

EDUARDO CORDEIRO DE SOUZA

**MODELAGEM E RESOLUÇÃO DE UM PROBLEMA DE TRANSPORTE DO  
TIPO: “CARGA ÚNICA–COLETA E ENTREGA” COM JANELAS DE TEMPO**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo para obtenção do título  
de Mestre em Engenharia

**SÃO PAULO**

1999

EDUARDO CORDEIRO DE SOUZA

**MODELAGEM E RESOLUÇÃO DE UM PROBLEMA DE TRANSPORTE DO  
TIPO: “CARGA ÚNICA - COLETA E ENTREGA” COM JANELAS DE TEMPO**

Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo  
para obtenção do título de Mestre em  
Engenharia.

Área de concentração:  
Engenharia Naval

Orientador:  
Prof.Dr.Marco A.Brinati

**SÃO PAULO**

**1999**

Dedico à minha esposa Sônia, ao  
meu falecido pai Carlos e à  
minha mãe Maria.

## AGRADECIMENTOS

Aos Professores Doutores Oscar B. Augusto e Cláudio Cunha, por suas contribuições inestimáveis para a elaboração desta Dissertação.

Ao colega Celso Hino, que me auxiliou bastante com o pacote computacional GAMS e à todos outros colegas da sala de pós graduação, que de uma maneira direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

À minha esposa Sônia, por seu incentivo e apoio, sem os quais não seria possível levar a cabo a realização deste trabalho.

Não posso deixar de agradecer também, ao Prof. Dr. Marco Antônio Brinati, por sua orientação e contribuições durante o desenvolvimento desta Dissertação, além das oportunidades de aprendizado durante este período.

Finalmente, gostaria também de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo suporte financeiro parcial durante o período de confecção deste trabalho.

## SUMÁRIO

**Lista de figuras e tabelas**

**Resumo**

**“Abstract”**

### **CAPÍTULO 1**

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1- CARACTERÍSTICAS ECONÔMICAS PRINCIPAIS DO SETOR DE TRANSPORTE.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 – ABORDAGEM LOGÍSTICA .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 – OBJETIVO DO TRABALHO.....</b>	<b>6</b>
<b>1.4 – DELINEAMENTO DO TRABALHO.....</b>	<b>7</b>

### **CAPÍTULO 2**

<b>CARACTERIZAÇÃO DE NOSSO PROBLEMA DE TRANSPORTE ...</b>	<b>9</b>
<b>2.1 – CENÁRIO DO PROBLEMA DE TRANSPORTE DESTES TRABALHO.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2 – CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DO TRANSPORTE .....</b>	<b>12</b>
<b>2.3 – MEDIDAS DE RENDIMENTO DO TRANSPORTE .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4 – CRITÉRIO PARA DETERMINAÇÃO DE CUSTOS .....</b>	<b>18</b>
<b>2.5 – CONCLUSÃO .....</b>	<b>20</b>

### **CAPÍTULO 3**

<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1- PROBLEMA GERAL DE COLETA E ENTREGA (PGCE).....</b>	<b>21</b>
<b>3.2 – MÉTODOS DE RESOLUÇÃO.....</b>	<b>27</b>
<b>3.2.1 – MÉTODOS DE RESOLUÇÃO PARA O PGCE.....</b>	<b>28</b>
<b>3.2.2 – PCE COM MÚLTIPLOS VEÍCULOS (m-PCE) E JANELAS DE TEMPO.....</b>	<b>31</b>
<b>3.2.3 – CARGA ÚNICA-COLETA E ENTREGA SEM JANELAS DE TEMPO...</b>	<b>33</b>
<b>3.3 – CONCLUSÃO .....</b>	<b>34</b>

### **CAPÍTULO 4**

<b>APRESENTAÇÃO DA MODELAGEM PROPOSTA.....</b>	<b>36</b>
<b>4.1 – INTRODUÇÃO.....</b>	<b>36</b>
<b>4.2 – A MODELAGEM.....</b>	<b>38</b>
<b>4.2.1 – MODELO MATEMÁTICO DE FLUXO DE VEÍCULOS.....</b>	<b>39</b>
<b>4.2.2 – DESCRIÇÃO DA MODELAGEM PROPOSTA.....</b>	<b>43</b>
<b>4.3 - GERAÇÃO DE ROTEIROS VIÁVEIS .....</b>	<b>44</b>
<b>4.3.1 – PARÂMETROS DO PROBLEMA .....</b>	<b>45</b>
<b>4.3.2 – ALGORITMO PARA A GERAÇÃO DE ROTEIROS VIÁVEIS E CÁLCULO DOS RESPECTIVOS CUSTOS .....</b>	<b>47</b>
<b>4.4 – ESTRUTURA DO PROBLEMA PARA SELEÇÃO DOS MELHORES ROTEIROS .....</b>	<b>52</b>

## **CAPÍTULO 5**

<b>TESTES DE DESEMPENHO.....</b>	<b>55</b>
<b>5.1 – EXEMPLOS GERADOS.....</b>	<b>56</b>
<b>5.2 – SAÍDA DO ALGORITMO DE GERAÇÃO DE ROTEIROS.....</b>	<b>65</b>
<b>5.3 – SAÍDA DO ALGORITMO DE SELEÇÃO DE ROTEIROS (GAMS)...</b>	<b>69</b>
<b>5.4 – RELATÓRIO DE TRANSPORTE.....</b>	<b>75</b>

## **CAPÍTULO 6**

<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>79</b>
<b>6.1 – SÍNTESE DO TRABALHO DESENVOLVIDO.....</b>	<b>79</b>
<b>6.2 – SUGESTÕES. ....</b>	<b>83</b>

<b>BIBLIOGRAFIA .</b>	<b>85</b>
-----------------------	-----------

**APÊNDICE A – Dados de entrada para os exemplos 1 e 1 A**

**APÊNDICE B – Arquivo saída do GAMS (Reduzido) para o exemplo 1**

**APÊNDICE C – Arquivo saída do GAMS (Reduzido) para o exemplo 1 A**

**APÊNDICE D – Parâmetros de Implementação Computacional**

**APÊNDICE E – Algoritmo de geração de roteiros viáveis**

**APÊNDICE F – Algoritmo de geração de relatório de programação**

## LISTA DE FIGURAS E TABELAS

<b>FIGURA 4.1</b> – Diagrama de blocos do algoritmo utilizado para geração dos roteiros viáveis.....	<b>52</b>
<b>TABELA 5.1</b> – Demanda das tarefas e os locais e distâncias das origens e destinos.....	<b>59</b>
<b>TABELA 5.2</b> – Janelas de tempo para coleta e entrega.....	<b>60</b>
<b>TABELA 5.2A</b> – Horários e tempos de carregamento e descarregamento.....	<b>61</b>
<b>TABELA 5.3</b> – Distâncias das garagens às origens.....	<b>62</b>
<b>TABELA 5.4</b> – Distâncias das garagens aos destinos.....	<b>62</b>
<b>TABELA 5.5</b> – Distâncias entre os locais de entrega das tarefas i aos locais de coleta das tarefas j.....	<b>63</b>
<b>TABELA 5.6</b> – Horários de funcionamento dos pontos de coleta e entrega...	<b>64</b>
<b>TABELA 5.7</b> – Número disponível de veículos do tipo K na garagem G.....	<b>64</b>
<b>TABELA 5.8</b> – Parâmetro $X_{IK}(I,K)$ .....	<b>65</b>
<b>TABELA 5.9</b> – Arquivo CUSTO.PAS.....	<b>67</b>
<b>TABELA 5.10</b> – Arquivo ROT.PAS.....	<b>68</b>



## RESUMO

Nos tempos atuais, em que a capacidade de concorrência está se tornando cada vez mais um fator de sobrevivência de um negócio, empresas do setor de transportes, por meio de um planejamento adequado, podem reduzir significativamente custos, o que melhora a sua capacidade de concorrência. Neste contexto, o presente trabalho tem o objetivo de contribuir com a apresentação de uma forma de modelagem e correspondente método de resolução para um problema de transporte do tipo “CARGA ÚNICA-COLETA E ENTREGA (FULL-TRUCK-LOAD PICKUP AND DELIVERY)” com janelas de tempo. A motivação para este estudo é a programação do atendimento das requisições de uma empresa de transporte rodoviário intermunicipal.

Neste trabalho foi feita uma revisão bibliográfica, analisando-se casos representativos de transporte e comparando-os com o caso proposto, a fim de se identificar procedimentos de modelagem e resolução do problema objeto do presente estudo.

A modelagem proposta para o problema aqui tratado pode ser assim descrita: em uma primeira etapa, são gerados todos os roteiros tecnicamente viáveis para atender as requisições de transporte dentro do período de programação; a seguir, resolve-se um problema de programação linear, do tipo partição de conjunto (set partitioning), para seleção dos melhores roteiros, visando a minimização do custo total de transporte.

O algoritmo de geração de roteiros foi implementado em microcomputador PC-compatível, em linguagem Turbo Pascal 7.0. Para seleção dos melhores roteiros foi utilizado o pacote computacional General Algebraic Modeling System (GAMS) release 2.25. São apresentados resultados computacionais para ilustrar o emprego da modelagem proposta e correspondente método de resolução.

## ABSTRACT

Nowadays, when the capacity of competition is becoming more and more a business survival factor, firms of the transport sector, by means of a suitable planning, can reduce their costs significantly, which gives them a better capacity of competition. In this context, the aim of this study is to contribute for transport planning with the presentation of a model and corresponding solving method for the FULL- TRUCK-LOAD PICKUP AND DELIVERY PROBLEM with time windows. The motivation for this study is the truck fleet planning of a company which attends long distance transport requisitions.

A literature survey is presented in order to show the scenery in which the studied problem is placed and to identify the modeling and resolution procedures applied to them.

The modeling approach used to solve the studied problem can be described like this: in a first step, an algorithm generates all the routes that can attend a set of transport requisitions during the planning period; in a second step, a linear programming problem, of set partitioning type, is solved to select among all the generated routes those which minimize the total transport cost.

The routes generation algorithm was implemented in a PC-compatible microcomputer, in language Turbo Pascal 7.0. For selection of the best routes it was used the package computational General Algebraic Modeling System (GAMS) release 2.25. Computational results are presented to illustrate the employment of the modeling and corresponding resolution method proposed.

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

Neste capítulo inicial, serão apresentadas as características econômicas principais do setor de transporte e será destacada a participação de suas atividades dentro da cadeia logística. A seguir será apresentado o problema de transporte cuja resolução e modelagem são objetivos desta dissertação; finalizando este capítulo, será apresentado um delineamento de como a dissertação está estruturada.

---

#### **1.1- CARACTERÍSTICAS ECONÔMICAS PRINCIPAIS DO SETOR DE TRANSPORTE**

Esta seção se baseou nos trabalhos de Baumol (1979), Hay (1977) e Xavier (1982). É um fato reconhecido que o processo de desenvolvimento se faz acompanhar por um grande incremento de interações no ambiente social e econômico, causadas pela crescente interdependência de atividades cada vez mais especializadas.

Dentre os fatores que favorecem tais interações, estão as condições de acessibilidade e de mobilidade, as quais permitem que as necessidades de deslocamento presentes no processo possam ser convenientemente satisfeitas.

Torna-se, pois, indispensável a presença de um setor encarregado de prestar eficientemente tais serviços, setor este o de Transportes, fornecendo os meios através dos quais os deslocamentos possam ser realizados de maneira adequada.

Caracterizada por sua participação intermediária, a função transporte atua em

múltiplos setores da economia, viabilizando e influenciando a organização de todo o espaço, onde se desenvolvem as atividades econômicas.

O setor de transportes, como qualquer outro setor da economia, depende de dois componentes básicos, que são a Oferta e a Demanda e, também de uma regulamentação.

A oferta pode ser constituída por órgãos privados e públicos que operam nas diversas modalidades, utilizando e mantendo um dado sistema de transportes a determinados custos e oferecendo um nível de serviço variável conforme a quantidade transportada.

A demanda pode ser constituída pelos diversos agentes que, no decorrer de suas atividades, exercidas conforme um determinado padrão, requerem uma certa quantidade de transporte variável com o nível e com o custo do serviço oferecido pelos transportadores. E, através de regulamentação do setor, o governo interfere direta ou indiretamente, tentando, por meio de uma política adequada, desenvolver o setor. Sua atuação ocorre principalmente porque a realização de transportes onera a Economia com determinados custos, que deverão necessariamente ser ressarcidos. Podemos identificar três formas principais de promover esse ressarcimento para o setor transportes e o dimensionamento destas constitui objetivo da Política Fiscal e Tarifária. Uma forma é através da tributação comum, em que a comunidade recolhe seus impostos, que serão posteriormente, em parte, transferidos ao setor de transportes. Outra é pelo pagamento de taxas e impostos vinculados, onde os usuários do setor transferem recursos para o próprio setor. Finalmente, a última corresponde aos recursos despendidos diretamente pelos usuários decorrentes da efetivação de sua viagem em particular, seja para pagamento de frete, pedágio ou

tarifas de carga e descarga.

Esses últimos custos, juntamente com os correspondentes às despesas administrativas, de seguros, estoques e com a imobilização do capital, compõem o custo monetário da viagem e, se a eles forem adicionados os não monetários, que traduzem a confiabilidade do sistema, teremos, então, o custo que será transferido para o usuário.

## **1.2 - ABORDAGEM LOGÍSTICA**

Até agora discorremos sobre a importância do transporte para economia e como interagem o consumidor, o transportador e o governo. Agora vamos analisá-lo sobre o ponto de vista da logística, pois o assunto que este trabalho abordará, modelagem e resolução de um problema de transporte, são ferramentas da logística. Assim, com base nos trabalhos de Cunha (1991)(1997), podemos afirmar que o setor de transportes é muito importante em nossa economia por se tratar de um setor onde é feito o escoamento de produtos acabados, semi-acabados, matérias primas e, além disso, os custos de transportes são incorporados aos preços finais. Deste modo, é fácil perceber a importância de um bom planejamento nesse setor.

A logística é que trata desse planejamento e, como sabemos, os bens gerados, tais como produtos agrícolas, bens de consumo e insumos e seus consumidores estão dispersos. Assim sendo, um enfoque equivocado pode nos trazer custos adicionais que, incorporados nos preços finais, tornarão esses recursos menos competitivos.

Paras as empresas que operam apenas com transporte, também é muito importante ter uma logística bem planejada, pois, se seus custos não estiverem compatíveis com

o do mercado, essa empresa estará fadada ao fracasso.

De uma forma mais simplificada, o transporte é um elemento considerável de custo para os produtos e, deste modo, é de vital importância, para se ter um produto mais competitivo, estruturar um sistema de distribuição de produtos que diminua esses custos de maneira racional.

Nesse contexto, este trabalho vai analisar o transporte rodoviário por caminhões, por este ocupar um papel muito relevante, pois o caminhão pode oferecer um deslocamento de porta a porta, além de ser um elo de ligação entre os demais modais de transporte.

Convém ainda ressaltar que o Brasil investiu muito pouco nos outros modais de transporte; por isto, grande parte do PIB(Produto Interno Bruto) gerada pelos serviços de transportes de carga provém do modal rodoviário. Segundo Novaes(1994), uma forma de quantificar o esforço de transporte é determinar o momento de transporte, ou seja, o total de toneladas-quilômetros executado pelos diversos modos, pois se medirmos a produção apenas em toneladas de carga transportada, estaremos mascarando os resultados, porque o esforço necessário para deslocar a carga é proporcional à distância vencida e à quantidade movimentada. Assim, ainda segundo Novaes(1994), se considerarmos todos os tipos de carga , incluindo graneis líquidos (basicamente petróleo e seus derivados), graneis sólidos (minérios, carvão, cereais em grão) e cargas acondicionadas (caixas, sacarias, etc), a produção dos diversos modos no Brasil (transporte interno) está dividida mais ou menos assim: o modo rodoviário absorve 70%, o modo ferroviário absorve 15%, o modo marítimo (cabotagem) absorve 11%, o modo dutoviário absorve 2,5%, o modo hidroviário (interior) absorve 1% e o modo aéreo absorve 0,5%. Uma das razões

deste fato é que o transporte rodoviário apresenta maior flexibilidade e controle que os demais modais de transporte.

Os custos logísticos associados ao transporte representam uma parcela importante nos custos totais do setor. Segundo Daskin (1985), estima-se que os custos logísticos associados ao transporte representam entre 15 e 23% do PNB(Produto Nacional Bruto) americano, dependendo da consideração ou não do setor de serviços.

Assim, é claro que o transporte rodoviário necessite de modelos eficientes que promovam reduções de custos e ganhos de produtividade, tornando assim as empresas mais eficientes e com possibilidades de crescimento contínuo e, deste modo, o próprio país se tornará mais competitivo.

O setor de transporte é considerado a atividade logística mais importante, pois, absorve, em média, entre um terço e dois terços dos custos logísticos totais. Isto se deve ao fato de que, qualquer que seja o ramo de atividade de uma empresa do setor produtivo, o seu acesso ao mercado consumidor requer o transporte de carga.

Vantagens logísticas de uma empresa, no final, irão se reverter em vantagens de custos, os quais poderão ser repassados para o consumidor, tornando assim os seus produtos mais competitivos no mercado.

Isto é reforçado por Bodin et al. (1983), que estimam que os custos associados à distribuição adicionam aproximadamente 400 bilhões de dólares anuais aos custos dos produtos, só no mercado americano, e o principal responsável por este montante é o setor de transporte.

A distribuição é um ramo da logística que engloba atividades como movimentação interna, armazenagem e transporte de produtos acabados, semi-acabados e matérias

primas. O seu gerenciamento se da em três níveis:

- Estratégico onde sua análise é de longo prazo e define linhas gerais do sistema de distribuição.
- Tático que já tem uma análise de médio prazo assegurando maior eficiência na utilização dos equipamentos, veículos e instalações definidas a nível estratégico.
- Operacional que engloba atividades diárias que assegurem o deslocamento dos produtos. Diversas atividades compõem a rotina diária tais como: armazenagem, movimentação interna de materiais, processo de carregamento dos veículos, programação de roteiros, etc.

É no nível tático que este trabalho se encaixa, mais precisamente irá tratar da administração efetiva da operação de veículos e suas respectivas tripulações a médio prazo para garantir maior eficiência, que se traduzirá na minimização de custos.

Na literatura técnica especializada, esta administração dá origem a uma variedade de problemas conhecidos como problemas de roteamento ou roteirização e programação. A saber, o roteamento trata da seqüência de coletas e/ou entregas e a programação trata dos horários de cada evento no roteamento.

### **1.3 - OBJETIVO DO TRABALHO**

Nesta seção faremos uma rápida descrição do objetivo do trabalho, ou seja, uma descrição do cenário do trabalho proposto e a resolução adotada, pois, mais adiante, no capítulo 2, descreveremos melhor o cenário do nosso problema e no capítulo 4



descreveremos a solução adotada para a resolução deste.

Para este trabalho o cenário escolhido foi o transporte do tipo Carga Única-Coleta e Entrega (Full-Truck-Load Pickup and Delivery), o qual será melhor descrito no capítulo 3. Deste modo, em linhas gerais, o cenário do problema seria o de uma empresa que queira programar a alocação de sua frota de veículos, para atender um conjunto de requisições de transporte num dado horizonte de programação. Cada requisição de transporte é do tipo carga única-coleta e entrega (CUCE), isto é, em cada tarefa o veículo selecionado coleta a carga na origem e a entrega no destino sem nenhum carregamento ou descarregamento intermediário.

#### **1.4 - DELINEAMENTO DO TRABALHO**

Para atingir o objetivo anteriormente descrito, esta dissertação está estruturada da seguinte forma:

No CAPITULO 2, definiremos o cenário de nosso problema de transporte, discutindo alguns aspectos que o diferenciam dos outros, e também faremos alguns comentários sobre a determinação dos custos de transporte.

No CAPITULO 3, por meio de uma revisão bibliográfica, detalharemos alguns problemas de transporte mais comumente encontrados nas atividades econômicas e os compararemos com o nosso, examinando se os métodos de tratamento podem ajudar em nossa modelagem.

No CAPITULO 4, apresentaremos a modelagem proposta para o problema que é objeto deste trabalho; o método de resolução consta de dois procedimentos: o primeiro gera todos os roteiros viáveis que atendem às requisições de transporte e o

segundo seleciona os roteiros viáveis que minimizam o custo de atendimento de todas as requisições.

No CAPÍTULO 5, faremos testes de desempenho com exemplos que sejam bem abrangentes para podermos analisar a eficiência dos procedimentos propostos.

Finalmente no CAPÍTULO 6 faremos as considerações finais sobre o trabalho proposto que englobará uma síntese do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

## CAPÍTULO 2

### CARACTERIZAÇÃO DO SETOR DE TRANSPORTE

Neste capítulo detalharemos o problema proposto para este trabalho e também abordaremos algumas características operacionais importantes do setor de transportes, além de critérios de determinação de custos e medidas de eficiência que devem ser levadas em conta no tratamento do problema proposto.

---

#### **2.1 - CENÁRIO DO PROBLEMA DE TRANSPORTE DESTE TRABALHO**

O setor de transporte pode oferecer uma complexidade muito grande de serviços, mas iremos tratar de um problema específico, caracterizando precisamente o seu cenário, de modo a propor uma modelagem e resolução que produzam soluções de boa qualidade.

Dentro do setor de transporte, existe uma gama de problemas conhecidos na literatura especializada como “Problema Geral de Coleta e Entrega (PGCE) (General Pickup and Delivery Problems(GPDP))”, em que uma série de rotas são construídas para atender às requisições de transporte e respectivas restrições operacionais. Entre os problemas do tipo GPDP, três casos, segundo Savelsbergh(1995), são bem conhecidos e estudados e serão melhor detalhados no capítulo 3. São eles: Problema de Coleta e Entrega (PCE) (Pickup and Delivery Problem (PDP)), Dial-a-Ride Problem(DARP) e Problema de Roteirização de Veículos (PRV) (Vehicle Routing Problem(VRP)).

Neste trabalho iremos estudar a programação da operação de frota de uma empresa que faça transporte do tipo “Carga Única-Coleta e Entrega (CUCE)” com janelas de tempo, que é um caso especial do PCE que, como veremos no próximo capítulo, trata dos transportes em que as requisições especificam apenas uma origem e um respectivo destino e os veículos partem e retornam de um depósito central.

O transporte do tipo CUCE consiste no carregamento de uma carga em um ponto de origem e o seu descarregamento em um ponto de destino; a esta operação chamaremos de TAREFA . Além disso, iremos admitir que a empresa de transporte rodoviário faça operações intermunicipais da seguinte forma:

- Pode ou não usar frota própria;
- Pode ou não usar frota homogênea;
- Pode ter um conjunto de garagens onde ficarão alocados os veículos, e cada uma destas garagens terá um limite próprio de número de veículos de cada tipo;
- O veículo sairá de uma certa garagem para atender às tarefas a ele designadas e, após atender a todas as tarefas, voltará para a mesma garagem onde estava alocado;
- As tarefas consistirão em :
  - Fazer o carregamento da carga em um ponto de coleta (origem);
  - Transportar esta carga até um ponto de entrega (destino);
  - Fazer o descarregamento desta carga;

A função desta empresa será atender tarefas estipuladas por clientes através de pedidos; nestes pedidos deverão constar, a fim de planejarmos a roteirização e programação, as seguintes informações:

- Data de emissão do pedido;

- Localização do ponto de origem;
- Data a partir da qual pode ser realizado o carregamento;
- Data máxima em que o carregamento deve estar concluído;
- Janelas de tempo (horários de funcionamento) do ponto de origem nos vários dias que estarão dentro do horizonte de trabalho;
- Localização do ponto de destino;
- Data a partir da qual pode ser realizado o descarregamento;
- Data máxima em que o descarregamento deve estar concluído;
- Janelas de tempo (horários de funcionamento) do ponto de destino nos vários dias que estarão dentro do horizonte de trabalho;
- Tipo de carga a ser transportada e respectiva quantidade, que poderá ser dada em tonelagem ou volume, a medida que for mais restritiva sob o ponto de vista da capacidade de transporte dos veículos.

