a função *inicializa-rodizio*, que neste caso tem custo 1 pois não há iterações nem recursões. Depois ele realiza m iterações sobre o número de dias do rodízio e a cada iteração ele efetua uma comparação (sobre o tipo do dia), entra na função para determinar a melhor jornada a acrescentar e depois faz novamente uma comparação e repete até encontrar a solução.
Assim, tem-se:

$$(2 * m) + (C(Y) * m)$$

em que $C(Y)$ é o custo da função *selectBestJorn*.

Agora vamos analisar o custo de *selectBestJorn*. A função faz $n + 1 - 2 = n - 1$ (número de jornadas) iterações e a cada iteração faz uma comparação. Portanto o seu custo é:

$$n - 1$$

.

E desta forma o custo se torna:

$$2m + m(n - 1)$$

No entanto há, superiormente às iterações realizadas para encontrar a solução a partir de inicializarodizio, um loop que repete até que ele encontre a melhor jornada no momento.

Deste modo, obtém-se o custo para: Melhor Caso - Encontra sempre na primeira vez que entra em selectBestJorn

$$2m + m(n - 1)$$
$$= (mn)$$

Pior Caso - Encontra sempre na última vez que entra em *selectBestJorn*, ou seja entra $n$vezes

$$2m + n(m(n - 1)$$
$$= (mn^2)$$

Caso médio - Encontra na metade das vezes que procura, ou seja entra $n/2$ vezes

$$2m + n/2(m(n - 1)$$
$$= (mn^2)$$

V. Experimentos

Os testes foram feitos em um computador com
- Processador 2.3 GHz Intel Core,
- Memória de 4 GB 1333 MHz DDR3,
- Ambiente de desenvolvimento: NetBEans Versão 6.9.1

Os dados dos experimentos podem ser visto nas tabelas I e II.

Foram testadas instâncias de tamanho 1, 10, 100, 1000 e 100.000 referentes ao número de dias para ambos os algoritmos.

Na Tabela I estão os custos acumulados (valor de horas extras menos o valor de horas ociosas) .

Pode-se notar que os custos do algoritmo de alocação fixa aumenta consideravelmente de acordo com o número de dias, afinal o valor é sempre m vezes o custo da jornada. Este valor varia de acordo com o valor da jornada. Neste caso o valor foi 3600, ou seja, há muitas horas extras nesta jornada. Mas poderia poderia também ser negativo se a jornada gerasse horas ociosas ou nulo caso a jornada tenha o tempo normal.

O importante a se observar aqui é que embora em alguns poucos casos o resultado do custo possa ser zero, que é a situação em que a jornada não gera hora extra nem hora ociosa, este resultado não chegaria a ser uma vantagem. Neste caso específico há até uma pequena relevência, pois nao haveria custo para a empresa, mas sua significatividade é muito baixa, pois não é o caso que ocorre sempre.

Na realidade o que ocorre é que há várias jornadas a serem cumpridas e várias tripulações a serem alocadas . Algumas tripulações normalmente fazem horas-extras e recebem por isto, o que gera gastos para a empresa, enquanto as outras não geram gastos mas são inutilizadas ou injustiçadas.

Como pode ser observado, os custos da alocação otimizada variam um pouco, mas sempre são muito baixos quando comparados aos custos do sistema de jornadas fixas(36 para 3600 para um dia ou -35 para 302400, por exemplo). Com isto, as tripulações teriam menos injustiças e a empresa não gastaria muito com horas extras, podendo até diminuir o valor das passagens, ou até pagar melhor os motoristas que trabalharão mais satisfeitos. De qualquer forma traria benefícios à sociedade.

O número de dias não faz muita diferença para o custo, já que ele é minimizado a cada jornada acrescentada.

Com relação aos tempos de execução e gasto de memória não houve grandes mudanças ou valores muito consideráveis, nem entre os dois métodos ou sobre o número de dias.

A tabela com os tempos de execução foi omitida devido a ocorrerem tempos de execução menores do que zero segundos, enquanto a Tabela II exibe o gasto de memória em cada um dos métodos.

VI. Conclusão

Este trabalho apresenta uma representação da alocação fixa e outra heurística, esta baseada em algoritmo de fluxo

Tabela I
TABELA DE CUSTOS

Método	Custo	Entradas(Dias)				
		1	10	100	1000	100000
Carraresi e Gallo		36	-36	-35	-37	np
Alocação Fixa		3600	32400	302400	np	np

Tabela II
TABELA DE MEMÓRIA EXIGIDA

Método	Memória	Entradas(Dias)				
		1	10	100	1000	100000
Carraresi e Gallo	785	783	780	779	780	np
Alocação Fixa	783	785	786	np	np	np

em redes, para resolução do Problema de Rodízio de Tripulação considerando n jornadas, uma tripulação e m dias.

Esta metodologia apresenta o problema sob a forma de um grafo cujos linhas representam os dias, colunas as jornadas e a solução para uma tripulação como a minimização de um caminho neste grafo do primeiro dia ao último. Considerando os parâmetros adotas, os dois métodos são capazes de gerar soluções viáveis rapidamente, sendo o de alocação variável capaz de gerar soluções bem melhores que o de alocação fixa.

Com a flexibilização das atribuições de jornadas obtem-se uma carga de trabalho mais justa para os funcionários (trocadores e motoristas) e economia para a empresa.

VII. TRABALHOS FUTUROS

Os próximos trabalhos devem considerar as diversas restrições legais, como folga fixa, tempo entre jornadas, entre outros e também ser ampliáveis para várias tripulações. Devem também tratar a forma de alocação de memória dinamicamente.

REFERÊNCIAS

[1] M. Mesquita, A. Paias, J. Paixao, M. Pato, and A. Repicio, "A new model for the integrated vehicle-crew-rostering problem and a computational study on rosters," *Springer Science Business Media*, vol. 14, no. 4, pp. 319–334, 2010.

[2] S. Butan and N. Kliewer, "Decision support operations research lab an overview on vehicle scheduling models," *Transportes*, vol. 2, no. 18, pp. 37–45, 2010.

[3] G. P. Silva and C. B. Cunha, "Uso da tecnica de busca em vizinhanca de grande porte para a programcao da escala de motoristas de onibus urbano," *Transportes*, vol. 2, no. 18, pp. 64–75, 2010.

[4] L. Bodin, B. Golden, A. Assad, and M. Ball, "Routing and scheduling of vehicles and crews: The state of the art," *Computers and Operations Research*, vol. 2, no. 10, pp. 63–211, 1983.

[5] P. Carraresi and G. Gallo, "A multi-level bottleneck assignment approach to the bus driver's rostering problem," *European Journal of Operational Research*, vol. 16, no. 2, pp. 163–173, 1984.

[6] E. A. Vasconcelos, *Transporte Urbano espaco e Equidade: Analise das Politicas Publicas*. Sao Paulo: AnnaBlume, 2001, vol. 1.