Deste modo, o objetivo desta empresa será atender a um conjunto de pedidos preestabelecidos, ou seja, iremos tratar de um problema estático, em um horizonte de trabalho que também é conhecido. (Obs.: Este trabalho só irá tratar do problema estático, ou seja, aquele em que todas as tarefas já sejam conhecidas. Na literatura, segundo Saveslsbergh (1995), a resolução de problemas dinâmicos, normalmente, é feita resolvendo-se problemas estáticos várias vezes. Neste trabalho, em muitos casos coleta e entrega serão substituídos por carregamento e descarregamento ).

Este nosso problema se diferenciará da maioria dos outros problemas estudados por tratar principalmente de transporte intermunicipal, onde as viagens podem ser muito longas, com eventuais paradas para descanso e pelo tipo de operação em que sempre depois de um carregamento virá um descarregamento.

## 2.2 - CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DO TRANSPORTE

A seguir, comentaremos as principais características operacionais que devem ser levadas em conta no tratamento do problema de transporte objeto deste trabalho (que, como já vimos, trata-se do transporte rodoviário principalmente intermunicipal) para podermos melhor analisar o nosso problema. No entanto, estas características não são os pontos importantes dentro da modelagem que proporemos, ou seja, estas características serão examinadas previamente fornecendo os dados de entrada para o modelo. As principais características são: carga, operação e rota.

### CARACTERÍSTICAS DA CARGA

Para qualquer problema de transporte é necessário o conhecimento das características da carga, pois é deste conhecimento que definiremos o tipo de veículo, ou seja, qual carroceria é a mais indicada, qual capacidade do veículo e etc. Com o conhecimento do tipo de carga, também definiremos a necessidade ou não da utilização de embalagem, uso de equipamentos especiais de carga e descarga e se há restrições para conservação desta carga. Assim sendo, os principais pontos a se preocupar com a carga são:

- **TIPO DE CARGA:** A carga pode ser sólida, líquida ou a granel, cada tipo tem um procedimento de carregamento e descarregamento diferente. Com o conhecimento da carga, também conheceremos os procedimentos de carga e descarga e, deste modo, poderemos estabelecer os seus respectivos tempos, além de verificarmos também a viabilidade de seu transporte em uma jornada muito longa como no caso de carga perecível.

- **TIPO DE EMBALAGEM:** O tipo de embalagem é importante para podermos determinar a capacidade volumétrica necessária do veículo, já que não apenas as limitações de peso da carga irão determinar a capacidade deste veículo, pois também temos que pensar nas limitações volumétricas do veículo e limitações de altura que a rota possa oferecer, ou seja, na rota podem existir túneis e viadutos que limitem a altura dos veículos que ali trafeguem. Este dado também é importante para conhecermos os procedimentos de carga e descarga.
- **CONDIÇÕES DE CONSERVAÇÃO:** No transporte rodoviário intermunicipal existem tipos de cargas cuja conservação deve ser motivo de preocupação. É o caso dos produtos perecíveis que precisam de veículos com sistema de refrigeração (caminhões frigoríficos). Este item também é importante para determinarmos se a carga pode ser transportada em viagens muito longas.
- **SEGURANÇA:** Produtos para os quais a segurança é prioritária, como é o caso dos produtos tóxicos e corrosivos, necessitam de cuidados especiais principalmente no carregamento e descarregamento. Este aspecto é importante também para podermos definir o tipo de veículo que poderá fazer o seu transporte e quais serão os cuidados que deverão ser tomados nos procedimentos de carregamento e descarregamento.

### **CARACTERÍSTICAS DA OPERAÇÃO**

Na operação, temos que nos preocupar principalmente com os procedimentos de carregamento e descarregamento, determinação da demanda, identificação dos

pontos de origem e destino, janelas de tempo (horários de funcionamento dos locais de origem e destino e jornada de trabalho da empresa de transporte) .

A determinação da demanda diz respeito à sua quantificação, que poderá ser feita levando-se em conta limitações de peso ou volume. Com esse dado, teremos as restrições para a escolha do veículo mais adequado para o nosso roteiro. Neste trabalho iremos considerar frota heterogênea em relação a capacidades dos veículos.

A determinação dos pontos de origem e destino nos dará informações que poderemos utilizar para traçar o trajeto mais adequado que permita que a viagem se faça no menor tempo ou na menor distância. Essas informações serão conseguidas através das informações dos clientes e com a própria experiência do agente transportador e têm grande importância logística para o nosso problema.

Janelas de tempo nos darão informações de restrições de horários para um roteiro, sendo assim o não atendimento destas restrições torna um roteiro inviável. As janelas de tempo consideradas em nosso trabalho serão os períodos em que os carregamentos e descarregamentos podem ser realizados, períodos estes que terão interrupções que serão os horários de funcionamento dos pontos de origem e destino e a jornada de trabalho da empresa de transporte, considerados também como janelas de tempo.

Com o conhecimento dos procedimentos de carga e descarga, como já dito anteriormente, teremos informações que poderemos utilizar para determinar os seus respectivos tempos. Além destes tempos, temos que levar em conta também os tempos perdidos em filas, pesagens, conferências, emissão de documentos e etc, ou seja, todos os tempos em que o veículo fica parado na origem e no destino.



## **CARACTERÍSTICAS DA ROTA**

Com o conhecimento das rotas, poderemos determinar as velocidades em que os veículos poderão trafegar, pois teremos dados como: limites de velocidade e tipos de pavimentos e, deste modo, também poderemos determinar os tempos de trajeto de origem a destino de uma tarefa e destino a origem entre tarefas simultâneas em um roteiro.

Além disso, com o conhecimento das rotas, também teremos o conhecimento de limites de peso que pode ter um veículo para o tipo de pavimento da rota e as alturas limites que poderá ter o veículo em virtude da existência ou não de túneis e viadutos. Deste modo, as limitações mais importantes de uma rota serão as de velocidades, pesos e altura de túneis e viadutos.

### **2.3 - MEDIDAS DE RENDIMENTO DO TRANSPORTE**

Segundo Novaes (1994), para que possamos medir o nível de desempenho de um sistema, é necessário definir uma escala apropriada para a aferição dos resultados, a qual denominamos medida de rendimento.

Este é um fator muito importante para o aumento e manutenção da demanda de uma empresa de transporte, pois é com uma máxima eficiência e alto nível de qualidade nos serviços prestados que uma empresa de transporte irá ganhar dos concorrentes no mercado.

Para os sistemas logísticos em geral, define-se um conjunto de atributos, relacionados com variáveis diversas, formando o que se chama comumente de nível de serviço. Usualmente, o nível de serviço, para os sistemas logísticos, é constituído

pelos seguintes fatores principais: prazo de entrega, avarias e defeitos, extravios e reclamações.

#### Prazo de entrega:

O prazo de entrega é medido pelo seu valor médio e pelo desvio médio (esse último serve para aferir a confiabilidade ou oscilação em torno da média).

A confiabilidade nos prazos é um fator muito importante, pois tanto para as indústrias como para o comércio, a redução do custo de manutenção do estoque é um ponto fundamental, tendo em vista a diminuição das margens de comercialização. Além disto, a não pontualidade nas entregas pode acarretar outros inconvenientes tais como o atraso de um planejamento de produção ou multas por atrasos de entregas.

Apesar de que fatores exógenos tais como filas, trânsito, etc que são fatores difíceis de controlar, fica evidenciada a importância de se respeitar as janelas de tempo e um bom procedimento para isto é, além de um bom planejamento, ter uma boa disponibilidade de veículos na frota, pois acidentes e quebras, que são fatos difíceis de se controlar também, afetam de maneira sensível a confiabilidade de entregas.

Além de entregar a carga intacta e ter prazos confiáveis, uma empresa de transporte, para ganhar concorrências, também tem que ter o menor preço do mercado e isto é possível com um alto grau de ocupação da frota, sendo que este é um item em que com um bom planejamento logístico é possível se conseguir e que é a pauta principal deste trabalho também.

### Grau de avarias e defeitos

Este parâmetro serve para aferir, em termos relativos (porcentagem), o aspecto integridade da carga.

Para a entrega da carga intacta, a empresa de transporte terá que ter um baixo grau de avarias de carga e isto ocorrerá com:

- A escolha de carrocerias adequadas;
- Boa distribuição da carga no veículo;
- Emprego de métodos adequados para a carga e descarga.

### Nível de extravios

Este parâmetro indica o número de mercadorias entregues em um destino errado, furto de parte ou do todo, falta de parte da nota de entrega, etc. Um alto nível de extravio acarretará os mesmos problemas que nos fatores anteriores.

### Reclamações

De uma forma geral, são as dificuldades do cliente em se comunicar com a empresa, falta de follow up dos problemas para correção, mau tratamento por parte dos motoristas e ajudantes, etc que resultam em reclamações. Um alto índice de reclamações evidencia um mau planejamento.

## **2.4 – CRITÉRIO PARA A DETERMINAÇÃO DE CUSTOS**

Determinar custos de transporte é medir monetariamente os recursos utilizados na prestação destes serviços e, como este trabalho tem o intuito de selecionar alternativas de roteiros que minimizem os custos totais do transporte, nesta seção abordaremos, em linhas gerais, a questão de como podem ser determinados os custos de transporte para cada roteiro em relação ao tipo de veículo que o está atendendo. Porém, não faz parte do escopo deste trabalho abordar este assunto com profundidade teórica; deste modo, definiremos apenas um critério prático para a determinação de custos e, para tanto, nos basearemos em um trabalho da empresa Mercedes Benz, dos autores Pade, Mariotto, Adamo e Reche (1992) que descrevem resumidamente algumas definições de custos e mais adiante, no capítulo 4, descreveremos melhor o critério usado para determinarmos custos neste trabalho. É importante lembrar que cada empresa de transporte pode ter o seu procedimento para determinação de custos e para este trabalho não importa qual seja usado.

### **ESTIMATIVA DE CUSTO OPERACIONAL**

O trabalho da Mercedes Benz (1992) só considerou os custos diretos advindos da operação de um veículo de transporte de cargas e as despesas indiretas, embora também influam no custo operacional, são consideradas como um assunto próprio de cada empresa.

O método descrito no trabalho da Mercedes Benz (1992), consiste em uma planilha de cálculo baseada em critérios aceitos e praticados por entidades de classe e literatura especializada ligadas ao setor de transporte de carga e considera três grupos de custos: custos fixos, custos variáveis e custos com motoristas e ajudantes.

- **Custos Fixos:**

Os custos fixos são aqueles que têm origem independentemente da operação do veículo; os principais componentes dos custos fixos são: depreciação por tempo, remuneração do capital, licenciamento e seguro facultativo.

- **Custos Variáveis:**

Os custos variáveis são aqueles que dependem diretamente da operação do veículo, isto é, são os custos que só se manifestam com o veículo rodando; eles variam em proporção direta com a quilometragem percorrida. Os principais componentes dos custos variáveis se devem a gastos com: combustível, óleo de motor, pneus, reparos e manutenção.

- **Custos com Motoristas e Ajudantes:**

Estes custos podem ser abordados como custos fixos ou como custos variáveis, dependendo da empresa de transporte, por esta razão o trabalho da Mercedes Benz (1992) tratou este item à parte de ambos e este grupo de custos abrange dois tipos de custos: motoristas e ajudantes e despesas administrativas.

Deste modo, para a estimativa do custo operacional, a planilha é subdividida em duas partes : a de cálculo propriamente dito e a de resultados, separando os custos nos três grupos vistos anteriormente: custos fixos, custos variáveis e custos com motoristas e ajudantes

## **2.5 - CONCLUSÃO**

O cenário proposto, descrito na seção 2.1, não abrange todas as possibilidades do setor de transporte, mas tem como propósito a resolução de problemas existentes. Assim, dependendo de sua eficiência e aceitação, poderemos criar outros algoritmos mais genéricos, que possam atender uma gama maior de problemas de transporte. Neste capítulo, na seção 2.2, foram apresentadas algumas características gerais de problemas de transportes que serão levadas em conta na modelagem e resolução do problema objeto deste trabalho; os critérios para determinação de custos associados aos roteiros também serão descritos no capítulo 4, com base nos conceitos apresentados na seção 2.4.

## **CAPÍTULO 3**

### **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo faremos um estudo dos problemas de transporte do tipo “Coleta e Entrega (Pickup and Delivery)” encontrados na literatura, pois é nesta classe que se encaixa nosso problema. Abordaremos suas características e formas de resolução e as compararemos com o problema de transporte objeto deste trabalho.

---

#### **3.1- PROBLEMA GERAL DE COLETA E ENTREGA (PGCE)**

Na literatura o nosso tipo de transporte se enquadra na classe do Problema Geral de Coleta e Entrega - PGCE (General Pickup and Delivery Problems), segundo Savelsbergh (1995), em que uma série de rotas são construídas para atender às requisições de transporte e respectivas restrições operacionais. Existe uma frota de veículos disponível para atender estas rotas. Cada solicitação de transporte deve especificar a carga a ser transportada, os locais onde se farão os carregamentos (origens) e os locais onde se farão os descarregamentos (destinos). Cada carga será transportada por um único veículo da origem até o seu destino, sem nenhum carregamento e/ou descarregamento intermediário.

São conhecidos, e muito estudados, três casos especiais do PGCE. O primeiro deles é o Problema de Coleta e Entrega – PCE (Pickup and Delivery Problem), em que cada requisição de transporte especifica apenas uma origem e um respectivo destino e todos os veículos partem e retornam de um depósito central, após cumprir

um roteiro, atendendo uma ou mais requisições. Neste caso, normalmente podem ser feitos vários carregamentos ou descarregamentos consecutivos, apenas respeitando a restrição de que, para se fazer um descarregamento, em um ponto de destino, tem que ter havido o carregamento no respectivo ponto de origem. Evidentemente, a restrição de capacidade do veículo deve ser respeitada em cada trecho do roteiro.

Um segundo caso é o Dial-a-Ride Problem(DARP), que é um PCE onde, ao invés de cargas, há o transporte de pessoas, normalmente designadas clientes; neste tipo de transporte podem ser feito vários carregamentos ou descarregamentos sucessivos e, normalmente, os veículos partem de um ponto central. Como exemplo deste tipo de serviço, podemos citar o transporte de pessoas idosas e deficientes em sistemas no qual a solicitação de serviço é feita via telefone .

O terceiro caso é o Problema de Roteirização de Veículos – PRV (Vehicle Routing Problem), em que temos uma única origem ou um único destino correspondente a um depósito; neste tipo de transporte, após o veículo sair do depósito há apenas carregamentos ou descarregamentos dependendo de qual problema se trata. No caso de termos apenas uma origem, podemos citar como exemplo: lojas de departamento em que temos um depósito central onde são feitos os carregamentos e a partir deste é feita a distribuição para vários pontos de destinos e, normalmente, o retorno do veículo para o depósito ocorre no mesmo dia. Para o caso de um destino e várias origens, podemos citar como exemplo a coleta de lixo domiciliar, hospitalar e industrial.

Para este trabalho o que nos interessa é o PCE, do qual o problema proposto é um caso particular, pois além de especificar um destino para cada origem, ele obriga que



a carga seja, obrigatoriamente, transportada diretamente da origem para o seu destino, sem nenhuma outra operação intermediária .

A seguir, apresentamos a formulação do PCE proposta por Salvesbergh (1995):

Seja  $N$  o conjunto de requisições de transporte. Para cada requisição de transporte  $i \in N$ , seja  $q_i$  a carga movimentada, que será transportada do conjunto de origens

$N_i^+$  para o conjunto de destinos  $N_i^-$ . Cada carregamento é subdividido como se

segue:  $q_i = \sum_{j \in N_i^+} q_j = - \sum_{j \in N_i^-} -q_j$ , adotando-se quantidades positivas para

carregamentos e negativas para descarregamentos. Definimos  $N^+ = \bigcup_{i \in N} N_i^+$  como

o conjunto de todas as origens e  $N^- = \bigcup_{i \in N} N_i^-$  como o conjunto de todos os

destinos e seja  $V = N^+ \cup N^-$ . Além disso,  $M$  será o conjunto de veículos e cada

veículo  $k \in M$  terá uma capacidade  $Q_k$ , um local de partida  $k^+$  e um local de

chegada  $k^-$ . Deste modo, definimos  $M^+ = \{k^+ | k \in M\}$  como o conjunto de locais

de partida,  $M^- = \{k^- | k \in M\}$  como o conjunto de locais de chegada e

$W = M^+ \cup M^-$ .

Para todos  $i$  e  $j \in V \cup W$  seja  $d_{ij}$  a distância de  $i$  para  $j$ ,  $t_{ij}$  o tempo de viagem de

$i$  para  $j$  e  $c_{ij}$  o custo de viagem da origem  $i$  para o destino  $j$ . Note-se que o tempo de

permanência nas origens e destinos pode ser facilmente incorporado nos tempos de

viagens e por esta razão não foi considerado. Outras definições de interesse para o

problema são apresentadas abaixo.

Definição 1 - Seja  $R_k$  uma rota de coleta e entrega para um veículo  $k$  em um

subconjunto  $V_k \in V$  tal que:

- i.  $R_k$  começa em  $k^+$ ;
- ii.  $(N_i^+ \cup N_i^-) \cap V_k = \Phi$  ou  $(N_i^+ \cup N_i^-) \cap V_k = N_i^+ \cup N_i^-$  para todo  $i \in N$ .
- iii. Se  $N_i^+ \cup N_i^- \subseteq V_k$  então todos locais em  $N_i^+$  são visitados antes de todos locais  $N_i^-$ ;
- iv. O veículo  $k$  visita cada local em  $V_k$  exatamente uma vez;
- v. A carga do veículo  $k$  nunca excede  $Q_k$ ;
- vi.  $R_k$  termina sua jornada em  $k^-$ .

Definição 2 - Um plano de coleta e entrega é um conjunto de rotas  $R = \{R_k | k \in M\}$

tal que :

- i.  $R_k$  é uma rota de coleta e entrega para o veículo  $k$ , para cada  $k \in M$ ;
- ii.  $\{V_k | k \in M\}$  é parte de  $V$ .

Também definimos  $f(R)$  como uma função que estabelece o custo total da rota  $R$ , ou seja, que não leve só em conta os custos das viagens. Desta forma, pode-se definir o problema geral de coleta e entrega como o problema:

$$\text{Min}\{f(R) / R \text{ é um plano de coleta e entrega}\}.$$

Com esta formulação do problema, segundo Savelsbergh (1995), os casos especiais de PGCE podem ser caracterizados como a seguir:

Problema de Coleta e Entrega:  $|\mathcal{W}| = 1$  e  $|N_i^+| = |N_i^-| = 1$  para todo  $i \in N$ . Neste caso é definido  $i^+$  como o único elemento de  $N_i^+$  e  $i^-$  como o único elemento de  $N_i^-$ .

Dial-a-Ride Problem:  $|\mathcal{W}| = 1$  e  $|N_i^+| = |N_i^-| = 1$  e  $q_i = 1$  para todo  $i \in N$ .

Problema de Roteirização de Veículos:  $|W|=1$ ,  $|N_i^+|=|N_i^-|=1$  para todo  $i \in N$  e

$N^+ = W$  ou  $N^- = W$ .

Embora a literatura cubra simplesmente problemas de coleta e entrega com  $|N_i^+|=|N_i^-|=1$ , em muitas situações práticas  $|N_i^+|>1$  ou  $|N_i^-|>1$  pode ocorrer e, em algumas destas situações, uma requisição de transporte com  $|N_i^+|>1$  ou  $|N_i^-|>1$  pode, de acordo com Savelsbergh (1995), ser decomposta em várias requisições independentes com um único ponto de origem e ponto de destino. Entretanto, em muitas outras situações, uma requisição com múltiplos pontos de coleta e entrega precisa ser atendida por um único veículo e, por esta razão, não pode ser decomposta. Embora não se conheçam aplicações em que ocorram requisições com  $|N_i^+|$  e  $|N_i^-|$  simultaneamente maiores que 1, estes casos são tratados pela simetria no PGCE, segundo Savelsbergh (1995).

Para a formulação matemática do PGCE, são introduzidos quatro tipos de variáveis de decisão:

1.  $z_i^k$  igual a 1, se o transporte da requisição  $i$  for realizado pelo veículo  $k$ , e zero, em caso contrário;
2.  $x_{ij}^k$ ,  $((i, j) \in (V \times V) \cup \{(k^+, j) | j \in V\} \cup \{(j, k^-) | j \in V\}, k \in M)$ , igual a 1, se o veículo  $k$  viaja do local  $i$  para o local  $j$  e zero em caso contrário;
3.  $D_i$  ( $i \in V \cup W$ ), que especifica o horário de partida na origem  $i$ ;
4.  $y_i$  ( $i \in V \cup W$ ), que especifica a carga do veículo ao chegar ao nó  $i$ .

Desta forma, o modelo matemático do problema é:

Minimizar  $f(R)$

Sujeito às restrições:

$$\sum_{k \in M} z_i^k = 1 \quad \text{para todo } i \in N \quad (3.1)$$

$$\sum_{j \in V \cup W} x_{ij}^k = \sum_{j \in V \cup W} x_{jl}^k = z_i^k \quad \text{para todo } i \in N, l \in N_i^+ \cup N_i^-, k \in M \quad (3.2)$$

$$\sum_{j \in V \cup k^-} x_{k^+j}^k = 1 \quad \text{para todo } k \in M \quad (3.3)$$

$$\sum_{i \in V \cup k^+} x_{ik^-}^k = 1 \quad \text{para todo } k \in M \quad (3.4)$$

$$D_{k^+} = 0 \quad \text{para todo } k \in M \quad (3.5)$$

$$D_p \leq D_q \quad \text{para todo } i \in N, p \in N_i^+, q \in N_i^- \quad (3.6)$$

$$x_{ij}^k = 1 \Rightarrow D_i + t_{ij} \leq D_j \quad \text{para todo } i, j \in V \cup W, k \in M \quad (3.7)$$

$$y_{k^+} = 0 \quad \text{para todo } k \in M \quad (3.8)$$

$$y_l \leq \sum_{k \in M} Q_k z_i^k \quad \text{para todo } i \in N, l \in N_i^+ \cup N_i^- \quad (3.9)$$

$$x_{ij}^k = 1 \Rightarrow y_i + q_i = y_j \quad \text{para todo } i, j \in V \cup W, k \in M \quad (3.10)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\} \quad \text{para todo } i, j \in V \cup W, k \in M \quad (3.11)$$

$$z_i^k \in \{0,1\} \quad \text{para todo } i \in N, k \in M \quad (3.12)$$

$$D_i \geq 0 \quad \text{para todo } i \in V \cup W \quad (3.13)$$

$$y_i \geq 0 \quad \text{para todo } i \in V \cup W \quad (3.14)$$

A restrição (3.1) assegura que cada requisição de transporte é designada para exatamente um veículo. Pela restrição (3.2), um veículo só entra ou deixa um ponto

de coleta ou entrega, se este local for uma origem ou destino de uma requisição de transporte designada para aquele veículo. As restrições (3.3) e (3.4) garantem que cada veículo começa e termina o roteiro no local correto. As restrições (3.5), (3.6), (3.7) e (3.13) garantem a precedência. As restrições (3.8), (3.9), (3.10) e (3.14) juntas garantem que a capacidade do veículo não é excedida. A função  $f(R)$  representa o custo total, que será função da rota, e na formulação de Salvesbergh (1995) não foi explicitado o método de cálculo.

Como vemos, a formulação matemática acima não leva em conta restrições de janelas de tempo nos pontos de coleta ou entrega, condicionante importante para os vários problemas encontrados na prática, mas leva em conta precedência; para o problema objeto deste trabalho levaremos em conta janelas de tempo.

### **3.2 - MÉTODOS DE RESOLUÇÃO**

Ainda de acordo com Savelsbergh (1995), na literatura são mencionados vários critérios para a caracterização da solução ótima do PCE. Entre eles temos:

- Minimizar a duração da rota, que inclui tempos de viagens, tempos de espera, tempos de carregamento e descarregamento e tempos de paradas.
- Minimizar o tempo para completar a rota; quando o horário de partida é fixado em zero, este tempo coincide com a duração da rota.
- Minimizar o comprimento da rota.
- Minimizar inconvenientes para o cliente, critério que pode ser usado no Dial-a-Ride.
- Minimizar o número de veículos.

- Minimizar os custos, que é o mais utilizado pois pode abranger as outras formas e será usado em nossa modelagem.

### 3.2.1 - MÉTODOS DE RESOLUÇÃO PARA O PGCE

Como vimos na seção anterior, os casos mais vistos na literatura do PGCE são o PCE, o DARP e o PRV; para este trabalho, os métodos mais relevantes serão aqueles propostos para os casos de PCE. Entretanto, buscou-se, na pesquisa bibliográfica, também examinar os procedimentos utilizados para resolver os problemas dos demais casos, com a finalidade de encontrar analogias que pudessem ser exploradas na resolução do problema objeto desta dissertação. Os resultados desta pesquisa bibliográfica, para problemas gerais de PGCE, são indicados abaixo.

- Skitt e Levary (1985) propuseram um método de resolução para um problema de roteirização com frota homogênea e múltiplas bases, com restrições de duração de jornada e restrições de local de início/término de roteiro, usando o método de geração de colunas. O problema por eles tratado difere daquele aqui examinado, principalmente, por tratar de frota homogênea, por não considerar janelas de tempos e não haver períodos de paradas no trajeto.

De acordo com Skitt e Levary, a necessidade da utilização do método de geração de colunas vem do fato de que, para se garantir a otimalidade da solução em problemas com um número extremamente grande de rotas viáveis, é necessário um esforço computacional que provavelmente torne a resolução proibitiva, caso o problema de partição de conjunto seja tratado convencionalmente como um problema de programação linear.

O método de geração de colunas, novamente segundo os autores, pode ser utilizado para resolver problemas com muitas colunas e é baseado no princípio de decomposição formulado por Danzig e Wolfe.

Para assegurar a aplicação do método de geração de colunas, é necessário existir um subproblema apropriado, que possibilite encontrar a coluna de mínimo custo marginal. Assim, ao invés de se considerar todas as colunas viáveis, o problema é definido com base em um subconjunto restrito de colunas viáveis, que gere uma solução ótima local; o subproblema que encontra uma coluna que gere uma solução melhor é resolvido repetidas vezes e se, ao final de uma iteração, ocorrer que o custo marginal da solução ótima do subproblema é positivo, então a solução é ótima e o procedimento termina, senão a coluna entra na base e o subconjunto restrito com mais uma coluna é reotimizado e o procedimento continua.

Segundo Haouari et al (1990), a principal vantagem do método é possibilitar lidar com um problema linear, de dimensões reduzidas quando comparado ao problema original, porém eles também afirmam que a eficiência está diretamente relacionada à facilidade de resolução do subproblema e também há a questão da integralidade da solução.

- Desrochers e Soumis (1989) propuseram uma estratégia de solução, também baseada no método de geração de colunas, para um problema de roteamento e programação de veículos de uma frota homogênea sujeita às restrições de janelas de tempo e capacidade dos veículos. O problema por eles tratado difere do problema objeto neste trabalho principalmente por tratar de frota homogênea, não haver períodos de parada no trajeto e usar uma única base.

- Solomon (1987) desenvolveu cinco tipos diferentes de heurísticas de construção de roteiros para resolver problemas de roteirização de uma frota de veículos homogênea, com restrição de janelas de tempo. As heurísticas por ele propostas são dos seguintes tipos: economia, inserção, roteiro gigante, troca e vizinho mais próximo. O problema tratado por Solomon (1987) é diferente do examinado neste trabalho principalmente por tratar de frota homogênea, não haver períodos de parada no trajeto, utilizar uma base apenas e os métodos propostos não serem exatos.
- Kolen (1987), descreveu um algoritmo baseado no método “Branch-and-Bound” para problemas de roteamento com frota homogênea e restrições de janelas de tempo. Este problema difere principalmente do proposto por tratar de frota homogênea e uma só base.

Já para problemas especificamente enquadrados dentro do PCE, encontramos soluções propostas para problemas dos seguintes tipos:

- Problema de Coleta e Entrega com um único veículo e sem janelas de tempo, com resoluções propostas por autores como Psaraftis (1980), Kalantari, Hill e Arora(1985) e Fischetti e Toth (1989);
- Problema de Coleta e Entrega com um único veículo e janelas de tempo, com resoluções propostas por autores como Psaraftis (1983) e Desrosiers, Dumas e Soumis (1986);
- Problema de Coleta e Entrega com múltiplos veículos e sem janelas de tempo, com proposta de resolução de autores como Cullen, Jarvis e Ratliff (1981);
- Problema de Coleta e Entrega com múltiplos veículos e janelas de tempo



(m-PCE), para o qual se encontra um método de resolução proposto por Dumas, Desrosiers e Soumis (1991), que é relevante para o objeto de nosso estudo;

- Problema de Carga Única Coleta e Entrega sem janelas de tempo (PCUCE), com métodos de resolução não tão relevantes quanto os do caso anterior, propostos por Bodin, Ball, Golden e Assad (1983) e Desrosiers, Laporte, Sauve, Soumis e Taillefer (1988).

Para o problema objeto do presente estudo, os trabalhos que mais contribuições podem trazer são aqueles que tratam de problemas de múltiplos veículos e carga única - coleta e entrega, os quais trataremos com mais detalhes a seguir .

### **3.2.2 - PCE COM MÚLTIPLOS VEÍCULOS (m-PCE) E JANELAS DE TEMPO**

Dumas, Desrosiers and Soumis (1991) apresentaram um conjunto de formulações para o problema de coleta e entrega com múltiplos veículos, sujeito a restrições de janelas de tempo e um plano de uso da técnica de Geração de Colunas para determinar a solução ótima do problema. Esta maneira de tratar o problema é muito forte, no sentido de se poder facilmente adaptar diferentes funções objetivos e variantes com múltiplos depósitos e frota heterogêneas de veículos; o método por eles proposto é descrito a seguir.

Seja  $\Omega$  o conjunto de todas as rotas viáveis de coleta e entrega e  $N$  o conjunto de nós a serem atendidos. Para cada rota  $r \in \Omega$  teremos o custo associado  $c_r$ . Para todo  $i \in N$  seja  $a_{ir}$  uma constante binária que assume valor 1, caso o local  $i$  esteja na rota

$r$  e zero em caso contrário. As variáveis de decisão do modelo são as variáveis binárias  $x_r$ ,  $r \in \Omega$ , tais que  $x_r$  assume valor 1, caso a rota  $r$  seja usada na solução ótima e zero em caso contrário. É importante lembrar que, para o m-PCE, é previsto trabalhar com  $|N_i^+| > 1$  e  $|N_i^-| > 1$ , o que torna importante a precedência na geração das rotas. Assim o m-PCE pode ser formulado da seguinte forma:

$$\text{Minimizar Custo} = \sum_{r \in \Omega} c_r x_r$$

sujeito às restrições :

$$\sum_{r \in \Omega} a_{ir} x_r = 1 \quad \text{para todo } i \in N \quad (3.15)$$

$$\sum_{r \in \Omega} x_r = |M| \quad \text{sendo } M \text{ o conjunto de todos os veículos} \quad (3.16)$$

$$x_r \in \{0,1\} \quad \text{para todo } r \in \Omega. \quad (3.17)$$

O número de elementos do conjunto  $\Omega$  pode ser muito grande, seguindo este método exaustivo de enumerar as rotas. Desta forma, para resolução deste problema é utilizado o método de geração de colunas pelo mesmo motivo descrito no trabalho de Skitt e Levary (1985), visto na subseção 3.2.1. O algoritmo proposto conseguiu resolver, segundo Saveslsbergh (1995), problemas com 55 clientes e 22 veículos .

### 3.2.3 – CARGA ÚNICA COLETA E ENTREGA SEM JANELAS DE TEMPO

O Problema de Carga Única é um caso especial do PGCE em que cada carregamento tem que ser transportado diretamente da origem para o destino, ou seja  $|N_i^+| = |N_i^-| = 1$  para todo  $i \in N$ . Neste tipo de problema, o transporte é normalmente chamado de viagem.

Este tipo de problema é um caso especial interessante, já que trabalhando com ele sem janelas de tempo podemos facilmente transformá-lo na variante assimétrica do Problema do Caixeiro Viajante (PCV), no caso de um único veículo, e em um m-PCV, no caso de múltiplos veículos. O conjunto de vértices corresponde ao conjunto de requisições de transporte e a distância entre dois vértices  $i$  e  $j$  é dada por  $d_{i-j^+}$ .

A seguir, são discutidos trabalhos encontrados na pesquisa bibliográfica, que tratam do Problema de Carga Única em que o número de locais de origem ou de destino é pequeno comparado com o número de requisições de transporte.

Bodin, Golden, Assad and Ball (1983) apresentaram dois procedimentos de aproximação para este tipo de problema. Em ambos os procedimentos, constrói-se inicialmente uma rota gigante atendendo todas as requisições de transporte e, então, divide-se esta rota em várias outras rotas viáveis para os veículos.

Desrosiers, Lapot, Sauve, Soumes and Taillefer (1988), desenvolveram um algoritmo de otimização para depósitos múltiplos em que o objetivo é minimizar a distância total percorrida com a existência de restrições de comprimento de rotas.

### 3.3 - CONCLUSÃO

Vimos, na subseção 3.2.1, um procedimento de resolução do problema PCE com múltiplos veículos, sujeito a restrições de janelas de tempo, que prevê a utilização do método de Geração de Colunas para a otimização. O problema objeto deste trabalho também pode se utilizar do método de Geração de Colunas para sua resolução, porém iremos resolver o nosso problema de programação linear do tipo “set partitioning” para seleção dos roteiros ótimos, utilizando todos os roteiros.

Existem diferenças entre o problema do tipo PCE com múltiplos veículos abordado por Dumas, Desrosiers e Soumis (1991) e o problema objeto do presente trabalho. A principal é que no PCE com múltiplos veículos é previsto o caso em que  $|N_i^+| > 1$  e  $|N_i^-| > 1$ , ou seja, o transporte pode fazer vários carregamentos e/ou descarregamentos sucessivos, por exemplo, o veículo pode fazer o carregamento em três origens antes de fazer o descarregamento no primeiro destino associado a uma daquelas três origens. Assim sendo, a precedência é muito importante; já para o nosso problema um descarregamento só pode ser feito depois do seu respectivo carregamento, e depois de um carregamento tem que ser feito um descarregamento, ou seja,  $|N_i^+| = |N_i^-| = 1$ . Outra diferença é a de que para trabalhar com frota heterogênea e vários depósitos, segundo Saveslsbergh (1995), é necessário fazer adaptações.

Na subseção 3.2.3 abordamos o problema do tipo Carga Única-Coleta e Entrega, que é um caso especial do PGCE, como o nosso; porém, no seu tratamento não foram consideradas as restrições de janelas de tempo, o que torna sua formulação diferente da nossa.

Para o presente trabalho escolhemos um método de resolução que se assemelha ao proposto por Dumas, Desrosiers e Soumis (1991) para o m-PCE com janelas de tempo descrito na subseção 3.2.2, lembrando que o problema por eles tratado leva em conta  $|N_i^+| > 1$  e  $|N_i^-| > 1$  e o problema tratado neste estudo leva em conta  $|N_i^+| = |N_i^-| = 1$  (além das diferenças de que no problemas por eles tratado usa todos os veículos e o horizonte de planejamento não tem interrupções e o estudado aqui não precisa usar todos os veículos e o horizonte de planejamento tem interrupções). Este método divide a resolução em duas etapas: uma primeira, em que geramos os roteiros e os custos associados, e uma segunda etapa em que selecionamos os melhores roteiros.

Na segunda etapa também poderíamos utilizar o método da geração de colunas, como na subseção 3.2.2, porém iremos utilizar todos os roteiros para resolver o problema de programação linear do tipo partição de conjunto (set partitioning) para selecionar os melhores roteiros.

Como o problema da subseção 3.2.3 não considera as restrições de janelas de tempo, ele tem uma abordagem diferente, no que se refere ao método de geração de roteiros e resolução, pois resolve o problema utilizando o método do caixeiro viajante.

Além dos trabalhos citados anteriormente, para definir a modelagem foi também feita uma revisão dos seguintes trabalhos: Cullen, Jarvis e Ratliff (1981); Jaw, Odoni, Psaraftis e Wilson (1986); Psaraftis (1988); Ruland, Rodin (1997); Solomon, Desrosiers (1988).

## CAPÍTULO 4

### APRESENTAÇÃO DA MODELAGEM PROPOSTA

Neste capítulo faremos a apresentação da modelagem matemática proposta e o método escolhido, a partir da revisão bibliográfica feita no capítulo 3, para resolução do problema de transporte do tipo carga única – coleta e entrega, com janelas de tempo. Apresentaremos também o algoritmo proposto para geração de roteiros viáveis e custos associados, comentando os parâmetros utilizados na modelagem e o procedimento utilizado; também apresentaremos a estrutura do problema para seleção dos melhores roteiros dentro do pacote computacional escolhido “GAMS”.

---

#### **4.1 - INTRODUÇÃO**

Como visto anteriormente, a finalidade deste trabalho será a modelagem e resolução de um problema de transporte, problema este que contemplará empresas de transporte que querem programar a alocação de suas frotas de veículos, com o intuito de atender uma série de requisições de transporte num dado horizonte de programação e estas empresas farão transporte do tipo Carga Única-Coleta e Entrega (CUCE), o qual já foi comentado no capítulo 3.

Para propor a modelagem e resolução do problema descrito, iremos nos basear no método de resolução desenvolvido por Dumas, Desrosiers e Soumis (1988) (o qual foi rapidamente descrito na subseção 3.2.1) para um problema de transporte do tipo Problema de Coleta e Entrega com múltiplos veículos e janelas de tempo, problema

este que difere basicamente, do problema por eles proposto: por ser necessário que seja feito a entrega de uma carga logo em seguida à sua coleta, ou seja,  $|N_i^+| = |N_i^-| = 1$ ; não ser necessário utilizar todos veículos da frota e haver interrupções no horizonte de planejamento. Quanto ao método de resolução, o problema aqui estudado não utilizará o método de Geração de Colunas em uma das duas etapas em que foi segmentada a resolução.

Os trabalhos que tratavam do transporte do tipo Carga Única-Coleta e Entrega dos autores Bodin, Golden, Assad and Ball (1983) e Desrosiers, Lapot, Sauve, Soumes and Taillefer (1988) não previam restrições de janelas de tempo, que para o problema objeto desse trabalho é muito importante.

Como já vimos antes, no capítulo 3, o transporte tipo Carga Única-Coleta e Entrega (PCUCE) é um caso especial do PGCE, em que cada carga tem que ser transportada diretamente da origem para seu destino, isto é,  $|N_i^+| = |N_i^-| = 1$  para todo  $i \in N$ ,  $q_i = 1$  para todo  $i \in N$  e  $Q_k = 1$  para todo  $k \in M$ , pela formulação de Savelsbergh(1995).

A precedência é muito importante na maioria dos casos de PCE; para o problema objeto do presente trabalho, só levamos em conta a precedência entre carregamentos e descarregamentos, ou seja, todo descarregamento vem depois de um carregamento a ele vinculado. Não há nenhuma restrição de precedência entre duas tarefas quaisquer.

A modelagem do problema também prevê duas etapas de resolução. A primeira delas consiste na criação de um algoritmo que gere roteiros tecnicamente viáveis, ou seja, roteiros que satisfaçam as restrições de janelas de tempo, capacidade e

restrições com relação à rota, carga e operação, conforme visto no capítulo 2; em uma etapa posterior, selecionaremos entre estes roteiros gerados aqueles que minimizem uma função custo resolvendo um problema de partição de conjunto (Set Partitioning Problem), que é um problema clássico de programação linear.

Para problemas de pequeno porte, ou seja, que gerem um número razoável de roteiros, a nossa modelagem permite encontrar a solução viável ótima, se esta existir.

Uma dificuldade desse trabalho é determinar o que é um problema de pequeno porte que o algoritmo resolva e o que não é; só teremos idéia do tamanho do problema depois de tê-lo resolvido de acordo com o procedimento proposto neste trabalho, já que o número de roteiros viáveis gerados depende dos dados das diversas requisições de transporte que serão atendidas. De fato, a possibilidade de que as requisições  $i$  e  $j$  possam ser atendidas por um mesmo veículo depende, entre outros fatores, dos locais de coleta e entrega das respectivas cargas bem como dos correspondentes intervalos especificados pelos clientes para coleta e entrega.

#### **4.2 - A MODELAGEM**

Embora o método proposto para a resolução do problema objeto deste trabalho esteja vinculado à sua modelagem matemática como problema de partição de conjunto (segundo Magnanti (1981), a maioria dos modelos do problema de roteirização de veículos está fundamentada em três formulações básicas: formulação de partição de conjunto, formulação baseada no fluxo de mercadorias e formulação baseada no fluxo de veículos), vamos apresentar, a exemplo de outros autores como



Savelsbergh (1995), uma modelagem matemática correspondente ao fluxo de veículos. A finalidade desta iniciativa é estabelecer um referencial de comparação do problema aqui tratado com problemas similares.

#### 4.2.1 – MODELO MATEMÁTICO DE FLUXO DE VEÍCULOS

Para este problema, cada requisição de transporte envolve um único ponto de coleta e um único ponto de entrega; existe, é óbvio, a restrição de precedência entre coleta e entrega na mesma requisição, mas não há nenhuma outra restrição de precedência. Antecedendo a apresentação do modelo matemático, a seguir são feitas várias definições pertinentes.

Seja  $N$  o conjunto de requisições de transporte e cada requisição de transporte apresentará apenas uma origem e um destino. Para cada requisição de transporte  $i \in N$ , a carga carregada será  $q_i$  e será transportada de uma única origem  $i^+$ , para um único destino  $i^-$ , isto é, neste caso  $|N_{i^+}| = |N_{i^-}| = 1$ . Definimos como  $N^+ = \bigcup_{i \in N} N_{i^+}$  o conjunto de todas as origens e como  $N^- = \bigcup_{i \in N} N_{i^-}$  o conjunto de todos os destinos e seja  $V = N^+ \cup N^-$ . Definimos também  $G$  como o conjunto de todas as garagens. Além disso,  $M$  será o conjunto de veículos e cada veículo  $k \in M$  terá uma capacidade  $Q_k$ , e um local de partida  $k^+$  e um local de chegada  $k^-$ . Deste modo definimos  $M^+ = \{k^+ | k \in M\}$  como o conjunto de locais de partida,  $M^- = \{k^- | k \in M\}$  como o conjunto de locais de chegada e  $W = M^+ \cup M^-$ . Também serão conhecidas as janelas de tempo de carregamento  $(a_{i^+}, b_{i^+})$  e

descarregamento  $(a_{i^-}, b_{i^-})$ , além disso são conhecidos os horários de funcionamento das origens  $(s_{i^+}, e_{i^+})$  e dos destinos  $(s_{i^-}, e_{i^-})$  e a jornada de trabalho da tripulação  $(s, e)$ . Finalmente são conhecidos também os tempos de carregamento  $f_{i^+}$  e descarregamento  $f_{i^-}$ .

Para todo par  $(l, j) \in V \cup W$  sejam  $d_{lj}$  a distância de  $l$  para  $j$ ,  $t_{lj}$  o tempo de viagem de  $l$  para  $j$  e  $c_{lj}$  o custo de viagem do local  $l$  para o local  $j$ . Notar que o tempo de permanência nas origens e destinos pode ser facilmente incorporado nos tempos de viagens razão pela qual não foi considerado.

Nessa formulação iremos considerar também as definições propostas por Savelsbergh (1995).

Definição 1 - Seja  $R_k$  uma rota de Coleta e Entrega para um veículo  $k$  em um subconjunto  $V_k \in V$  tal que :

- i.  $R_k$  começa em  $k^+$ ;
- ii.  $(N_i^+ \cup N_i^-) \cap V_k = \Phi$  ou  $(N_i^+ \cup N_i^-) \cap V_k = N_i^+ \cup N_i^-$  para todo  $i \in N$ .
- iii. Se  $N_i^+ \cup N_i^- \subseteq V_k$  então todos locais em  $N_i^+$  são visitados antes de todos locais  $N_i^-$ ;
- iv. O veículo  $k$  visita cada local em  $V_k$  exatamente uma vez;
- v. A carga do veículo  $k$  nunca excede  $Q_k$ ;
- vi.  $R_k$  termina sua jornada em  $k^-$ .

Definição 2 - Um plano de Coleta e Entrega é um conjunto de rotas  $R = \{R_k | k \in M\}$  tal que :

- i.  $R_k$  é uma rota de Coleta e Entrega para o veículo  $k$ , para cada  $k \in M$ ;
- ii.  $\{V_k | k \in M\}$  é parte de  $V$ .

Essa formulação também considerou oito variáveis:

1.  $z_i^k$  igual a 1, se o transporte da requisição  $i$  for realizado pelo veículo  $k$  e zero em caso contrário;
2.  $x_{ij}^k$ ,  $((l, j) \in (V \times V) \cup \{(k^+, j) | j \in V\} \cup \{(j, k^-) | j \in V\}, k \in M)$ , igual a 1, se o veículo  $k$  viaja do local  $l$  para o local  $j$ , e zero, em caso contrário;
3.  $D_g$  ( $g \in G$ ) que especifica o horário de partida na garagem  $g$ ;
4.  $y_i$  ( $i \in V \cup W$ ) que especifica a carga da requisição  $i$ ;
5.  $TS_{i^+}$  ( $i^+ \in V \cup W$ ) que especifica o horário de início de coleta da carga da requisição  $i$ ;
6.  $TS_{i^-}$  ( $i^- \in V \cup W$ ) que especifica o horário de início da entrega da carga da requisição  $i$ ;
7.  $TE_{i^+}$  ( $i^+ \in V \cup W$ ) que especifica o horário de término de coleta da carga da requisição  $i$ ;
8.  $TE_{i^-}$  ( $i^- \in V \cup W$ ) que especifica o horário de término da entrega da carga da requisição  $i$ ;

Desta forma, o modelo matemático do problema é:

Minimizar  $f(R) = \text{Custo Total}$ , onde este custo será função da rota e calculado com base na subseção 4.3.2.

Sujeito às restrições :

$$\sum_{k \in M} z_i^k = 1 \quad \text{para todo } i \in N \quad (4.1)$$

$$\sum_{j \in V \cup W} x_{ij}^k = \sum_{j \in V \cup W} x_{jl}^k = z_i^k \quad \text{para todo } i \in N, l \in N_i^+ \cup N_i^-, k \in M \quad (4.2)$$

$$\sum_{j \in V \cup k^-} x_{k^+j}^k = 1 \quad \text{para todo } k \in M \quad (4.3)$$

$$\sum_{i \in V \cup k^+} x_{ik^-}^k = 1 \quad \text{para todo } k \in M \quad (4.4)$$

$$a_{i^+} \leq TS_{i^+} \quad \text{para todo } i^+ \in N^+ \quad (4.5)$$

$$a_{i^-} \leq TS_{i^-} \quad \text{para todo } i^- \in N^- \quad (4.6)$$

$$TE_{i^+} \leq b_{i^+} \quad \text{para todo } i^+ \in N^+ \quad (4.7)$$

$$TE_{i^-} \leq b_{i^-} \quad \text{para todo } i^- \in N^- \quad (4.8)$$

$$y_{k^+} = 0 \quad \text{para todo } k \in M \quad (4.9)$$

$$y_l \leq \sum_{k \in M} Q_k z_l^k \quad \text{para todo } l \in N_i^+ \cup N_i^- \quad (4.10)$$

$$TS_{i^-} \geq TE_{i^+} + t_{i^+i^-} \quad \text{para todo } i^+, i^- \in N \quad (4.11)$$

$$x_{ij}^k = 1 \Rightarrow D_l + t_{ij} \leq D_j \quad \text{para todo } l, j \in V \cup W, k \in M \quad (4.12)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\} \quad \text{para todo } l, j \in V \cup W, k \in M \quad (4.13)$$

$$z_i^k \in \{0,1\} \quad \text{para todo } i \in N, k \in M \quad (4.14)$$

$$D_g \geq 0 \quad \text{para todo } g \in G \quad (4.15)$$

$$y_i \geq 0 \quad \text{para todo } i \in V \cup W \quad (4.16)$$

A restrição (4.1) assegura que cada transporte é feito por um único veículo. Pela restrição (4.2), um veículo só entra ou deixa um local, se este local for uma origem ou destino da requisição de transporte designada para aquele veículo. As restrições

(4.3) e (4.4) garantem que cada veículo começa e termina o roteiro no local correto. As restrições (4.9), (4.10) e (4.16) juntas garantem as restrições de capacidade. As restrições (4.5), (4.6), (4.7) e (4.8) garantem apenas as restrições de janelas de tempo devido às datas de carregamento e descarregamento. A restrição (4.11) garante a precedência entre carregamento e descarregamento de uma mesma tarefa e finalmente a restrição (4.15) garante que o veículo nunca saia antes do início planejado para o horizonte de trabalho.

Na formulação acima apresentada, não foi possível estabelecer um relacionamento explícito entre o instante de início e o instante de término do carregamento bem como do descarregamento de uma dada requisição de transporte, ou seja, não podemos ter uma relação do tipo  $TE_{i^+} = TS_{i^+} + f_{i^+}$ , para o carregamento, que só é válida se o carregamento não sofrer nenhuma interrupção (isto vale também para o descarregamento). Em caso de interrupção, por exceder o horário de funcionamento da origem ou do destino, teremos que levar em conta o número de interrupções que possa haver e, deste modo, não poderemos utilizar a relação descrita acima.

Observe-se que as restrições 4.3 e 4.4 para a formulação de Savelsbergh (1995) significava que todos veículos da frota seriam utilizados; para o problema aqui estudado não é necessário o uso de toda a frota, desta forma estas restrições representam uma movimentação fictícia no caso do veículo não ser utilizado.

#### **4.2.2 - DESCRIÇÃO DA MODELAGEM PROPOSTA**

Como já dissemos, a modelagem não irá se basear diretamente no modelo matemático descrito na subseção 4.2.1; entretanto, a formulação proposta dá uma

boa idéia do problema a ser resolvido e as restrições de janelas de tempo serão consideradas no algoritmo proposto. A modelagem proposta irá se dividir em duas etapas, uma primeira etapa de geração de roteiros e custos associados (na modelagem proposta, roteiros irão definir uma seqüência de tarefas que deverão ser atendidas a partir de uma certa garagem empregando um certo tipo de veículo, como veremos na subseção 4.3.2) e uma segunda etapa onde estes roteiros serão selecionados para minimizar o custo para atender todas as requisições.

Neste trabalho foi desenvolvido também um algoritmo, que a partir da solução obtida na segunda etapa, ou seja, os roteiros selecionados que minimizem os custos totais, gere um relatório de saída que apresenta o itinerário dos veículos.

### **4.3 - GERAÇÃO DE ROTEIROS VIÁVEIS**

O algoritmo proposto gerará os roteiros tecnicamente viáveis e nesta modelagem definimos como roteiro, a seqüência de tarefas atendidas a partir de uma garagem e por um certo tipo de veículo, como veremos adiante, pois o problema proposto prevê múltiplas garagens e uma frota heterogênea de veículos.

As janelas de tempo consideradas em nosso trabalho serão os períodos em que os carregamentos e descarregamentos podem ser realizados, períodos estes que terão interrupções que serão os horários de funcionamento dos pontos de origem e destino e a jornada de trabalho da empresa de transporte, considerados também como janelas de tempo. O algoritmo pode admitir também janelas de tempo que reflitam horários de almoços e feriados.

Os custos associados a cada roteiro serão calculados com base na distância total

percorrida pelo veículo, desde sua partida da garagem até seu retorno, após ter atendido todas as tarefas e nos tempos totais em que a tripulação estará fora da jornada de trabalho e fora de sua base.

Um fato a ser ressaltado é o de que na Definição 1, para a formulação proposta, nos itens 1 e 6, é definido que uma seqüência de tarefas é atendida a partir do local onde o veículo se encontre, entretanto o algoritmo gera roteiros a partir somente das garagens e a programação de atendimento das tarefas pode ter início antes de todos os veículos estarem em suas respectivas garagens. Esta limitação é superada definindo-se garagens fictícias no local onde o veículo se encontre, caso este não tenha ainda retornado à sua garagem, o que garante a frota completa e também podemos ter vantagens de custos com o veículo atendendo a partir do local em que se encontre do que a partir de sua garagem.

Antes de descrever o procedimento para se gerar estes roteiros e respectivos custos serão apresentados os parâmetros do problema.

#### **4.3.1 – PARÂMETROS DO PROBLEMA**

Nesta seção, apresentamos os parâmetros necessários para caracterizar o problema objeto deste trabalho. São eles:

- O número de tarefas, número este que será definido por meio das requisições de transporte feitas pelos clientes e que estarão dentro de um horizonte de trabalho;
- Número de garagens que farão a operação de transporte;
- Tipos de veículos que compõem a frota de veículos da empresa de transporte, o número de cada tipo de veículo disponível em cada garagem, a capacidade e a

velocidade média de cada tipo;

- Jornada de trabalho da tripulação, parâmetro este definido pela própria empresa de transporte, já que se trata de informação de operação da empresa e representará interrupções no horário contínuo;
- Para cada requisição de transporte:
  - Distâncias entre: garagens e os pontos de origens e destinos e origens e destinos entre tarefas, informações estas levantadas pela empresa transportadora. Com base nestas distâncias a empresa poderá determinar os tempos de percursos, através das velocidades médias para cada tipo de veículo;
  - Tempos de carregamento e descarregamento para cada tarefa, que também serão levantados pela empresa transportadora;
  - Horários limites de início e término de carregamento, definindo a janela de tempo na qual a coleta da carga deve ser iniciada. Estes parâmetros também serão definidos pelos clientes na requisição de transporte;
  - Horários limites de início e término de descarregamento, definindo a janela de tempo na qual a entrega da carga deve ser iniciada. Estes parâmetros também serão definidos pelos clientes na requisição de transporte;
  - Demanda de cada tarefa, definida também pelos clientes nas requisições de transporte;
  - Horários de funcionamento dos pontos de origem e destino, parâmetros estes informados pelos clientes nas requisições de transporte.

Outros parâmetros, mostrados no anexo D, foram definidos a partir desses parâmetros, mostrados acima, para auxiliarem a implementação computacional.



### 4.3.2 - ALGORITMO PARA A GERAÇÃO DE ROTEIROS VIÁVEIS E CÁLCULO DOS RESPECTIVOS CUSTOS

#### **Geração dos Roteiros Viáveis**

Para o algoritmo proposto iremos considerar três definições para estruturar a implementação computacional: Tarefa, Seqüência de tarefas e Roteiro. A tarefa será definida como o atendimento de uma requisição de transporte, que defina o carregamento de uma carga em um ponto de coleta (origem) e o seu descarregamento, em seguida sem nenhuma operação intermediária, em um ponto de entrega (destino). A partir desta definição de tarefa, consideraremos como seqüência de tarefas o atendimento de um conjunto de tarefas, consecutivamente, por um mesmo veículo e consideraremos como roteiro a seqüência de tarefas atendida a partir de uma certa garagem e por um certo tipo de veículo. Assim, para a geração de roteiros, o algoritmo proposto irá primeiramente gerar as seqüências de tarefas. O algoritmo gera sucessivamente as seqüências de tarefas serão geradas paralelamente, ou seja, primeiro o algoritmo gerará as seqüências com uma só tarefa, depois com duas, três, ..., até que chegue a um número máximo de tarefas que uma seqüência possa ter, número esse que será determinado pelo próprio algoritmo, usando os menores tempos de trajeto na tarefa; os menores tempos de trajeto entre tarefas e os menores tempos de carregamento e descarregamento como parâmetros. Conforme vão sendo geradas as seqüências com um número "p" de tarefas, roteiros irão sendo gerados a partir dessas seqüências, das garagens e dos tipos de veículos, ou seja, se considerarmos duas garagens e dois tipos de veículos poderemos ter quatro roteiros diferentes a partir de uma só seqüência. Os roteiros gerados, a partir dessa

seqüência, serão testados no algoritmo, quanto às restrições operacionais do problema e só serão armazenados, para a segunda etapa, os roteiros que satisfizerem estas restrições e a seqüência só será armazenada se pelo menos um roteiro, gerado a partir dela, satisfizer as restrições operacionais. Este procedimento será repetido até que não se possa mais gerar nenhuma seqüência com “p” tarefas e então, a partir das seqüências de tarefas que foram armazenadas, passa-se a gerar as seqüências com “p+1” tarefas e repete-se o procedimento. Isto significa dizer que, se uma seqüência com duas tarefas, por exemplo, tarefas 3 e 5, que não tiver sido armazenada, não será gerada nenhuma seqüência com três tarefas que contenha as tarefas 3 e 5.

As restrições operacionais consideradas, no algoritmo proposto, serão as que dizem respeito às janelas de tempo, capacidade dos veículos e restrições com relação a rota, carga e operação, sendo que estas três últimas entrarão no algoritmo como um parâmetro binário, que se for igual a zero, significará que o roteiro não pode ser atendido a partir do veículo testado, pois não satisfaz a restrição da rota e/ou carga e/ou operação e se for igual a 1, o roteiro pode ser atendido.

### **Cálculo dos Custos Associados aos Roteiros**

Para o roteiro viável gerado, iremos considerar duas parcelas de custos, que descrevemos a seguir. A primeira parcela levará em conta os custos variáveis e fixos, conforme especificados na metodologia da Mercedes Benz (1992) vista na seção 2.4, durante a jornada de trabalho e os custos fixos com motoristas e ajudantes.

A segunda parcela levará em conta os custos variáveis da tripulação e do veículo fora da jornada de trabalho, tais como: horas extras, diárias e etc.

Assim, para o cálculo da primeira parcela somaremos as seguintes distâncias:

- Da garagem até a primeira origem do roteiro;
- As distâncias das origens aos respectivos destinos de cada tarefa do roteiro;
- As distâncias dos destinos até as origens das próximas tarefas do roteiro;
- A distância do ultimo destino do roteiro até a respectiva garagem.

Desta forma teremos a distância total percorrida no roteiro, a qual multiplicaremos pelo custo médio por Km do tipo de veículo que está sendo utilizado, que já vimos como podem ser estimados anteriormente.

Para o cálculo da segunda parcela, somaremos todos os tempos de parada devido a estarem fora da jornada de trabalho e fora de sua base e multiplicaremos este valor pelo custo médio por tempo parado fora da jornada de trabalho, que também já vimos como podem ser estimado anteriormente.

O cálculo do custo só será feito para os roteiros que satisfizerem as restrições do problema; os custos, bem como os roteiros a que estão associados, serão armazenados para a resolução do problema na segunda etapa da modelagem, que corresponde à seleção dos melhores roteiros.

### **Custos Operacionais Médios**

Na seção 2.4, apresentamos um procedimento adotado para o cálculo dos custos totais associado a cada roteiro e, para o problema aqui estudado, teremos que considerar uma alteração no cálculo dos custos variáveis. De fato, na seção 2.4 só são considerados aqueles que se manifestam com o veículo rodando e, para o problema proposto temos que levar em conta também os custos variáveis considerando o veículo parado, ou seja, fora da jornada de trabalho da tripulação.

Estes custos podem ser: horas extras, diárias e etc.

Com este método de calcular os custos, através de planilhas, teremos separados, em um determinado período de tempo, que pode ser o período anterior, os custos fixos totais, os custos totais com motoristas e ajudantes e os custos variáveis totais que só dependem das distâncias percorridas e também teremos, no período de tempo considerado, a distância total percorrida e dividindo-se a soma de todos custos mencionados anteriormente por esta distância total teremos o custo médio por quilometro, o qual será utilizado para se estimar uma das duas parcelas do custo associado ao roteiro viável gerado, o que veremos mais adiante.

As planilhas de cálculo de custo, também, nos darão os custos variáveis totais, que só dependem dos tempos de parada do veículo fora da jornada de trabalho da tripulação e os tempos totais dessas paradas, considerando o mesmo período visto anteriormente e dividindo-se estes custos totais pelos tempos de paradas totais teremos o custo médio por tempo de parada fora da jornada de trabalho, o qual utilizaremos para calcular a segunda parcela dos custos associados aos roteiros viáveis gerados, como veremos a seguir.

## Diagrama de Blocos

Em forma de diagrama de blocos, simplificado, o algoritmo proposto teria a estrutura indicada na Figura 4.1.

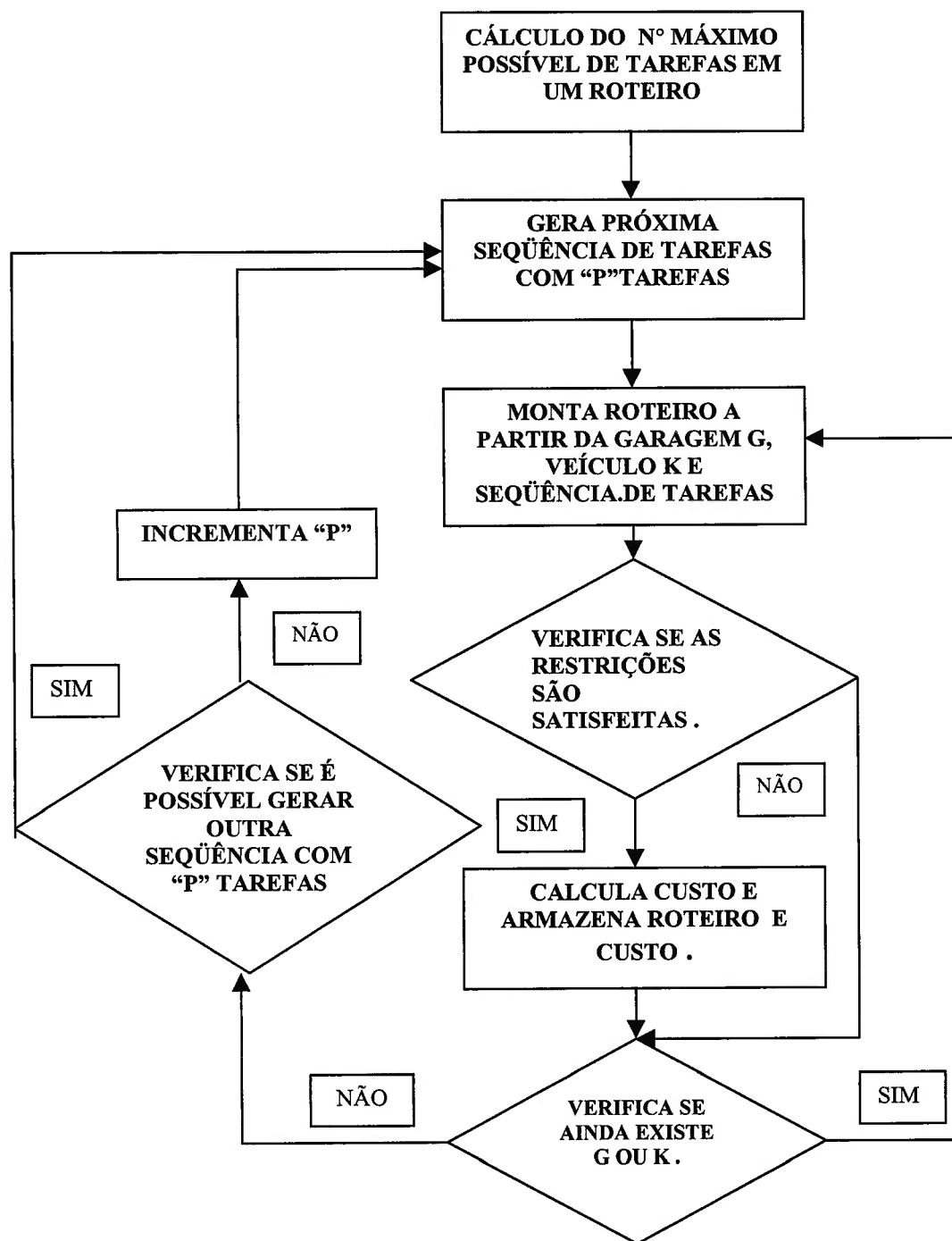


Figura 4.1 – Diagrama de blocos do algoritmo utilizado para geração de roteiros viáveis

#### 4.4 – ESTRUTURA DO PROBLEMA PARA SELEÇÃO DOS MELHORES ROTEIROS

O problema a ser resolvido, na segunda etapa da modelagem, é um problema de programação linear, que tem como função objetivo minimizar custos e está sujeito à restrições apenas de número disponível de veículos de cada tipo em cada garagem, o atendimento de todas as tarefas e o seu atendimento uma única vez por um único veículo. Isto porque as restrições de janelas de tempo, capacidade e restrições com relação à rota, operação e carga, como visto no capítulo 2, serão aplicadas na primeira etapa.

Como o algoritmo proposto, para primeira etapa da modelagem, gerará apenas os roteiros que satisfaçam as restrições de janelas de tempo e capacidade, podemos descrever uma formulação para a segunda etapa da forma descrita a seguir:

Sejam  $N$  o conjunto das requisições de transporte,  $K$  o conjunto de tipos de veículos e  $G$  o conjunto de garagens; seja ainda  $NK(g,k)$  o número disponível de veículos do tipo  $k \in K$  na garagem  $g \in G$ . Seja  $\Omega$  o conjunto de roteiros viáveis gerados na primeira etapa da modelagem e  $P$  o conjunto de todas as seqüências de tarefas viáveis ; um roteiro  $r(p,g,k) \in \Omega$  especifica uma seqüência de tarefas  $p \in P$ , uma garagem  $g \in G$  e um tipo de veículo  $k \in K$ . Para este roteiro, o parâmetro  $R_{i,r}(p,g,k)$  tem valor 1, se a tarefa (requisição de transporte)  $i$  estiver incluída na seqüência de tarefas  $p$  e zero, em caso contrário. A cada roteiro  $r$ ,  $r \in \Omega$ , estará associado um custo  $C_r$ . Introduzimos, então, uma variável de decisão binária  $x_r(p,g,k)$  que assume valor 1, se o roteiro  $r(p,g,k)$  for escolhido e zero em caso contrário. Desta forma, o problema da segunda etapa é assim expresso:

$$\text{Minimizar Custo} = \sum_{r \in \Omega} C_r(p, g, k) x_r(p, g, k)$$

Sujeito às restrições :

$$\sum_{r \in \Omega} R_{ir}(p, g, k) x_r(p, g, k) = 1 \quad \text{para todo } i \in N, p \in P, g \in G \text{ e } k \in K \quad (4.17)$$

$$\sum_{r \in \Omega} x_r(p, g, k) \leq NK(g, k) \quad \text{para todo } p \in P, g \in G \text{ e } k \in K \quad (4.18)$$

$$x_r \in \{0, 1\} \quad \text{para todo } r \in \Omega \quad (4.19)$$

Onde :

A restrição (4.17) obrigará que uma tarefa seja atendida uma única vez e que somente um veículo atenda esta tarefa. A restrição (4.18) limitará o uso de veículos de um certo tipo a partir de uma certa garagem ao número deste tipo de veículo disponível nesta garagem.

Conforme já mencionamos, as restrições de janelas de tempo e capacidade são consideradas na primeira etapa quando geramos os roteiros viáveis.

Iremos utilizar nesta segunda etapa da modelagem, para o problema de transporte proposto neste trabalho, o pacote computacional de otimização General Algebraic Modeling System (GAMS), pois este pacote computacional foi desenvolvido para:

- Fornecer uma linguagem de alto nível para uma representação compacta de modelos grandes e complexos;
- Permitir mudanças na especificação dos modelos de forma simples e segura;
- Permitir relações algébricas enunciadas de forma não ambígua;
- Permitir descrições de modelos independentes dos algoritmos de solução;
- Otimizar o modelo já com soluções inteiras.

Segundo Brooke/Kendrik/Meeraus (1992), o tamanho dos problemas a serem resolvidos está limitado pela capacidade de memória do micro utilizado. A versão do GAMS que utilizaremos será a 2.25 criada no verão de 1992. Este pacote computacional nos permite modelar um problema de programação linear, se utilizando de arquivos de entrada de dados, os quais, neste estudo, serão os arquivos de saída do algoritmo de geração de roteiros.



## CAPÍTULO 5

### TESTES DE DESEMPENHO

Neste trabalho modelou-se um problema de transporte do tipo Carga Única-Coleta e Entrega, com janelas de tempo, com o objetivo de minimizar os custos levando em conta restrições operacionais. De acordo com a modelagem proposta, o problema é resolvido em dois estágios: no primeiro são gerados roteiros viáveis e seus custos associados, enquanto que no segundo são selecionados os roteiros que atendam todas as requisições de transporte, minimizando custos por meio da resolução de um problema de programação linear do tipo partição de conjunto.

O algoritmo de geração de roteiros proposto na primeira etapa foi implementado em linguagem Turbo-Pascal 7.0 em micro computador PC-compatível, com processador Pentium 1 de 200 Mhz, memória de acesso randômico (RAM) de 64 Mb e disco rígido de 4Gb. A segunda etapa da modelagem, que usou a formulação de programação linear apresentada no capítulo 4, foi implementada no pacote computacional GAMS (General Algebraic Modeling System), executável somente no modo DOS. Neste capítulo mostraremos os resultados obtidos em testes de desempenho com três exemplos gerados, apresentando os parâmetros utilizados no algoritmo e também fazendo uma análise da solução obtida. Na seção 5.1, apresentaremos os exemplos escolhidos; na seção 5.2 apresentaremos as saídas do algoritmo de Geração de Roteiros; na seção 5.3 apresentaremos as soluções obtidas na seleção dos roteiros utilizando o GAMS; na seção 5.4, apresentaremos o relatório de transporte que especifica, a partir do arquivo de saída do GAMS, a programação das atividades de cada roteiro selecionado.

## **5.1 - EXEMPLOS GERADOS**

Foram escolhidos três exemplos que dessem uma boa idéia da influência das restrições sobre o número de roteiros gerados; no primeiro exemplo, resolve-se um problema com 50 clientes, ou seja 50 tarefas, com operação feita a partir de três garagens e utilizando dois tipos de veículos. No exemplo 2, resolve-se um problema com 22 clientes (ou 22 tarefas), com operação feita também a partir de três garagens e utilizando dois tipos de veículos e, finalmente num terceiro exemplo, chamado exemplo 1A, resolve-se o mesmo problema do exemplo 1, admitindo-se, porém, que dois veículos não estejam em sua respectiva garagem no início da programação, sendo necessário criar duas garagens fictícias para alocação desses veículos.

Para os três exemplos foi estipulado que o horizonte de planejamento fosse o mês de junho de 1998 que começa em uma segunda-feira; não foi considerado o feriado e a jornada de trabalho da tripulação é das 8:00 as 18:00 horas de segunda a sexta-feira. Também foi estipulado que o horário zero, da escala contínua de tempo, considerado para o algoritmo seja o das 8:00 horas do dia primeiro de junho.

A seguir, apresentaremos os dados que serão considerados para os exemplos gerados.

### **DADOS DE ENTRADA**

As tabelas com dados de entradas para os exemplos 1 e 1A encontram-se no apêndice A e as do exemplo 2 estão apresentadas logo adiante neste capítulo.

- A Tabela 5.1 apresenta os locais de origem e destinos, as distâncias entre origem e destino de uma tarefa (DISTJ) e as demandas de transporte que podem ser dadas em peso ou volume, o que for mais crítico para as restrições de

capacidade.

- A Tabela 5.2 apresenta os horários a partir dos quais podem se iniciar os carregamentos e descarregamentos e os horários de término, ou seja, a partir dos quais não se pode mais continuar estes carregamentos e descarregamentos.
- A Tabela 5.2A, obtida a partir da tabela 5.2, apresenta, numa escala de tempo contínua, com origem no início do período de programação, os horários a partir dos quais pode-se iniciar os carregamentos e descarregamentos (HINCAR e HINDES), os horários que não podem ser ultrapassados para os termos de carregamento e descarregamento (HTEDES e HTEDES). Além destes horários, esta tabela apresenta também os tempos de carregamento e descarregamento (TEMCAR e TEMDES).
- A Tabela 5.3 apresenta as distâncias entre as garagens e os pontos de coleta de cada tarefa (DISTGJ).
- A Tabela 5.4 apresenta as distâncias entre os pontos de entrega de cada tarefa até as garagens (DISTGJ1).
- A Tabela 5.5 apresenta as distâncias entre o ponto de entrega de uma tarefa I até o ponto de coleta de uma tarefa J posterior, ou seja  $J > I$  com I e J variando de 1 a NTAR ( número de tarefas), isto porque as tarefas já estão ordenadas e, deste modo, a partir de uma tarefa não haverá possibilidade de realizar outra anterior a ela.
- A Tabela 5.6 apresenta os horários de funcionamento dos pontos de origens e destinos, que serão comparados com a jornada de trabalho da tripulação para se escolher quais deles serão escolhidos para entrar no algoritmo proposto.
- A Tabela 5.7 apresenta os números de veículos de cada tipo em cada garagem,

porém estes dados só serão utilizados na segunda etapa da modelagem, quando for resolvido o problema de partição de conjunto para seleção dos melhores roteiros.

- A Tabela 5.8 apresenta o parâmetro  $XIK(I,K)$  que, quando for igual a zero, indica que a tarefa I não pode ser realizada pelo veículo k, pois não é satisfeita pelo menos uma das restrições que dizem respeito à rota e/ou carga e/ou operação e se  $XIK(I,K)$  for igual a 1 indica que a tarefa I pode ser realizada com o veículo k pois todas as restrições são satisfeitas.

Como já foi mencionado, a frota de veículos terá dois tipos de veículos e suas características serão iguais para os três exemplos, são elas:

- Veículo 1:
  - capacidade (CAPKP ou CAPKV) de 5 Ton ou  $20\text{ m}^3$ ;
  - Velocidade Média (VM) : 80 Km/hora;
  - custo por distância percorrida (CD): R\$ 1,00/Km;
  - custo por tempo parado fora da jornada de trabalho (CT) : R\$ 1,20/hora .
- Veículo 2:
  - capacidade (CAPKP ou CAPKV) de 10 Ton ou  $30\text{ m}^3$ ;
  - velocidade média (VM) : 70Km/h ;
  - custo por distância percorrida : R\$ 1,50/Km;
  - custo por tempo parado fora da jornada de trabalho (CT): R\$ 1,20/Hora.

Os custos por tempo parado fora da jornada de trabalho e o custo por distância

percorrida podem ser estimados usando o método descrito na subseção 4.3.2; porém, para estes exemplos, eles foram estipulados, pois foi considerado que estes dados são próprios de cada empresa de transporte e o seu cálculo não faz parte do escopo deste trabalho.

A seguir apresentaremos as tabelas de dados para o exemplo 2:

**TABELA 5.1- DEMANDA DAS TAREFAS E OS LOCAIS E DISTÂNCIAS  
DAS ORIGENS E DESTINOS**

**(EXEMPLO 2)**

Tarefa	Origem	Destino	Distj	Demanda	
				M3	Ton
1	L1	L3	200		4
2	L2	L6	100		6
3	L6	L3	100		5
4	L4	L2	200		7
5	L9	L4	250		4
6	L2	L6	100		4
7	L3	L4	250		6
8	L3	L1	200	25	
9	L4	L3	250		5
10	L6	L8	200		4
11	L2	L9	250		4
12	L6	L1	100		4
13	L4	L5	300		3
14	L1	L7	150		4
15	L3	L7	150		3
16	L8	L6	200		6
17	L9	L5	250		5
18	L1	L4	250		8
19	L5	L3	300		3
20	L7	L3	150		4
21	L7	L9	250		10
22	L6	L5	100		5

**TABELA 5.2 – JANELAS DE TEMPO PARA COLETA E ENTREGA**  
**(EXEMPLO 2)**

TAR	COL ETA				ENTREGA			
	INÍ CIO		TÉRMINO		INÍ CIO		TÉRMI NO	
	DIA	HORÁRIO	DIA	HORÁRIO	DIA	HORÁRIO	DIA	HORÁRIO
1	01/06-SEG	08:00	02/06-TER	18:00	02/06-TER	08:00	04/06-QUI	18:00
2	02/06-TER	08:00	03/06-QUA	18:00	03/06-QUA	08:00	04/06-QUI	18:00
3	01/06-SEG	08:00	02/06-TER	18:00	02/06-TER	08:00	04/06-QUI	18:00
4	02/06-TER	08:00	03/06-QUA	18:00	03/06-QUA	08:00	04/06-QUI	18:00
5	01/06-SEG	08:00	02/06-TER	18:00	02/06-TER	08:00	04/06-QUI	18:00
6	02/06-TER	08:00	03/06-QUA	18:00	03/06-QUA	08:00	04/06-QUI	18:00
7	03/06-QUA	08:00	04/06-QUI	18:00	04/06-QUI	08:00	05/06-SEX	18:00
8	03/06-QUA	08:00	04/06-QUI	18:00	04/06-QUI	08:00	05/06-SEX	18:00
9	03/06-QUA	08:00	04/06-QUI	18:00	04/06-QUI	08:00	05/06-SEX	18:00
10	04/06-QUI	09:00	05/06-SEX	17:00	05/06-SEX	09:00	08/06-SEG	17:00
11	04/06-QUI	08:00	05/06-SEX	18:00	05/06-SEX	08:00	08/06-SEG	18:00
12	04/06-QUI	08:00	05/06-SEX	18:00	05/06-SEX	08:00	08/06-SEG	18:00
13	05/06-SEX	08:00	08/06-SEG	18:00	08/06-SEG	08:00	09/06-TER	18:00
14	05/06-SEX	08:00	08/06-SEG	18:00	08/06-SEG	08:00	09/06-TER	18:00
15	05/06-SEX	08:00	08/06-SEG	18:00	08/06-SEG	08:00	09/06-TER	18:00
16	08/06-SEG	08:00	09/06-TER	18:00	09/06-TER	08:00	10/06-QUA	18:00
17	08/06-SEG	08:00	09/06-TER	18:00	09/06-TER	08:00	10/06-QUA	18:00
18	08/06-SEG	08:00	09/06-TER	18:00	09/06-TER	08:00	10/06-QUA	18:00
19	09/06-TER	08:00	10/06-QUA	18:00	10/06-QUA	08:00	11/06-QUI	18:00
20	09/06-TER	08:00	10/06-QUA	18:00	10/06-QUA	08:00	11/06-QUI	18:00
21	09/06-TER	08:00	10/06-QUA	18:00	10/06-QUA	08:00	11/06-QUI	18:00
22	11/06-QUI	08:00	12/06-SEX	18:00	12/06-SEX	08:00	16/06-TER	18:00

TAR = TAREFA

**TABELA 5.2A- HORÁRIOS E TEMPOS DE CARREGAMENTO E  
DESCARREGAMENTO  
(EXEMPLO 2)**

Tarefa	Hincar	Htecar	Temcar	Hindes	Htedes	Temdes
1	0	34	2	24	82	2
2	24	58	3	48	82	3
3	0	34	2	24	82	2
4	24	58	3	48	82	3
5	0	34	2	24	82	2
6	24	58	3	48	82	3
7	48	82	2	72	106	2
8	48	82	2	72	106	2
9	48	82	2	72	106	2
10	73	105	1	97	177	1
11	72	106	1	96	178	1
12	72	106	1	96	178	1
13	96	178	3	168	202	3
14	96	178	3	168	202	3
15	96	178	3	168	202	3
16	168	202	2	192	226	2
17	168	202	2	192	226	2
18	168	202	2	192	226	2
19	192	226	2	216	250	2
20	192	226	2	216	250	2
21	192	226	2	216	250	2
22	240	274	3	264	370	3

**TABELA 5.3 - DISTÂNCIAS  
DAS GARAGENS ÀS ORIGENS  
(EXEMLO 2)**

Tarefa	G1	G2	G3
1	100	300	200
2	150	250	250
3	200	200	300
4	200	200	300
5	250	150	350
6	150	250	250
7	200	200	300
8	100	300	200
9	200	200	300
10	100	300	200
11	150	250	250
12	100	300	200
13	250	150	350
14	100	300	200
15	200	200	300
16	100	300	200
17	300	100	400
18	100	300	200
19	200	200	300
20	200	200	300
21	150	250	250
22	300	100	400

**TABELA 5.4- DISTÂNCIAS DAS  
GARAGENS AOS DESTINOS  
(EXEMPLO 2)**

Tarefa	G1	G2	G3
1	150	250	250
2	200	200	300
3	250	150	350
4	250	150	350
5	300	100	400
6	200	200	300
7	250	150	350
8	150	250	250
9	250	150	350
10	150	250	250
11	200	200	300
12	150	250	250
13	300	100	400
14	150	250	250
15	250	150	350
16	150	250	250
17	350	50	450
18	150	250	250
19	250	150	350
20	250	150	350
21	200	200	300
22	350	50	450



**TABELA 5.5 – DISTÂNCIAS ENTRE OS LOCAIS DE ENTREGA DAS  
TAREFAS I AOS LOCAIS DE COLETA DAS TAREFAS J**

**(EXEMPLO 2)**

Tar/Tar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	200	100	250	250	200	10	8	250	100	200
2	0	0	10	100	250	100	100	100	100	10	100
3	0	0	0	250	250	200	10	8	250	100	200
4	0	0	0	0	250	10	200	200	250	100	15
5	0	0	0	0	0	250	250	250	15	100	250
6	0	0	0	0	0	0	100	100	100	10	100
7	0	0	0	0	0	0	0	250	15	100	250
8	0	0	0	0	0	0	0	0	250	100	150
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	200
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tar/Tar	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	100	250	200	10	200	250	200	300	150	150	300
2	10	100	100	100	200	250	100	100	100	150	100
3	100	250	200	10	200	250	200	300	150	150	300
4	100	250	150	200	200	250	150	300	200	150	300
5	100	10	250	250	200	250	250	300	250	150	100
6	10	100	100	100	200	250	100	100	100	150	100
7	100	10	250	250	200	250	250	300	250	150	100
8	100	250	10	200	200	250	15	300	200	150	300
9	100	250	200	10	200	250	200	300	150	150	300
10	200	200	200	200	10	250	200	200	200	200	200
11	250	250	250	250	250	20	250	250	250	250	250

Tar/Tar	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
12	0	250	10	200	200	250	15	300	200	150	300
13	0	0	300	300	200	250	300	15	300	150	100
14	0	0	0	150	200	250	150	150	150	13	150
15	0	0	0	0	200	250	150	150	150	13	150
16	0	0	0	0	0	250	100	100	100	150	100
17	0	0	0	0	0	0	300	15	300	150	100
18	0	0	0	0	0	0	0	300	250	150	100
19	0	0	0	0	0	0	0	0	150	150	300
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	300
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	250
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

TAR = TAREFA

**TABELA 5.6 – HORÁRIOS DE FUNCIONAMENTO DOS PONTOS DE  
COLETA E ENTREGA**

**(EXEMPLO 2)**

TAR	HORÁRIO FUNCIONAMENTO LOCAL DE COLETA	HORÁRIO FUNCIONAMENTO LOCAL DE ENTREGA
1	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas
2	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas
3	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas
4	SEG-SEX / 8:00 as 16:00 horas	SEG-SEX / 8:00 as 16:00 horas
5	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas
6	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas
7	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas
8	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas
9	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas
10	SEG-SEX / 8:00 as 17:00 horas	SEG-SEX / 8:00 as 17:00 horas
11	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas
12	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas
13	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas
14	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas
15	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas
16	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas
17	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas
18	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas
19	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas
20	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas
21	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas
22	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 as 18:00 horas

TAR = TAREFA

**TABELA 5.7 – Nº DISPONÍVEL DE VEÍCULOS DO TIPO K NAS**

**GARAGENS G**

**(EXEMPLO 2)**

VEÍCULO/GARAGEM	1	2	3
1	8	9	9
2	7	9	8

**TABELA 5.8 – PARÂMETRO XIX(L,K)****(EXEMPLO 2)**

Tarefa\Tipo de veículo	1	2	3
1	1	1	1
2	1	1	1
3	1	1	1
4	1	1	1
5	1	1	1
6	1	1	1
7	1	1	1
8	1	1	1
9	1	1	1
10	1	1	1
11	1	1	1
12	1	1	1
13	1	1	1
14	1	1	1
15	1	1	1
16	1	1	1
17	1	1	1
18	1	1	1
19	1	1	1
20	1	1	1
21	1	1	1
22	1	1	1

**5.2 - SAÍDA DO ALGORITMO GERADOR DE ROTEIROS**

O algoritmo proposto foi utilizado para resolução do exemplo 2, cujos dados de entrada foram apresentados acima e para resolução dos exemplos 1 e 1A, cujos dados são apresentados no apêndice A; os roteiros viáveis e os custos associados são armazenados em dois arquivos que serão utilizados diretamente no pacote computacional GAMS. O primeiro arquivo, chamado CUSTO.PAS, armazena os custos associados e tem o seguinte formato:  $C(p,g,k) = \text{CUSTO}$ , onde  $p$  é um índice cujo valor identifica a seqüência de tarefas atendida,  $g$  indica a garagem a partir da

qual a seqüência de tarefas é atendida e  $k$  indica o tipo de veículo que atendeu a seqüência de tarefas, ou seja,  $(p,g,k)$  determina um roteiro, portanto,  $C(p,g,k)$  é o custo da seqüência de tarefas  $p$  atendida a partir da garagem  $g$  pelo veículo tipo  $k$ . O segundo arquivo, chamado ROT.PAS, armazena os roteiros em forma de vetor binário, ou seja,  $R(p,g,k,j)$  é igual a 1, se a tarefa  $j$  estiver na seqüência de tarefas  $p$ , atendida a partir da garagem  $g$  pelo veículo do tipo  $k$  e zero, se não estiver. Porém, no arquivo ROT.PAS só são armazenados os  $j$  que estão na seqüência de tarefas  $p$ , isto é, aqueles  $j$  com  $R(p,g,k,j)=1$ , pois o GAMS admite como nulos os valores não explicitados e, deste modo, economizamos espaço de memória.

É importante lembrar que uma dada seqüência de tarefas pode ser viável para uma certa garagem e um dado tipo de veículo, mas não para todo par garagem/tipo de veículo.

As soluções obtidas foram as seguintes:

- Para o exemplo 1, que corresponde a um problema com 50 clientes ou tarefas e operação realizada a partir de três garagens, com dois tipos de veículos, foram geradas 837 seqüências de tarefas e 1.598 roteiros viáveis em 48 segundos; o arquivo CUSTO.PAS ocupou 58 Kb de memória e o arquivo ROT.PAS ocupou 96 Kb.
- Para o exemplo 1A, que difere do exemplo 1 por ter duas garagens fictícias, para o caso de dois veículos que, no início do período de programação, estavam fora de suas garagens de alocação, foram geradas 855 seqüências de tarefas e 1991 roteiros viáveis em 1 min. e 10 segundos; o arquivo CUSTO.PAS ocupou 72 Kb e o arquivo ROT.PAS ocupou 118 Kb.
- Para o exemplo 2, que corresponde a um problema com 22 clientes ou tarefas e

com uma estrutura de operação com três garagens e dois tipo de veículos, diferindo dos dois exemplos anteriores por considerar distâncias entre localidades menores, foram geradas 6.215 seqüências de tarefas, (com um número máximo de 7 tarefas) e 26.114 roteiros viáveis em 2 min e 58 segundos; o arquivo CUSTO.PAS ocupou 965 Kb e o arquivo ROT.PAS ocupou 3.032 Kb.

A seguir apresentaremos parte dos arquivos CUSTO.PAS e ROT.PAS do exemplo 1A, nas tabelas 5.8 e 5.9 respectivamente, para exemplificarmos a entrada de dados no pacote computacional GAMS, instrumento utilizado para seleção dos roteiros que minimizam o custo total para atender todas as requisições.

**TABELA 5.9 - Arquivo CUSTO.PAS**

```

C("1", "1", "1") = 6.3950000000E+03;
C("1", "1", "2") = 9.5745000000E+03;
C("1", "2", "1") = 6.2400000000E+03;
C("1", "2", "2") = 9.3420000000E+03;
C("2", "1", "2") = 8.0940000000E+03;
C("2", "2", "2") = 7.2340000000E+03;
C("3", "1", "2") = 1.1485000000E+04;
C("3", "3", "2") = 1.4323000000E+04;
C("4", "1", "1") = 7.9740000000E+03;
C("4", "1", "2") = 1.1836000000E+04;
C("5", "1", "1") = 5.5180000000E+03;
C("5", "1", "2") = 8.2660000000E+03;
C("5", "2", "1") = 6.5520000000E+03;
C("6", "1", "2") = 1.1881000000E+04;
C("6", "4", "2") = 1.2184500000E+04;
-----
C("847", "4", "2") = 5.8950000000E+03;
C("848", "1", "2") = 1.3639500000E+04;
C("848", "4", "2") = 1.2793500000E+04;
C("849", "1", "2") = 1.4475500000E+04;
C("849", "4", "2") = 1.4242000000E+04;
C("850", "1", "2") = 1.4498000000E+04;
C("850", "4", "2") = 1.4779500000E+04;
C("851", "1", "2") = 2.1499500000E+04;
C("851", "4", "2") = 2.1803000000E+04;
C("852", "1", "2") = 1.4484000000E+04;
C("852", "4", "2") = 1.4751500000E+04;
C("853", "1", "2") = 2.4042000000E+04;
C("853", "4", "2") = 2.4345500000E+04;
C("854", "1", "2") = 1.8527000000E+04;
C("855", "1", "2") = 2.3319500000E+04;
C("855", "2", "2") = 2.3609000000E+04;

```

Este arquivo CUSTO.PAS identifica, por exemplo, que o custo do roteiro representado pela seqüência de tarefas número 6, atendida a partir da garagem 1 pelo veículo tipo 2, é igual a R\$11.881,00 e o espaço de memória que este arquivo ocupa é de 72 Kb.

**TABELA 5.10 - Arquivo ROT.PAS**

```

R("1", "1", "1", "1")=1;
R("1", "1", "2", "1")=1;
R("1", "2", "1", "1")=1;
R("1", "2", "2", "1")=1;
R("2", "1", "2", "2")=1;
R("2", "2", "2", "2")=1;
R("3", "1", "2", "3")=1;
R("3", "3", "2", "3")=1;
R("4", "1", "1", "4")=1;
R("4", "1", "2", "4")=1;
R("5", "1", "1", "5")=1;
R("5", "1", "2", "5")=1;
R("5", "2", "1", "5")=1;
R("6", "1", "2", "6")=1;
R("6", "4", "2", "6")=1;
-----
R("852", "1", "2", "14")=1;
R("852", "1", "2", "45")=1;
R("852", "1", "2", "50")=1;
R("852", "4", "2", "9")=1;
R("852", "4", "2", "14")=1;
R("852", "4", "2", "45")=1;
R("852", "4", "2", "50")=1;
R("853", "1", "2", "9")=1;
R("853", "1", "2", "30")=1;
R("853", "1", "2", "34")=1;
R("853", "1", "2", "48")=1;
R("853", "4", "2", "9")=1;
R("853", "4", "2", "30")=1;
R("853", "4", "2", "34")=1;
R("853", "4", "2", "48")=1;
R("854", "1", "2", "13")=1;
R("854", "1", "2", "30")=1;
R("854", "1", "2", "34")=1;
R("854", "1", "2", "48")=1;
R("855", "1", "2", "2")=1;
R("855", "1", "2", "13")=1;
R("855", "1", "2", "30")=1;
R("855", "1", "2", "34")=1;
R("855", "1", "2", "48")=1;
R("855", "2", "2", "2")=1;
R("855", "2", "2", "13")=1;
R("855", "2", "2", "30")=1;
R("855", "2", "2", "34")=1;
R("855", "2", "2", "48")=1;

```

A representação deste arquivo, apresentado na tabela 5.10, significa, por exemplo, que a seqüência de tarefas 1, quando feita a partir da garagem 1, pelo veículo tipo 1 vai atender o cliente 1, ou seja  $R(1,1,1,1)=1$ . Neste arquivo estão identificadas apenas as tarefas que estão incluídas nos roteiros. Uma dada tarefa  $j$  não incluída no roteiro  $(p,g,k)$  tem  $R(p,g,k,j)=0$  e não é explicitada no arquivo ROT.PAS; o espaço de memória que este arquivo ocupa é de 118 Kb.

### **5.3 – SAÍDA DO ALGORITMO DE SELEÇÃO DE ROTEIROS**

Com os arquivos gerados no algoritmo proposto, como vimos na seção anterior, resolvemos o problema de programação linear, tipo partição de conjunto, para seleção dos melhores roteiros, utilizando o pacote computacional GAMS. Os resultados foram salvos em um arquivo resposta, produzido pelo próprio GAMS com extensão LST. Este arquivo de saída do GAMS contém várias informações que auxiliam na verificação e compreensão de um modelo e pode ser manuseado como qualquer outro arquivo.

Como uma de suas funções é a verificação do modelo proposto, o arquivo contém toda a estrutura do modelo, bem como os valores de seus parâmetros e mensagens de erros caso estes venham a existir. Além disto, para se ter uma visão geral do modelo, são produzidos também mapas que contém a lista de: símbolos, parâmetros, variáveis e equações. Este arquivo contém também estatísticas do modelo, como: tempos de processamento, número de variáveis e etc. Além de selecionar os roteiros que minimizam o custo total de transporte para atendimento das requisições de transporte, são indicados para os roteiros não escolhidos o acréscimo marginal que

provocariam no custo total de transporte.

A seguir serão apresentados os dados listados no arquivo de saída do GAMS para o exemplo 2.

## ARQUIVO DE SAÍDA DO GAMS(REDUZIDO) PARA O EXEMPLO 2

GAMS 2.25.085 386/486 DOS 12/03/98 09:19:44 PAGE 1  
roteiro

```

2
3
4 SETS
5
6 P / 1*6215/
7 G / 1*3/
8 K / 1*2/
9 J / 1*22/;
10
11 OPTION MIP = OSL;
12
13
14 PARAMETER C(P,G,K);
INCLUDE C:\EDUARDO\TP\CUSTO.PAS
1616 PARAMETER NK(G,K);
INCLUDE C:\EDUARDO\TP\NK.PAS

1628 PARAMETER R(P,G,K,J);
INCLUDE C:\EDUARDO\TP\ROT.PAS
5446
5447 VARIABLES
5448 X(P,G,K)
5449 Z;
5450
5451
5452 BINARY VARIABLE X;
5453
5454 EQUATIONS
5455 COST
5456 CLIENTE(J)
5457 TIPO(G,K);
5458

```



```

5461 COST      .. Z =E= SUM((P,G,K),X(P,G,K)*C(P,G,K));
5462 CLIENTE(J) .. SUM( (P,G,K), R(P,G,K,J)*X(P,G,K) )=E=1;
5463 TIPO(G,K)  .. SUM( P , X(P,G,K))=L=NK(G,K);
5464 MODEL TRANSPORT/ALL/;
5467
5468 solve TRANSPORT using MIP Minimizing Z;
5469
5470
5471 file res /solucao.dat/;
5472 put res;
5473 loop(p,
5474     loop(g,
5475         loop(k,
5476             loop(j,
5477                 if(x.l(p,g,k)=1 and R(p,g,k,j)=1,
5478                     put "R(",ord(p):5:0," ",ord(g):2," ",ord(k):2," ",
5479                         ord(j):2,")=" x.l(p,g,k):1/;
5480             );
5481         );
5482     );
5483 );

```

## SETS

G  
J  
K  
P

## PARAMETERS

C  
NK  
R

## VARIABLES

X  
Z

## EQUATIONS

CLIENTE  
 COST  
 TIPO  
 MODELS  
 TRANSPORT

SEQ	GLOBAL TYPE	PARENT	LOCAL	FILENAME
1	1 INPUT	0	0	C:\GAMS\ROTEIRO1.GMS
2	15 INCLUDE	1	15	.C:\USUARIOS\EDTP\BIN\CUSTO.PAS
3	26133 INCLUDE	1	19	.C:\USUARIOS\EDTP\BIN\NK.PAS
4	26145 INCLUDE	1	25	.C:\USUARIOS\EDTP\BIN\ROT.PAS

COMPILATION TIME = 32.020 SECONDS VERID MW2-25-085

#### MODEL STATISTICS

BLOCKS OF EQUATIONS	3	SINGLE EQUATIONS	29
BLOCKS OF VARIABLES	2	SINGLE VARIABLES	37291
NON ZERO ELEMENTS	180811	DISCRETE VARIABLES	37290

GENERATION TIME = 284.680 SECONDS

EXECUTION TIME = 1077.030 SECONDS VERID MW2-25-085

#### SOLVE SUMMARY

MODEL TRANSPORT	OBJECTIVE Z
TYPE MIP	DIRECTION MINIMIZE
SOLVER OSL	FROM LINE 143575

\*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
 \*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
 \*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 9325.8000

RESOURCE USAGE, LIMIT 140.109 1000.000

ITERATION COUNT, LIMIT    210    1000

Work space allocated    -- 43.03 Mb

LOWER    LEVEL    UPPER    MARGINAL

---- EQU COST            .            .            .            1.000

---- EQU CLIENTE

LOWER    LEVEL    UPPER    MARGINAL

1	1.000	1.000	1.000	377.700
2	1.000	1.000	1.000	393.200
3	1.000	1.000	1.000	200.000
4	1.000	1.000	1.000	603.200
5	1.000	1.000	1.000	327.200
6	1.000	1.000	1.000	334.500
7	1.000	1.000	1.000	660.000
8	1.000	1.000	1.000	350.000
9	1.000	1.000	1.000	422.200
10	1.000	1.000	1.000	275.900
11	1.000	1.000	1.000	410.300
12	1.000	1.000	1.000	97.500
13	1.000	1.000	1.000	444.500
14	1.000	1.000	1.000	237.000
15	1.000	1.000	1.000	272.300
16	1.000	1.000	1.000	702.500
17	1.000	1.000	1.000	400.400
18	1.000	1.000	1.000	888.400
19	1.000	1.000	1.000	478.500
20	1.000	1.000	1.000	428.500
21	1.000	1.000	1.000	755.200
22	1.000	1.000	1.000	266.800

---- EQU TIPO

LOWER    LEVEL    UPPER    MARGINAL

1.1	-INF	1.000	8.000	.
1.2	-INF	.	7.000	.
2.1	-INF	2.000	9.000	.
2.2	-INF	3.000	9.000	.
3.1	-INF	.	9.000	.

3.2 -INF . 8.000 .

---- VAR X

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
236.2.2		.	1.000	873.700
616.2.2		1.000	1.000	EPS
749.2.1		1.000	1.000	EPS
1462.1.1		1.000	1.000	EPS
1483.2.2			1.000	1370.900
1708.2.2		1.000	1.000	EPS
2030.2.2		1.000	1.000	EPS
2173.2.1			1.000	415.700
2773.2.1		1.000	1.000	EPS
3451.1.2			1.000	1173.700

\*\*\*\* REPORT SUMMARY : 0 NONOPT  
 0 INFEASIBLE  
 0 UNBOUNDED

\*\*\*\* REPORT FILE SUMMARY

RES C:\GAMS\SOLUCAO.DAT

EXECUTION TIME = 19.880 SECONDS VERID MW2-25-085

Além do arquivo de saída, com extensão LST, foi criado um arquivo de saída com nome SOLUCAO.DAT, que imprime somente os roteiros que minimizam os custos, pois o arquivo de saída do GAMS com todos roteiros é muito extenso.

Algumas características das soluções obtidas no pacote computacional GAMS,

utilizando-se o “solver” OSL, são indicadas a seguir:

- Para o exemplo 1, o GAMS selecionou 23 roteiros, dos 1.598 roteiros viáveis que foram gerados na primeira etapa, em 9,44 segundos e o custo total de atendimento de todas tarefas com esses 23 roteiros é de R\$224.703,00, lembrando que este não é um exemplo real. Parte do arquivo de saída do GAMS para este exemplo é apresentado no apêndice B.
- Para o exemplo 1A, o GAMS selecionou 23 roteiros, dos 1.991 roteiros viáveis gerados na primeira etapa, em 13,28 segundos e o custo total de atendimento de todas as tarefas é de R\$ 224.703,00, novamente lembrando que não se trata de um exemplo real. Parte do arquivo de saída do GAMS, para este exemplo, é apresentado no apêndice C.
- Para o exemplo 2, o GAMS selecionou 6 roteiros, dos 26.114 roteiros gerados, em 1.413,61 segundos, ou seja, 23 min e 33 segundos e o custo total de atendimento de todas as tarefas é de R\$ 9.325,80, lembrando que não se trata de exemplo real. O arquivo de saída do GAMS ocupou um espaço no disco rígido de aproximadamente 10 Mb e parte deste arquivo de saída, para este exemplo, foi apresentado neste capítulo.

#### **5.4 - RELATÓRIO DE TRANSPORTE**

A partir da solução ótima gerada pelo pacote computacional GAMS, um programa pós-processador, apresentado no apêndice F, produz um relatório que apresenta a programação, ou itinerário, dos veículos que seriam utilizados para atender os roteiros selecionados na modelagem. A seguir apresentaremos o formato deste relatório para o exemplo 2.

## RELATÓRIO

### ROTEIRO=1

GARAGEM=2                    TIPO VEICULO=2  
 SEQUENCIA TAREFAS = 4 , 10 , 16 ,  
 SAIDA DO VEICULO DA GARAGEM : 02/06/1998    TERCA    08:00  
 TAREFA    4            DEMANDA= 7 TON  
 CARREG.INICIO PREVISTO=    02/06/1998    TERCA    10:51  
 CARREG.TERMINO PREVISTO=    03/06/1998    QUARTA    08:51  
 DESCARREG.INICIO PREVISTO=    03/06/1998    QUARTA    11:42  
 DESCARREG.TERMINO PREVISTO=    04/06/1998    QUINTA    09:42  
 TAREFA    10            DEMANDA= 4 TON  
 CARREG.INICIO PREVISTO=    04/06/1998    QUINTA    11:08  
 CARREG.TERMINO PREVISTO=    04/06/1998    QUINTA    15:08  
 DESCARREG.INICIO PREVISTO=    05/06/1998    SEXTA    09:00  
 DESCARREG.TERMINO PREVISTO=    05/06/1998    SEXTA    11:00  
 TAREFA    16            DEMANDA= 6 TON  
 CARREG.INICIO PREVISTO=    08/06/1998    SEGUNDA    08:00  
 CARREG.TERMINO PREVISTO=    08/06/1998    SEGUNDA    14:00  
 DESCARREG.INICIO PREVISTO=    09/06/1998    TERCA    08:00  
 DESCARREG.TERMINO PREVISTO=    09/06/1998    TERCA    14:00  
 DATA PREVISTA VOLTA VEICULO=09/06/1998    TERCA    14:42  
 DISTANCIA TOTAL=960.00 KM    TEMPO PARADO (FORA JORNADA)=118.00 Horas

### ROTEIRO=2

GARAGEM=2                    TIPO VEICULO=1  
 SEQUENCIA TAREFAS = 5 , 13 , 19 ,  
 SAIDA DO VEICULO DA GARAGEM : 01/06/1998    SEGUNDA    08:00  
 TAREFA    5            DEMANDA= 4 TON  
 CARREG.INICIO PREVISTO=    01/06/1998    SEGUNDA    09:52  
 CARREG.TERMINO PREVISTO=    01/06/1998    SEGUNDA    11:52  
 DESCARREG.INICIO PREVISTO=    02/06/1998    TERCA    08:00  
 DESCARREG.TERM PREVISTO=    02/06/1998    TERCA    10:00  
 TAREFA    13            DEMANDA= 3 TON  
 CARREG.INICIO PREVISTO=    05/06/1998    SEXTA    08:00  
 CARREG.TERMINO PREVISTO=    05/06/1998    SEXTA    15:00  
 DESCARREG.INICIO PREVISTO=    08/06/1998    SEGUNDA    08:45  
 DESCARREG.TERMINO PREVISTO=    08/06/1998    SEGUNDA    15:45  
 TAREFA    19            DEMANDA= 3 TON  
 CARREG.INICIO PREVISTO=    09/06/1998    TERCA    08:00  
 CARREG.TERMINO PREVISTO=    09/06/1998    TERCA    14:00  
 DESCARREG.INICIO PREVISTO=    10/06/1998    QUARTA    08:00  
 DESCARREG.TERMINO PREVISTO=    10/06/1998    QUARTA    14:00  
 DATA PREVISTA VOLTA VEICULO=10/06/1998    QUARTA    14:37  
 DISTANCIA TOTAL=1075.00 KM    TEMPO PARADO (FORA JORNADA)=146.00 Horas

## ROTEIRO=3

GARAGEM=1 TIPO VEICULO=1  
 SEQUENCIA TAREFAS = 1 , 8 , 14 , 20 ,  
 SAIDA DO VEICULO DA GARAGEM : 01/06/1998 SEGUNDA 08:00  
 TAREFA 1 DEMANDA= 4 TON  
 CARREG.INICIO PREVISTO= 01/06/1998 SEGUNDA 09:15  
 CARREG.TERMINO PREVISTO= 01/06/1998 SEGUNDA 12:15  
 DESCARREG.INICIO PREVISTO= 02/06/1998 TERCA 08:00  
 DESCARREG.TERM PREVISTO= 02/06/1998 TERCA 11:00  
 TAREFA 8 DEMANDA=25 M3  
 CARREG.INICIO PREVISTO= 03/06/1998 QUARTA 08:00  
 CARREG.TERMINO PREVISTO= 03/06/1998 QUARTA 13:00  
 DESCARREG.INICIO PREVISTO= 04/06/1998 QUINTA 08:00  
 DESCARREG.TERMINO PREVISTO= 04/06/1998 QUINTA 13:00  
 TAREFA 14 DEMANDA= 4 TON  
 CARREG.INICIO PREVISTO= 05/06/1998 SEXTA 08:00  
 CARREG.TERMINO PREVISTO= 05/06/1998 SEXTA 15:00  
 DESCARREG.INICIO PREVISTO= 08/06/1998 SEGUNDA 08:00  
 DESCARREG.TERMINO PREVISTO= 08/06/1998 SEGUNDA 15:00  
 TAREFA 20 DEMANDA= 4 TON  
 CARREG.INICIO PREVISTO= 09/06/1998 TERCA 08:00  
 CARREG.TERMINO PREVISTO= 09/06/1998 TERCA 13:00  
 DESCARREG.INICIO PREVISTO= 10/06/1998 QUARTA 08:00  
 DESCARREG.TERMINO PREVISTO= 10/06/1998 QUARTA 13:00  
 DATA PREVISTA VOLTA VEICULO=10/06/1998 QUARTA 16:07  
 DISTANCIA TOTAL=1218.00 KM TEMPO PARADO (FORA JORNADA)=146.00 Horas

## ROTEIRO=4

GARAGEM=2 TIPO VEICULO=2  
 SEQUENCIA TAREFAS = 2 , 9 , 15 , 21 ,  
 SAIDA DO VEICULO DA GARAGEM : 02/06/1998 TERCA 08:00  
 TAREFA 2 DEMANDA= 6 TON  
 CARREG.INICIO PREVISTO= 02/06/1998 TERCA 11:34  
 CARREG.TERMINO PREVISTO= 02/06/1998 TERCA 17:34  
 DESCARREG.INICIO PREVISTO= 03/06/1998 QUARTA 09:00  
 DESCARREG.TERM PREVISTO= 03/06/1998 QUARTA 15:00  
 TAREFA 9  
 CARREG.INICIO PREVISTO= 03/06/1998 QUARTA 16:25  
 CARREG.TERMINO PREVISTO= 03/06/1998 QUARTA 21:25  
 DESCARREG.INICIO PREVISTO= 04/06/1998 QUINTA 08:00  
 DESCARREG.TERMINO PREVISTO= 04/06/1998 QUINTA 13:00  
 TAREFA 15 DEMANDA= 3 TON  
 CARREG.INICIO PREVISTO= 05/06/1998 SEXTA 08:00  
 CARREG.TERMINO PREVISTO= 05/06/1998 SEXTA 14:00  
 DESCARREG.INICIO PREVISTO= 08/06/1998 SEGUNDA 08:00  
 DESCARREG.TERMINO PREVISTO= 08/06/1998 SEGUNDA 14:00  
 TAREFA 21 DEMANDA=10 TON  
 CARREG.INICIO PREVISTO= 09/06/1998 TERCA 08:00  
 CARREG.TERMINO PREVISTO= 09/06/1998 TERCA 13:00  
 DESCARREG.INICIO PREVISTO= 10/06/1998 QUARTA 08:00  
 DESCARREG.TERMINO PREVISTO= 10/06/1998 QUARTA 13:00  
 DATA PREVISTA VOLTA VEICULO=10/06/1998 QUARTA 13:00  
 DISTANCIA TOTAL=1123.00 KM TEMPO PARADO (FORA JORNADA)=132.00 Horas

ROTEIRO=5  
 GARAGEM=2 TIPO VEICULO=2  
 SEQUENCIA TAREFAS = 3 , 7 , 12 , 18 ,  
 SAIDA DO VEICULO DA GARAGEM : 01/06/1998 SEGUNDA 08:00  
 TAREFA 3 DEMANDA= 5 TON  
 CARREG.INICIO PREVISTO= 01/06/1998 SEGUNDA 10:51  
 CARREG.TERMINO PREVISTO= 01/06/1998 SEGUNDA 13:51  
 DESCARREG.INICIO PREVISTO= 02/06/1998 TERCA 08:00  
 DESCARREG.TERM PREVISTO= 02/06/1998 TERCA 11:00  
 TAREFA 7 DEMANDA= 6 TON  
 CARREG.INICIO PREVISTO= 03/06/1998 QUARTA 08:00  
 CARREG.TERMINO PREVISTO= 03/06/1998 QUARTA 13:00  
 DESCARREG.INICIO PREVISTO= 04/06/1998 QUINTA 08:00  
 DESCARREG.TERMINO PREVISTO= 04/06/1998 QUINTA 13:00  
 TAREFA 12 DEMANDA= 4 TON  
 CARREG.INICIO PREVISTO= 04/06/1998 QUINTA 14:25  
 CARREG.TERMINO PREVISTO= 05/06/1998 SEXTA 08:25  
 DESCARREG.INICIO PREVISTO= 05/06/1998 SEXTA 09:51  
 DESCARREG.TERMINO PREVISTO= 05/06/1998 SEXTA 13:51  
 TAREFA 18 DEMANDA= 8 TON  
 CARREG.INICIO PREVISTO= 08/06/1998 SEGUNDA 08:00  
 CARREG.TERMINO PREVISTO= 08/06/1998 SEGUNDA 13:00  
 DESCARREG.INICIO PREVISTO= 09/06/1998 TERCA 08:00  
 DESCARREG.TERMINO PREVISTO= 09/06/1998 TERCA 13:00  
 DATA PREVISTA VOLTA VEICULO=09/06/1998 TERCA 14:25  
 DISTANCIA TOTAL=1125.00 KM TEMPO PARADO (FORA JORNADA)=132.00 Horas

ROTEIRO=6  
 GARAGEM=2 TIPO VEICULO=1  
 SEQUENCIA TAREFAS = 6 , 11 , 17 , 22 ,  
 SAIDA DO VEICULO DA GARAGEM : 02/06/1998 TERCA 08:00  
 TAREFA 6 DEMANDA= 4 TON  
 CARREG.INICIO PREVISTO= 02/06/1998 TERCA 11:07  
 CARREG.TERMINO PREVISTO= 02/06/1998 TERCA 17:07  
 DESCARREG.INICIO PREVISTO= 03/06/1998 QUARTA 08:22  
 DESCARREG.TERM PREVISTO= 03/06/1998 QUARTA 14:22  
 TAREFA 11 DEMANDA= 4 TON  
 CARREG.INICIO PREVISTO= 04/06/1998 QUINTA 08:00  
 CARREG.TERMINO PREVISTO= 04/06/1998 QUINTA 12:00  
 DESCARREG.INICIO PREVISTO= 05/06/1998 SEXTA 08:00  
 DESCARREG.TERMINO PREVISTO= 05/06/1998 SEXTA 12:00  
 TAREFA 17 DEMANDA= 5 TON  
 CARREG.INICIO PREVISTO= 08/06/1998 SEGUNDA 08:00  
 CARREG.TERMINO PREVISTO= 08/06/1998 SEGUNDA 13:00  
 DESCARREG.INICIO PREVISTO= 09/06/1998 TERCA 08:00  
 DESCARREG.TERMINO PREVISTO= 09/06/1998 TERCA 13:00  
 TAREFA 22 DEMANDA= 5 TON  
 CARREG.INICIO PREVISTO= 11/06/1998 QUINTA 08:00  
 CARREG.TERMINO PREVISTO= 11/06/1998 QUINTA 14:00  
 DESCARREG.INICIO PREVISTO= 12/06/1998 SEXTA 08:00  
 DESCARREG.TERMINO PREVISTO= 12/06/1998 SEXTA 14:00  
 DATA PREVISTA VOLTA VEICULO=12/06/1998 SEXTA 14:37  
 DISTANCIA TOTAL=1220.00 KM TEMPO PARADO (FORA JORNADA)=160.00 Horas



## CAPÍTULO 6

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo analisaremos a modelagem proposta, bem como abordaremos as dificuldades encontradas na implementação computacional tanto do algoritmo proposto para geração dos roteiros viáveis, como para a estruturação do pacote computacional escolhido para seleção dos melhores roteiros. Também apresentaremos possíveis extensões para este trabalho.

---

#### **6.1 – SÍNTESE DO TRABALHO DESENVOLVIDO**

No presente trabalho foi proposta uma modelagem e um método de resolução para um problema do tipo Carga Única-Coleta e Entrega, que é um caso especial dos problemas do tipo Problema de Coleta e Entrega, como foi explicado no capítulo 3. Esta modelagem consistiu em dividir a resolução do problema em duas etapas a exemplo do procedimento adotado por Dumas, Desrosiers e Soumis (1991), que foi uma das principais referências para este trabalho. A primeira etapa consistiu em gerar todos os roteiros viáveis e seus custos associados, ou seja, todos roteiros que satisfizessem as restrições operacionais do problema, tais como: janelas de tempo, capacidade, rota, operação e tipo de carga. Na segunda etapa, com posse de todos os roteiros viáveis e custos associados gerados na primeira etapa, são selecionados os melhores roteiros, resolvendo-se um problema de programação linear do tipo partição de conjunto (Set Partitioning Problem) e, para tanto, foi utilizado o pacote computacional GAMS, na sua versão 2.25, que opera no modo DOS do mesmo

modo que a linguagem Turbo-Pascal 7.0, escolhida para implementar o algoritmo proposto de geração de roteiros viáveis e custos associados.

A modelagem proposta, dividindo o problema em duas etapas, oferece a vantagem de resolvermos de forma exata problemas de pequeno porte, ou seja, problemas que gerem um número de roteiros viáveis compatível com a capacidade de resolução do pacote computacional "GAMS", isto porque a segunda etapa da modelagem é que limita o tamanho do problema a ser resolvido, pois na primeira etapa o algoritmo de geração de roteiros viáveis pode gerar e armazenar um número de roteiros muito maior do que a segunda etapa pode resolver.

Para problemas com porte superior ao que se pode resolver na segunda etapa, podemos desenvolver uma heurística que faça uma seleção prévia dos roteiros, assim diminuindo o número de roteiros viáveis, deste modo possibilitando sua resolução, ou utilizar na segunda etapa algum procedimento mais eficiente como, por exemplo, o método de geração de colunas.

É importante lembrar que o porte do problema a ser resolvido está vinculado às suas restrições operacionais e, sendo assim, só é possível determiná-lo após processarmos o algoritmo de geração de roteiros viáveis.

Uma outra vantagem desta modelagem, é que teremos os roteiros gerados em arquivo, que também poderão ser analisados e alterados de acordo com a estratégia do agente que fará o transporte, ou seja, para problemas que gerem um número muito grande de roteiros, poderemos criar uma heurística para diminuir o número destes roteiros. É claro que assim poderemos não encontrar a solução ótima, mas deveremos estar nos arredores do ponto ótimo.

As principais dificuldades encontradas, na implementação computacional do algoritmo proposto, tiveram a ver com o modo de trabalho da linguagem Turbo Pascal 7.0, ou seja, o modo DOS, pois este oferece um acesso de memória randômica (RAM) de apenas 640 Kbytes. Para contornarmos estas dificuldades e, assim, podermos atender um número maior de clientes, utilizamos um endereçamento escolhido pelo sistema em uma estrutura do tipo pilha, chamado Heap. Para se atender um número ainda maior de clientes seria necessário utilizar formas mais elaboradas de gerenciar a entrada de dados, porém este não é o limitante do problema, pois com a estrutura de entrada de dados, adotada para o algoritmo de geração de roteiros viáveis, é possível resolver problemas com até 181 clientes e com uma estrutura de operação com 50 garagens e 50 tipos de veículos.

O grande limitante para a modelagem proposta é o número de roteiros gerados; como vimos no exemplo 2, resolvido no capítulo 5, foram gerados 26.114 roteiros viáveis para um problema com 22 clientes, pois as restrições eram menos rígidas que nos exemplos 1 e 1A. Deste modo, um problema com 100 clientes pode já ter um número excessivamente grande de roteiros viáveis gerados, pois o número de roteiros cresce exponencialmente com o número de clientes, consumindo um grande tempo de processamento bem como um grande espaço de memória para armazenar os arquivos de saída CUSTO.PAS e ROT.PAS, além das dificuldades com o pacote computacional escolhido para seleção dos melhores roteiros.

Para o pacote computacional GAMS, as principais dificuldades são:

- Cada dado de custo e de roteiro terá que entrar um por linha e a capacidade de compilação dos dados é de aproximadamente 190.000 linhas; quando este valor é ultrapassado, o procedimento é dividir o problema em blocos de

190.000 linhas, o que vai gerar um tempo maior de processamento. O exemplo 2, resolvido no capítulo 5, tinha 143.520 linhas.

- Outra dificuldade é o espaço de trabalho alocado (work space allocated) na memória RAM que o GAMS necessita para resolver o problema, que é uma limitação que irá depender do equipamento utilizado e também do “solver” do GAMS utilizado. Como já mencionado anteriormente, para a resolução dos exemplos escolhidos foi utilizado o solver OSL e um equipamento com capacidade de 64Mb e para o exemplo 2, onde foram gerados 26.114 roteiros viáveis, foi necessário um espaço de trabalho de 43,03Mb, enquanto que para o exemplo 1, onde foram gerados 1.598 roteiros viáveis, foi necessário um espaço de trabalho de 3,24Mb. Assim, vemos, que apesar do espaço de trabalho necessário não crescer linearmente com o número de roteiros, esta pode ser a uma limitação muito importante do porte do problema, dependendo do equipamento utilizado para se resolver este problema.

O “solver”, disponível no Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, indicado como mais eficiente para resolver os problemas propostos seria o “solver” CPLEX; para o exemplo 2, ele selecionou os mesmos seis roteiros em 1.059,53 segundos, contra os 1.413,61 gastos com o “solver” OSL, e seu arquivo de saída também ocupou aproximadamente 10Mb de espaço no disco rígido. Não há informação do espaço de trabalho necessário na memória RAM. Como parâmetro de comparação, cabe mencionar que para o exemplo 2, com 22 clientes e 26.114 roteiros viáveis, utilizando-se o “solver” OSL foi necessário um espaço de 43,03Mb, indicando que este problema não poderia ser resolvido em um equipamento com 32Mb de memória RAM. Já

utilizando-se o “solver” CPLEX poderíamos solucionar este exemplo com um equipamento com 32Mb de memória RAM, mas não conseguiríamos com um problema com 23 clientes ou tarefas, onde foram gerados 9.323 roteiros viáveis.

## 6.2 – SUGESTÕES

Como possíveis extensões para este trabalho, poderiam ser apresentadas as seguintes sugestões:

- Como o presente trabalho abordou um problema específico de transporte, que ainda não havia sido abordado na literatura pesquisada, uma sugestão seria a de se utilizar a mesma estratégia de modelagem e resolução em duas etapas para outras classes de problemas, como já vem sendo feito em outros trabalhos encontrados na literatura.
- Uma outra sugestão poderia ser a de tratar o problema não só estaticamente mas sim considera-lo de forma dinâmica, permitindo assim, que novas requisições de transporte fossem sendo incorporadas. Uma dificuldade para esta alternativa seria para os veículos que estivessem atendendo à uma tarefa e não terminado ainda, pois os outros entrariam normalmente no algoritmo para atender as tarefas que ainda não tivessem sido atendidas e as tarefas que fossem incluídas a partir de suas garagens, ou em garagens fictícias caso não tivessem ainda retornado a elas. Uma alternativa para superar esta dificuldade seria a de se considerar como garagem fictícia o ponto de destino da tarefa não terminada e lembrar que teríamos que considerar o tempo para termina-la.

- A utilização de uma outra linguagem de programação mais poderosa, para o algoritmo de geração de roteiros, que não operasse no modo DOS e sim Windows seria uma boa melhora, já que assim não teríamos os limites de acesso à memória RAM que o Turbo Pascal 7.0 impõe e poderíamos acessar toda memória disponível no microcomputador.
- Utilizar na segunda etapa da modelagem outro software que pudesse resolver problemas de maior porte e com esse intuito poderia ser analisado o método de geração de colunas.
- Uma última sugestão seria a de uma proposta de uma heurística eficiente, em termos de não perder boas alternativas, para uma seleção prévia dos roteiros com o propósito de diminuir o número de roteiros viáveis gerados a valores compatíveis com a resolução do problema de partição de conjunto.

## **BIBLIOGRAFIA**

- BAUMOL, W.J. **Economics: principles and policy**. 4.ed. New York, Harcourt Brau Jovanovich, 1979.
- BOLDIN, B. L.; GOLDEN, B.; ASSAD, A.; BALL, M. **Routing and scheduling of vehicles and crews: the state of the art**. Computers and Operations Research, v.10, p.63-211, 1983.
- BROOKE, A., KENDRICK, D.; MEERAUS, A. **GAMS: User guide, release 2.25**. 2.ed. Danvers, Boyd & Fraser, 1992.
- CULLEN, F.H.; JARVIS, J.J.; RATLIFF, H.D. **Set partitioning based heuristics for interactive routing**. Networks, v.11, p.125-143, 1981.
- CUNHA, C.B. **Algoritmos para roteamento e programação de veículos no contexto da distribuição física**. São Paulo, 1991. 178p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes.
- CUNHA, C.B. **Uma contribuição para o problema de roteirização de veículos com restrições operacionais**. São Paulo, 1997. 222p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes.

DASKIN, M. S. **Logistics : an overview of the state of the art and perspectives on future research.** Transportation Research , v.19, n.5/6, pt.A, p.383-398, 1985.

DESROCHER, M., SOUMIS, F. **A column generation approach to the urban transit crew scheduling problem.** Transportation Science, v.23, n.1, p.1-13, 1989.

DESROSIERS, J.; DUMAS, Y., SOUMIS ,F. **A dynamic programming solution of the large-scale single-vehicle dial-a-ride problem with time windows.** American Journal of Mathematical and Management Sciences, v.6, p.301-325, 1986.

DESROSIERS, J.; LAPORT, G.; SAUVE, M.; SOUMIS F.; TAILLEFER, S. **Vehicle routing with full loads.** Computers and Operations Research, v.15, n.3, p.219-226, 1988.

DUMAS, Y., DESROSIERS, J.; SOUMIS, F. **The pickup and delivery problem with time windows.** European Journal of Operational Research v.54, p.7-22, 1991.

FISHETTI, M., Toth, P. **An additive bounding procedure for combinatorial optimization problems.** Operations Research v.37, p.319-328, 1989.



HAOURARI, M.; DEJAX ,P.; DESROCHERS ,M. **Modelling and solving complex vehicle routing problems using column generation**, Paris, Ecole Centrale Paris/ Laboratoire Economique Industriel et Social, 1990. (Paper #9002A)

HAY, W.W. **Introduction to transportation engineering**. New York, John Wiley and Sons, 1977.

JAW, J.J.; ODoni, A.R., PSARAFTIS, , H.N., WILSON, N.H.M. **A heuristic algorithm for the multi-vehicle advance request dial-a-ride problem with time windows**. Transportation Research , v.20, n.3, pt. B, p.339-346, 1986.

KALANTARI, B.; HILL, A.V.; ARORA,S.R. **An algorithm for the traveling salesman problem with pickup and delivery customers**. European Journal of Operational Research, v.22, p.377-386, 1985.

KOLEN, A.W.J.; RINNOY,A.G.; TRIENEKENS ,H.W.J.M. **Vehicle routing with time windows**. Operations Research, v.35, n.2, p.266-273, 1987.

MAGNANTI, T.L. **Combinatorial optimization and vehicle fleet planning: perspectives and prospects**. Networks, v.11, p.179-213, 1981.

- MOLE, R.H.; JOHNSON, D.G.; WELLS, K. **Combinatorial analysis for route first-cluster second vehicle routing.** *Omega*, v.11, n.5, p.507-512, 1983.
- NOVAES, A .G.N.; ALVARENGA, A C. **Logística aplicada: suplementos e distribuição física .** São Paulo, Pioneira, 1994.
- PADE,T.R.; MARIOTTO , A.; ADAMO ,P.J. ; RECHE ,C.M. **Administração do transporte de carga ,** São Paulo, Takano Editora, Mercedes Benz, 1992.
- PASARAFTIS, H.N. **A dynamic programing solution to the single vehicle many-to-many immediate request dial-a-ride problem.** *Transportation Science*, v.14, p.130-154, 1980.
- PASARAFTIS, H.N. **An exact algorithm for the single vehicle many-to-many dial-a-ride problem with time windows.** *Transportation Science* n.17, p.351-357, 1983.
- PASARAFTIS, H.N. **Dynamic vehicle routing problems.** In: **GOLDEN, B.L. ; ASSAD, A. A, coord. Routing: methods and Studies.** North Holland, s.c.p., p. 223-48, 1988.
- RULAND, K.S., E.Y. **The pickup and delivery problem: Faces and Branch-and-cut algorithm.** *Computers & Mathematics with application*, v.33, p.1-13, 1997.

SAVESLSBERGH, M.W.P. **An efficient implementation of local search algorithms for constrained routing problems.** European Journal of Operational Research ,v47, p.75-85, 1990.

SAVESLSBERGH, M.W.P. **The general pickup and delivery problem.** Transportation Science, v.29, p.17-29, 1995.

SKITT,R.A. , L. R.R. **Vehicle routing via column generation.** European Journal of Operational Research, v.21, p.65-76, 1985.

SOLOMON, M.M. **Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints.** Operations Research, v.35, n.2, p.1-13, 1987.

SOLOMON, M.M., D. J. **Time window constrained routing and scheduling problems.** Transportation Science, v.22, n.1, p.1-13, 1988

XAVIER, M. **Avaliação econômica financeira de empresas de transporte rodoviário de carga: uma metodologia de análise de eficiência.** São Paulo, 1982. 166p. Dissertação (Mestrado) – EAESP. Fundação Getúlio Vargas.

## APÊNDICE A

### DADOS DE ENTRADA PARA OS EXEMPLOS 1 E 1A

As tabelas mostram os seguintes dados:

- A Tabela 5.1 apresenta os locais de origem e destinos; as distâncias entre origem e destino de uma tarefa (DISTJ) e as demandas de transporte que podem ser dadas em peso ou volume, o que for mais crítico para as restrições de capacidade.
- A Tabela 5.2, que já está em horário contínuo, apresenta os horários a partir dos quais pode-se iniciar os carregamentos e descarregamentos (HINCAR e HINDES), os horários que não podem ser ultrapassados para os termos de carregamento e descarregamento (HTEDES e HTEDES). Além destes horários esta tabela apresenta também os tempos de carregamento e descarregamento (TEMCAR e TEMDES).
- A Tabela 5.3 apresenta as distâncias entre as garagens e os pontos de origem de cada tarefa (DISTGJ).
- A Tabela 5.4 apresenta as distâncias entre os pontos de destino de cada tarefa até as garagens (DISTGJ1).
- A Tabela 5.5 apresenta as distâncias entre o ponto de destino de uma tarefa I até o ponto de origem de uma tarefa J posterior, ou seja  $J > I$  com I e J variando de 1 a NTAR ( número de tarefas), isto porque as tarefas já estão ordenadas e deste modo a partir de uma tarefa não haverá transporte para outra tarefa que seja anterior a esta.
- A Tabela 5.6 apresenta os horários de funcionamento dos pontos de origens e destinos, que serão comparados com a jornada de trabalho da tripulação para se escolher quais deles serão escolhidos para entrar no algoritmo proposto.
- A Tabela 5.7 apresenta os números de veículos de cada tipo em cada garagem, porém estes dados só serão utilizados na segunda etapa da modelagem, quando utilizaremos o pacote computacional GAMS.
- A Tabela 5.8 apresenta a variável  $XIK(I,K)$  que quando for igual a 1 indica que a rota para aquele tipo de veículo não pode ser usada pois não satisfaz as restrições que dizem respeito à rota e/ou carga e/ou operação e se  $XIK(I,K)$  for igual a zero indica que elas são satisfeitas.

Obs.:

Todos os horários que constam nas tabelas foram convertidos para o tempo contínuo de planejamento.

**TABELA 1- DEMANDA DAS TAREFAS E OS LOCAIS E DISTÂNCIAS DAS ORIGENS E DESTINOS**

**(EXEMPLO 1 e 1A)**

TAREFA	ORIGEM	DESTINO	DISTJ	DEMANDA.	
				M3	Ton
1	L2	L3	3015		4
2	L2	L4	2338		6
3	L6	L5	4100		6
4	L5	L3	4434		4
5	L7	L6	3090		3
6	L3	L5	4434		6
7	L1	L5	3070		3
8	L9	L7	3804		5
9	L3	L1	2970		8
10	L4	L1	2660		4
11	L5	L2	3473	15	
12	L3	L2	3015		5
13	L6	L8	632		7
14	L1	L1	40	18	
15	L5	L7	3662		4
16	L7	L3	3891		5
17	L1	L1	60		7
18	L4	L9	1137	25	
19	L3	L10	2738		4
20	L2	L4	2338		4
21	L5	L3	4434		5
22	L7	L4	3779		4
23	L3	L5	4434		3
24	L1	L3	2970		8
25	L9	L6	1163		10
26	L3	L5	4434		5
27	L4	L5	4797		3
28	L5	L7	3662		7
29	L3	L1	2970		8
30	L6	L4	839		5
31	L4	L1	2660		4
32	L5	L2	3473	13	
33	L3	L2	3015		5
34	L6	L8	632		7
35	L1	L1	40	17	
36	L5	L7	3662		4
37	L7	L3	3891		5
38	L1	L1	60		7
39	L4	L9	1137	23	
40	L3	L10	2738		4
41	L2	L4	2338		4
42	L5	L3	4434		5
43	L7	L4	3779		4
44	L3	L5	4434		3
45	L1	L3	2970		8
46	L9	L6	1163		10
47	L3	L5	4434		5
48	L4	L5	4797		3
49	L5	L7	3662		7
50	L3	L1	2970		8

**TABELA 2- HORÁRIOS E TEMPOS DE CARREGAMENTO E  
DESCARREGAMENTO**

**(EXEMPLOS 1 e 1A)**

Tarefa	Hincar	Htecar	Temcar	Hindes	Htedes	Temdes
1	24	34	3	168	202	3
2	24	58	4	192	250	4
3	24	82	6	192	250	6
4	24	106	3	240	274	3
5	48	106	4	216	274	4
6	48	106	2	216	274	2
7	24	106	3	240	274	3
8	48	106	4	216	274	4
9	48	106	2	216	274	2
10	24	80	5	240	344	5
11	24	80	5	240	344	5
12	192	202	2	198	346	2
13	216	226	3	240	346	3
14	216	226	3	240	346	3
15	48	106	5	216	346	5
16	96	178	4	264	346	4
17	48	106	5	216	346	5
18	96	178	4	264	346	4
19	24	58	3	264	370	3
20	168	250	5	240	370	5
21	24	58	3	264	370	3
22	168	250	5	240	370	5
23	96	176	5	336	394	5
24	168	226	3	336	394	3
25	96	176	5	336	394	5
26	168	226	3	336	394	3
27	240	368	2	360	440	2
28	240	368	2	360	440	2
29	216	346	2	240	442	2
30	216	346	3	240	442	3
31	216	346	2	240	442	2
32	216	346	3	240	442	3
33	240	368	4	384	514	4
34	360	418	3	408	514	3
35	240	368	4	384	514	4
36	360	418	3	432	562	3
37	360	416	1	528	562	1
38	360	416	1	528	562	1
39	360	418	3	552	610	3
40	360	418	2	408	610	2
41	360	418	1	408	610	1
42	360	418	4	408	610	4
43	360	418	3	552	610	3
44	360	418	2	408	610	2
45	360	418	1	408	610	1
46	360	442	3	408	682	3
47	384	514	2	432	706	2
48	384	514	1	432	706	1
49	384	514	2	432	730	2
50	408	538	3	432	730	3

**TABELA 3- DISTÂNCIAS DAS GARAGENS ÀS ORIGENS****(EXEMLO 1)**

<b>TAREFA</b>	<b>G1</b>	<b>G2</b>	<b>G3</b>
1	250	50	2131
2	250	40	2131
3	320	1649	632
4	320	3473	4590
5	320	1563	3572
6	250	3015	1672
7	250	429	2453
8	429	2579	1236
9	250	3015	1672
10	320	2338	285
11	320	3473	4590
12	250	3015	1672
13	320	1649	632
14	250	429	2453
15	320	3473	4590
16	320	1663	3572
17	250	429	2453
18	320	2338	285
19	250	3015	1672
20	250	50	2131
21	320	3473	4590
22	320	1663	3572
23	250	3015	1672
24	250	429	2453
25	429	2579	1236
26	250	3015	1672
27	320	2338	285
28	320	3473	4590
29	250	3015	1672
30	320	1649	285
31	320	2338	285
32	320	3473	4590
33	250	3015	1672
34	320	1649	632
35	250	429	2453
36	320	3473	4590
37	320	1663	3572
38	250	429	2453
39	320	2338	285
40	250	3015	1672
41	250	50	2131
42	320	3473	4590
43	320	1663	3572
44	250	3015	1672
45	250	429	2453
46	429	2579	1236
47	250	3015	1672
48	320	2338	285
49	320	3473	4590
50	250	3015	1672

**TABELA 3- DISTÂNCIAS DAS GARAGENS ÀS ORIGENS**

**(EXEMLO 1A COM GARAGENS FICTÍCIAS)**

TAREFA	G1	G2	G3	GF1	GF2
1	250	50	2131	3015	2338
2	250	40	2131	3015	2338
3	320	1649	632	1599	839
4	320	3473	4590	4434	4797
5	320	1563	3572	3891	3779
6	250	3015	1672	40	1573
7	250	429	2453	2970	2660
8	429	2579	1236	446	1137
9	250	3015	1672	40	1573
10	320	2338	285	1573	30
11	320	3473	4590	4434	4797
12	250	3015	1672	40	1573
13	320	1649	632	1599	839
14	250	429	2453	2970	2660
15	320	3473	4590	4434	4797
16	320	1663	3572	3891	3779
17	250	429	2453	2970	2660
18	320	2338	285	1573	25
19	250	3015	1672	40	1573
20	250	50	2131	3015	2338
21	320	3473	4590	4434	4797
22	320	1663	3572	3891	3779
23	250	3015	1672	50	1573
24	250	429	2453	2970	2660
25	429	2579	1236	446	1137
26	250	3015	1672	50	1573
27	320	2338	285	1573	20
28	320	3473	4590	4434	4797
29	250	3015	1672	40	1573
30	320	1649	285	1599	839
31	320	2338	285	1573	30
32	320	3473	4590	4434	4797
33	250	3015	1672	40	1573
34	320	1649	632	1599	839
35	250	429	2453	2970	2660
36	320	3473	4590	4434	4797
37	320	1663	3572	3891	3779
38	250	429	2453	2970	2660
39	320	2338	285	1573	25
40	250	3015	1672	40	1573
41	250	50	2131	3015	2338
42	320	3473	4590	4434	4797
43	320	1663	3572	3891	3779
44	250	3015	1672	50	1573
45	250	429	2453	2970	2660
46	429	2579	1236	446	1137
47	250	3015	1672	50	1573
48	320	2338	285	1573	20
49	320	3473	4590	4434	4797
50	250	3015	1672	40	1573



**TABELA 4- DISTÂNCIAS DAS GARAGENS AOS DESTINOS****(EXEMPLO 1)**

<b>TAREFA</b>	<b>G1</b>	<b>G2</b>	<b>G3</b>
1	2970	3015	1672
2	2660	2338	285
3	3070	3473	4590
4	2970	3015	1672
5	1962	1649	632
6	3070	3473	4590
7	3070	3473	4590
8	1109	1563	3572
9	40	429	2453
10	50	429	2453
11	429	40	2131
12	429	40	2131
13	2453	2131	50
14	40	429	2453
15	1109	1563	3572
16	2970	3015	1672
17	50	429	2453
18	2792	2579	1236
19	586	434	1854
20	2660	2338	285
21	2970	3015	1672
22	2660	2338	285
23	3070	3473	4590
24	2970	3015	1672
25	1962	1649	632
26	3070	3473	4590
27	3070	3473	4590
28	1109	1563	3572
29	50	429	2453
30	2660	2338	285
31	50	429	2453
32	429	40	2131
33	429	40	2131
34	2453	2131	50
35	40	429	2453
36	1109	1563	3572
37	2970	3015	1672
38	50	429	2453
39	2792	2579	1236
40	586	434	1854
41	2660	2338	285
42	2970	3015	1672
43	2660	2338	285
44	3070	3473	4590
45	2970	3015	1672
46	1962	1649	632
47	3070	3473	4590
48	3070	3473	4590
49	1109	1563	3572
50	50	429	2453

**TABELA 4- DISTÂNCIAS DAS GARAGENS AOS DESTINOS  
(EXEMPLO 1A COM GARAGENS FICTÍCIAS)**

TAREFA	G1	G2	G3	GFV1	GFV2
1	2970	3015	1672	3015	1672
2	2660	2338	285	2338	285
3	3070	3473	4590	3473	4590
4	2970	3015	1672	3015	1672
5	1962	1649	632	1649	632
6	3070	3473	4590	3473	4590
7	3070	3473	4590	3473	4590
8	1109	1563	3572	1563	3572
9	40	429	2453	429	2453
10	50	429	2453	429	2453
11	429	40	2131	40	2131
12	429	40	2131	40	2131
13	2453	2131	50	2131	50
14	40	429	2453	429	2453
15	1109	1563	3572	1563	3572
16	2970	3015	1672	3015	1672
17	50	429	2453	429	2453
18	2792	2579	1236	2579	1236
19	586	434	1854	434	1854
20	2660	2338	285	2338	285
21	2970	3015	1672	3015	1672
22	2660	2338	285	2338	285
23	3070	3473	4590	3473	4590
24	2970	3015	1672	3015	1672
25	1962	1649	632	1649	632
26	3070	3473	4590	3473	4590
27	3070	3473	4590	3473	4590
28	1109	1563	3572	1563	3572
29	50	429	2453	429	2453
30	2660	2338	285	2338	285
31	50	429	2453	429	2453
32	429	40	2131	40	2131
33	429	40	2131	40	2131
34	2453	2131	50	2131	50
35	40	429	2453	429	2453
36	1109	1563	3572	1563	3572
37	2970	3015	1672	3015	1672
38	50	429	2453	429	2453
39	2792	2579	1236	2579	1236
40	586	434	1854	434	1854
41	2660	2338	285	2338	285
42	2970	3015	1672	3015	1672
43	2660	2338	285	2338	285
44	3070	3473	4590	3473	4590
45	2970	3015	1672	3015	1672
46	1962	1649	632	1649	632
47	3070	3473	4590	3473	4590
48	3070	3473	4590	3473	4590
49	1109	1563	3572	1563	3572
50	50	429	2453	429	2453







**TABELA 6 – HORÁRIOS DE FUNCIONAMENTO DOS PONTOS DE COLETA E ENTREGA**

**(EXEMPLO 1 e 1A)**

<b>TAR</b>	<b>HORÁRIO FUNCIONAMENTO LOCAL DE COLETA</b>	<b>HORÁRIO FUNCIONAMENTO LOCAL DE ENTREGA</b>
1	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
2	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
3	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
4	SEG-SEX / 8:00 às 16:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 16:00 horas
5	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
6	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
7	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
8	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
9	SEG-SEX / 8:00 às 17:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 17:00 horas
10	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
11	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
12	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
13	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
14	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
15	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
16	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
17	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
18	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
19	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
20	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
21	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
22	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
23	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
24	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
25	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
26	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
27	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
28	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
29	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
30	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
31	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
32	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
33	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
34	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
35	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas

**TABELA 6 – HORÁRIOS DE FUNCIONAMENTO DOS PONTOS DE COLETA E ENTREGA**

**(EXEMPLO 1 e 1A)**

continuação

TAR	HORÁRIO FUNCIONAMENTO LOCAL DE COLETA	HORÁRIO FUNCIONAMENTO LOCAL DE ENTREGA
36	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
37	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
38	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
39	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
40	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
41	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
42	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
43	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
44	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
45	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
46	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
47	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
48	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
49	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas
50	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas	SEG-SEX / 8:00 às 18:00 horas

**TABELA 7 – N° DISPONÍVEL DE VEÍCULOS**

**(EXEMPLO 1)**

VEÍCULO/GARAGEM	1	2	3
1	8	9	9
2	7	9	8

**TABELA 7 – N° DISPONÍVEL DE VEÍCULOS**

**(EXEMPLO 1A COM GARAGENS FICTÍCIAS)**

VEÍCULO/GARAGEM	1	2	3	4	5
1	8	9	9	0	0
2	7	8	7	1	1

**TABELA 5.8 – PARÂMETRO XIX(L,K)****(EXEMPLOS 1 e 1A)**

TAREFA\ Tipo de veículo	1	2	3
1	1	1	1
2	1	1	1
3	1	1	1
4	1	1	1
5	1	1	1
6	1	1	1
7	1	1	1
8	1	1	1
9	1	1	1
10	1	1	1
11	1	1	1
12	1	1	1
13	1	1	1
14	1	1	1
15	1	1	1
16	1	1	1
17	1	1	1
18	1	1	1
19	1	1	1
20	1	1	1
21	1	1	1
22	1	1	1
23	1	1	1
24	1	1	1
25	1	1	1
26	1	1	1
27	1	1	1
28	1	1	1
29	1	1	1
30	1	1	1
31	1	1	1
32	1	1	1
33	1	1	1
34	1	1	1
35	1	1	1
36	1	1	1
37	1	1	1
38	1	1	1
39	1	1	1
40	1	1	1
41	1	1	1
42	1	1	1
43	1	1	1
44	1	1	1
45	1	1	1
46	1	1	1
47	1	1	1
48	1	1	1
49	1	1	1
50	1	1	1



## APÊNDICE B

### ARQUIVO SAÍDA DO GAMS (REDUZIDO) PARA O EXEMPLO 1

GAMS 2.25.085 386/486 DOS 11/24/98 19:10:50 PAGE 1  
roteiro

```
2
3
4 SETS
5
6 P / 1*837/
7 G / 1*3/
8 K / 1*2/
9 J / 1*50/;
10
11 OPTION MIP = OSL;
12
13
14 PARAMETER C(P,G,K);
INCLUDE C:\EDUARDO\TP\CUSTO.PAS
1616 PARAMETER NK(G,K);
INCLUDE C:\EDUARDO\TP\NK.PAS

1628 PARAMETER R(P,G,K,J);
INCLUDE C:\EDUARDO\TP\ROT.PAS
5446
5447 VARIABLES
5448 X(P,G,K)
5449 Z;
5450
5451
5452 BINARY VARIABLE X;
5453
5454 EQUATIONS
5455 COST
5456 CLIENTE(J)
5457 TIPO(G,K);
5458

5461 COST .. Z =E= SUM((P,G,K),X(P,G,K)*C(P,G,K));
5462 CLIENTE(J) .. SUM( (P,G,K), R(P,G,K,J)*X(P,G,K) )=E=1;
5463 TIPO(G,K) .. SUM( P , X(P,G,K))=L=NK(G,K);
```

```

5464 MODEL TRANSPORT/ALL/;
5467
5468 solve TRANSPORT using MIP Minimizing Z;
5469
5470
5471 file res /solucao.dat/;
5472 put res;
5473 loop(p,
5474     loop(g,
5475         loop(k,
5476             loop(j,
5477                 if(x.l(p,g,k)=1 and R(p,g,k,j)=1,
5478                     put "R(",ord(p):5:0,",",ord(g):2,",",ord(k):2,",",
5479                         ord(j):2,")=" x.l(p,g,k):1/;
5480             );
5481         );
5482     );
5483 );

```

#### SETS

G  
J  
K  
P

#### PARAMETERS

C  
NK  
R

#### VARIABLES

X  
Z

#### EQUATIONS

CLIENTE  
COST  
TIPO  
MODELS

TRANSPORT

SEQ	GLOBAL	TYPE	PARENT	LOCAL	FILENAME
1	1	INPUT	0	0	C:\EDUARDO\GAMS\ROTEIRO1.GMS
2	15	INCLUDE	1	15	.C:\EDUARDO\TP\CUSTO.PAS
3	1617	INCLUDE	1	19	.C:\EDUARDO\TP\NK.PAS
4	1629	INCLUDE	1	25	.C:\EDUARDO\TP\ROT.PAS

COMPILATION TIME = 0.710 SECONDS VERID MW2-25-085

MODEL STATISTICS

BLOCKS OF EQUATIONS	3	SINGLE EQUATIONS	57
BLOCKS OF VARIABLES	2	SINGLE VARIABLES	5023
NON ZERO ELEMENTS	10436	DISCRETE VARIABLES	5022

GENERATION TIME = 1.590 SECONDS

EXECUTION TIME = 5.550 SECONDS VERID MW2-25-085

SOLVE SUMMARY

MODEL	TRANSPORT	OBJECTIVE	Z
TYPE	MIP	DIRECTION	MINIMIZE
SOLVER	OSL	FROM LINE	5468

\*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
\*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
\*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 224703.0000

RESOURCE USAGE, LIMIT	1.156	1000.000
ITERATION COUNT, LIMIT	402	1000

Work space allocated -- 3.24 Mb

---- EQU CLIENTE

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

1	1.000	1.000	1.000	1212.000
2	1.000	1.000	1.000	6023.000
3	1.000	1.000	1.000	6430.000
4	1.000	1.000	1.000	6972.500
5	1.000	1.000	1.000	6329.500
6	1.000	1.000	1.000	6812.000
7	1.000	1.000	1.000	1694.000
8	1.000	1.000	1.000	5011.000
9	1.000	1.000	1.000	4625.500
10	1.000	1.000	1.000	2833.000
11	1.000	1.000	1.000	6203.000
12	1.000	1.000	1.000	5557.000
13	1.000	1.000	1.000	3197.000
14	1.000	1.000	1.000	549.500
15	1.000	1.000	1.000	7039.000
16	1.000	1.000	1.000	6387.500
17	1.000	1.000	1.000	480.000
18	1.000	1.000	1.000	2702.500
19	1.000	1.000	1.000	5555.000
20	1.000	1.000	1.000	3920.500
21	1.000	1.000	1.000	6972.500
22	1.000	1.000	1.000	7446.000
23	1.000	1.000	1.000	4580.000
24	1.000	1.000	1.000	6645.500
25	1.000	1.000	1.000	5506.500
26	1.000	1.000	1.000	4532.000
27	1.000	1.000	1.000	9984.000
28	1.000	1.000	1.000	7767.000
29	1.000	1.000	1.000	4958.500
30	1.000	1.000	1.000	838.000
31	1.000	1.000	1.000	1665.500
32	1.000	1.000	1.000	5602.000
33	1.000	1.000	1.000	3331.500
34	1.000	1.000	1.000	1891.500
35	1.000	1.000	1.000	151.000
36	1.000	1.000	1.000	7023.000
37	1.000	1.000	1.000	6013.000
38	1.000	1.000	1.000	342.000
39	1.000	1.000	1.000	2562.500
40	1.000	1.000	1.000	3287.500
41	1.000	1.000	1.000	3442.000
42	1.000	1.000	1.000	9746.000
43	1.000	1.000	1.000	5653.000

44	1.000	1.000	1.000	7595.500
45	1.000	1.000	1.000	6518.000
46	1.000	1.000	1.000	2965.500
47	1.000	1.000	1.000	7609.500
48	1.000	1.000	1.000	6724.000
49	1.000	1.000	1.000	7823.000
50	1.000	1.000	1.000	2831.500

---- EQU TIPO

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1.1	-INF	8.000	8.000	-1802.000
1.2	-INF	7.000	7.000	-40.500
2.1	-INF	4.000	9.000	.
2.2	-INF	.	9.000	.
3.1	-INF	3.000	9.000	.
3.2	-INF	1.000	8.000	.

---- VAR X

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
11 .1.1	.	1.000	1.000	-19.000
27 .3.1	.	1.000	1.000	EPS
51 .2.1	.	1.000	1.000	-387.000
95 .1.2	.	1.000	1.000	EPS
149.1.2	.	1.000	1.000	EPS
152.2.1	.	1.000	1.000	EPS
174.3.1	.	1.000	1.000	-1153.000
209.3.1	.	1.000	1.000	EPS
277.1.1	.	1.000	1.000	EPS
298.1.1	.	1.000	1.000	EPS
329.3.2	.	1.000	1.000	-579.500
335.1.1	.	1.000	1.000	EPS
352.2.1	.	1.000	1.000	EPS
371.1.1	.	1.000	1.000	EPS
384.1.1	.	1.000	1.000	EPS
386.1.1	.	1.000	1.000	EPS
399.1.2	.	1.000	1.000	EPS
411.1.1	.	1.000	1.000	EPS
512.1.2	.	1.000	1.000	EPS
557.1.2	.	1.000	1.000	EPS
576.2.1	.	1.000	1.000	EPS
702.1.2	.	1.000	1.000	EPS

834.1.2 . 1.000 1.000 EPS

\*\*\*\* REPORT SUMMARY : 0 NONOPT  
0 INFEASIBLE  
0 UNBOUNDED

\*\*\*\* REPORT FILE SUMMARY  
RES C:\EDUARDO\GAMS\SOLUCAO.DAT

EXECUTION TIME = 1.590 SECONDS VERID MW2-25-085

## APÊNDICE C

### ARQUIVO DE SAÍDA DO GAMS (REDUZIDO) PARA O EXEMPLO 1A

GAMS 2.25.085 386/486 DOS 11/24/98 19:10:50 PAGE 1  
roteiro

```
2
3
4 SETS
5
6 P / 1*855/
7 G / 1*5/
8 K / 1*2/
9 J / 1*50/;
10
11 OPTION MIP = OSL;
12
13
14 PARAMETER C(P,G,K);
INCLUDE C:\EDUARDO\TP\CUSTO.PAS
1616 PARAMETER NK(G,K);
INCLUDE C:\EDUARDO\TP\NK.PAS

1628 PARAMETER R(P,G,K,J);
INCLUDE C:\EDUARDO\TP\ROT.PAS
5446
5447 VARIABLES
5448 X(P,G,K)
5449 Z;
5450
5451
5452 BINARY VARIABLE X;
5453
5454 EQUATIONS
5455 COST
5456 CLIENTE(J)
5457 TIPO(G,K);
5458

5461 COST .. Z =E= SUM((P,G,K),X(P,G,K)*C(P,G,K));
5462 CLIENTE(J) .. SUM( (P,G,K), R(P,G,K,J)*X(P,G,K) )=E=1;
```

```

5463 TIPO(G,K) .. SUM( P , X(P,G,K))=L=NK(G,K);
5464
5465
5466 MODEL TRANSPORT/ALL/;
5467
5468 solve TRANSPORT using MIP Minimizing Z;
5469
5470
5471 file res /solucao.dat/;
5472 put res;
5473 loop(p,
5474     loop(g,
5475         loop(k,
5476             loop(j,
5477                 if(x.l(p,g,k)=1 and R(p,g,k,j)=1,
5478                     put "R(",ord(p):5:0," ",ord(g):2," ",ord(k):2," ",
5479                         ord(j):2,")=" x.l(p,g,k):1/;
5480             );
5481         );
5482     );
5483 );

```

#### SETS

G  
J  
K  
P

#### PARAMETERS

C  
NK  
R

#### VARIABLES

X  
Z

#### EQUATIONS

CLIENTE



COST  
TIPO  
MODELS

TRANSPORT

SEQ	GLOBAL	TYPE	PARENT	LOCAL	FILENAME
1	1	INPUT	0	0	C:\EDUARDO\GAMS\ROTEIRO1.GMS
2	15	INCLUDE	1	15	.C:\EDUARDO\TP\CUSTO.PAS
3	2010	INCLUDE	1	19	.C:\EDUARDO\TP\NK.PAS
4	2022	INCLUDE	1	25	.C:\EDUARDO\TP\ROT.PAS

COMPILATION TIME = 0.600 SECONDS VERID

Model Statistics SOLVE TRANSPORT USING MIP FROM LINE 6718

MODEL STATISTICS

BLOCKS OF EQUATIONS	3	SINGLE EQUATIONS	61
BLOCKS OF VARIABLES	2	SINGLE VARIABLES	8551
NON ZERO ELEMENTS	15214	DISCRETE VARIABLES	8550

GENERATION TIME = 2.360 SECONDS

EXECUTION TIME = 7.250 SECONDS VERID

S O L V E S U M M A R Y

MODEL TRANSPORT	OBJECTIVE Z
TYPE MIP	DIRECTION MINIMIZE
SOLVER OSL	FROM LINE 6718

\*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
\*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
\*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 224703.0000

RESOURCE USAGE, LIMIT	6.148	1000.000
ITERATION COUNT, LIMIT	389	1000

Work space allocated -- 4.90 Mb

---- EQU CLIENTE

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

1	1.000	1.000	1.000	1252.500
2	1.000	1.000	1.000	6104.000
3	1.000	1.000	1.000	6717.500
4	1.000	1.000	1.000	7053.500
5	1.000	1.000	1.000	5958.000
6	1.000	1.000	1.000	7099.500
7	1.000	1.000	1.000	1718.500
8	1.000	1.000	1.000	3503.000
9	1.000	1.000	1.000	4625.500
10	1.000	1.000	1.000	2478.000
11	1.000	1.000	1.000	6143.500
12	1.000	1.000	1.000	5129.500
13	1.000	1.000	1.000	3116.000
14	1.000	1.000	1.000	509.000
15	1.000	1.000	1.000	6643.500
16	1.000	1.000	1.000	6482.500
17	1.000	1.000	1.000	657.000
18	1.000	1.000	1.000	2783.500
19	1.000	1.000	1.000	5514.500
20	1.000	1.000	1.000	4042.000
21	1.000	1.000	1.000	7067.500
22	1.000	1.000	1.000	7741.500
23	1.000	1.000	1.000	4578.000
24	1.000	1.000	1.000	6563.500
25	1.000	1.000	1.000	5358.500
26	1.000	1.000	1.000	4516.000
27	1.000	1.000	1.000	9984.000
28	1.000	1.000	1.000	7439.000
29	1.000	1.000	1.000	4837.000
30	1.000	1.000	1.000	1345.000
31	1.000	1.000	1.000	1625.000
32	1.000	1.000	1.000	6073.500
33	1.000	1.000	1.000	3210.000
34	1.000	1.000	1.000	1999.000
35	1.000	1.000	1.000	151.000
36	1.000	1.000	1.000	6984.500
37	1.000	1.000	1.000	7521.000
38	1.000	1.000	1.000	342.000
39	1.000	1.000	1.000	2427.000
40	1.000	1.000	1.000	3152.000
41	1.000	1.000	1.000	3797.000
42	1.000	1.000	1.000	9721.500
43	1.000	1.000	1.000	6008.000
44	1.000	1.000	1.000	7460.000

45	1.000	1.000	1.000	6653.500
46	1.000	1.000	1.000	2965.500
47	1.000	1.000	1.000	7474.000
48	1.000	1.000	1.000	6388.000
49	1.000	1.000	1.000	7495.000
50	1.000	1.000	1.000	2696.000

---- EQU TIPO

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1.1	-INF	8.000	8.000	-1761.500
1.2	-INF	7.000	7.000	EPS
2.1	-INF	4.000	9.000	.
2.2	-INF	.	9.000	.
3.1	-INF	3.000	9.000	.
3.2	-INF	1.000	8.000	.
4.1	-INF	.	.	.
4.2	-INF	.	.	.
5.1	-INF	.	.	.
5.2	-INF	.	.	.

---- VAR X

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
11 .1.1	.	1.000	1.000	EPS
27 .3.1	.	1.000	1.000	EPS
51 .2.1	.	1.000	1.000	EPS
95 .1.2	.	1.000	1.000	EPS
151.1.2	.	1.000	1.000	EPS
154.2.1	.	1.000	1.000	-496.000
176.3.1	.	1.000	1.000	EPS
211.3.1	.	1.000	1.000	EPS
285.1.1	.	1.000	1.000	-1153.000
304.1.1	.	1.000	1.000	EPS
337.3.2	.	1.000	1.000	-660.500
343.1.1	.	1.000	1.000	EPS
360.2.1	.	1.000	1.000	EPS
382.1.1	.	1.000	1.000	EPS
392.1.1	.	1.000	1.000	EPS
394.1.1	.	1.000	1.000	EPS
407.1.2	.	1.000	1.000	EPS
419.1.1	.	1.000	1.000	EPS
523.1.2	.	1.000	1.000	EPS

568.1.2	.	1.000	1.000	EPS
587.2.1	.	1.000	1.000	EPS
717.1.2	.	1.000	1.000	EPS

852.1.2	.	1.000	1.000	EPS
---------	---	-------	-------	-----

\*\*\*\* REPORT SUMMARY : 0 NONOPT  
0 INFEASIBLE  
0 UNBOUNDED

\*\*\*\* REPORT FILE SUMMARY

RES C:\EDUARDO\GAMS\SOLUCAO.DAT

EXECUTION TIME = 3.070 SECONDS VERID

## APÊNDICE D

### PARÂMETROS USADOS NA IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

#### PARÂMETROS DEFINIDOS PELOS PEDIDOS

- **NTAR:** Número de tarefas. Parâmetro definido através dos pedidos dos clientes dentro de um horizonte de programação;
- **HINCAR(I):** Horário limite de início de carregamento da tarefa I. Este parâmetro é determinado por informações do pedido que, por sua vez, foram determinadas pelo cliente. No nosso algoritmo ela terá função de restrição de limite inferior do horário de início, ou seja, o carregamento não poderá começar antes deste horário pois a carga só estará disponível após ele, e foi definido como um vetor de dimensão NTAR.
- **HTECAR(I):** Horário limite de término de carregamento da tarefa I. Como o parâmetro HINCAR(I) este parâmetro que foi definido como um vetor com NTAR de dimensão e será determinada através de informações do cliente para servir como restrição de limite superior de término de carregamento, ou seja, o carregamento não poderá ultrapassar este horário.
- **HINDES(I) :** Horário limite de início de descarregamento da tarefa I. Este parâmetro foi definido como o HINCAR(I), só que agora este representa o limite inferior do início de descarregamento.
- **HTEDES(I):** Horário limite de término de descarregamento da tarefa I. Definida como o parâmetro HTECAR(I), só que agora representando o limite superior de término de descarregamento.
- **DEMCAR(I):** Demanda de Carga da tarefa I. Este parâmetro também é definido como um vetor de dimensão NTAR pode ser expresso em peso ou volume dependendo do que for mais crítico.
- **HFO(d):** Horários de funcionamento dos pontos de origem da tarefa I. Parâmetro determinado com informações do pedido e definido como vetor com dimensão NDES e com função de restrição de janela de tempo dos pontos de origem da tarefa I.
- **HFD(d):** Horários de funcionamento dos pontos de destino da tarefa I. Parâmetro definido como HFO(d) .

**\*d :** É uma variável que enumera a interrupção da jornada de trabalho dentro do horizonte de planejamento e seu limite é o NDES que veremos mais adiante.

## PARÂMETROS DEFINIDOS PELO PRÓPRIO AGENTE TRANSPORTADOR

- **NGAR:** Número de garagens. Parâmetro definido pelo próprio agente transportador, trata-se de sua própria estrutura de operação.
- **NGAF:** Número de garagens fictícias. Parâmetro definido a partir do número de veículos que não se encontram em suas garagens base, no início da programação de um horizonte de planejamento, por não terem voltado pela demora da viagem ou por ser vantajosa a localidade onde se encontra.
- **JT:** Jornada de trabalho da tripulação dos veículos.
- **NK :** Número de tipos de veículos.
- **NK(K,G) :** Número de veículos do tipo K alocados na garagem G. Este parâmetro foi definido como um vetor e indica quantos veículos do tipo k é disponível na garagem G e é determinado pelo agente transportador.
- **DISTI(J):** Distância entre os pontos de origem e destino de uma tarefa I. Este é um parâmetro que foi definido como vetor de dimensão NTAR e pode ser determinado com informações de locais de origens e destinos.
- **NDES:** Número de períodos fora da jornada de trabalho dentro do horizonte de planejamento. Este é um parâmetro definido pelo agente transportador com informações de jornada de trabalho da tripulação e o período considerado para horizonte de planejamento.
- **HDES(d):** Horários de término de jornada de trabalho. É um parâmetro definido como vetor de dimensão NDES, e determinado com os horários de trabalho da tripulação do veículo, tem função de restrição de janela de tempo.
- **PDES(d):** Período de parada do veículo na tarefa I. Parâmetro definido como vetor com dimensão NDES, este parâmetro representa o período fora da jornada de trabalho, por exemplo, se a jornada de trabalho for das 8:00 às 18:00 Horas, em um dia útil, o PDI será de 14 horas, que é o intervalo das 18:00 às 8:00 Horas do dia seguinte. (Obs.: Nos fins de semanas e feriados o PDES(d) será maior, pois neste caso ele compreenderá o intervalo das 18:00 Horas do último dia útil da semana até às 8:00 Horas do próximo dia útil ).
- **PDO(d) :** Período de parada da tripulação por estar fora do horário de

funcionamento do ponto de origem.(O mesmo que PDES(d), e só é usado quando o horário de funcionamento da origem tiver início e/ou término maior ou menor, respectivamente, que a jornada de trabalho da tripulação do veículo.

- **PDD(d):** O mesmo que PDO(d) só que agora para o ponto de destino.
- **CAPK(K):** Capacidade de carga do veículo tipo K. Parâmetro definido como um vetor de dimensão NK com a função de restrição de capacidade, pode ser expresso em peso ou em volume.
- **TEMCAR(I):** Tempo de carregamento da tarefa I no ponto de origem. É um parâmetro definido como vetor de dimensão NTAR .
- **TEMDES(I):** Tempo de descarregamento da tarefa I no ponto de destino. Este é um parâmetro definido como o parâmetro TEMCAR.
- **TEMTRI(I,K):** Tempo de trajeto do ponto de origem ao ponto de destino da tarefa I. Esta é uma variável definida como um vetor de dimensão NTAR, determinada a partir dos parâmetros DISTI(I) e VM(K).
- **DISTIJ(I,J):** Distância entre o ponto de destino de uma tarefa I e o ponto de origem de uma tarefa J. Este é um parâmetro definido como uma matriz de dimensões NTAR x NTAR .
- **TEMTRIJ(I,J,K):** Tempo de trajeto entre o ponto de destino da tarefa I e o ponto de origem da tarefa J. Esta é uma variável definida como uma matriz de dimensões NTAR x NTAR, determinada a partir dos parâmetros DISTIJ e VM(K).
- **DISTGI(I) :** Distância da garagem G ao ponto de origem da tarefa I. Este é um parâmetro definido como uma matriz de dimensões NGAR x NTAR .
- **DISTIG(I,G):** Distância do ponto de destino da tarefa I à garagem G. Esta é uma variável definida como a anterior .
- **CD(K):** Custo médio por unidade de distância. Parâmetro definido como vetor de dimensão NK determinado pelo agente transportador. Pode ser estimado com base no capítulo 4.
- **CT (K):** Custo médio por unidade de tempo fora da jornada de trabalho da tripulação. Parâmetro definido como vetor de dimensão NK determinado pelo agente transportador. Também pode ser estimado com base no capítulo 4.

- **VM(K):** Velocidade média do veículo de tipo k. Este é um parâmetro definido como vetor de dimensão NK e determinado pelo agente transportador.
- **XI(I), XO(I), XD(I):** Parâmetros definidos pelo próprio agente transportador como vetor de dimensão NTAR. Eles irão definir se as janelas de tempo utilizadas como restrição no carregamento e/ou descarregamento da tarefa I serão os horários de funcionamento dos pontos de origem e destino ou os horários de trabalho da tripulação do veículo.
- **XC(I):** Parâmetro que defini se a demanda é considerada em unidade de peso ou volume, e foi definida como vetor de dimensão NTAR .
- **XIK(I):** Parâmetro que define se o veículo atende às restrições da rota, operação e tipo de carga como visto no capítulo 2.



## APÊNDICE E

```
{*****}
{*      ALGORITMO DE GERACAO DE ROTEIROS VIAVEIS      *}
{*      BY: EDUARDO CORDEIRO DE SOUZA                *}
{*****}
```

PROGRAM GERA\_ROTUIRO;{última revisão 24/01/1999}

{Declaração das constantes e variáveis do programa principal}

USES DOS, CRT;

CONST

NGAR=[ ]; NTAR=[ ]; NK=[ ]; NDES=[ ]; NGF=[ ];

TYPE

TVETOR=ARRAY [1..NTAR] OF BYTE;  
TGAR =ARRAY [1..NTAR, 1..(NGAR+NGF)] OF WORD;  
TCLI =ARRAY [1..NTAR, 1..NTAR] OF WORD;  
THDES =ARRAY [1..NDES] OF REAL;  
TK =ARRAY [1..NK] OF REAL;  
TVET =ARRAY [1..NTAR] OF REAL;  
TIK =ARRAY [1..NTAR, 1..NK] OF BYTE;  
CLI =^TCLI;

VAR

A, ROT, M, XI, XC, XO, XD : TVETOR;  
J, G, K, RES, INDICE, R1, I, D, Z1, Z2, N1, B, P, Y, CONT : INTEGER;  
DIST, S, L, F, TESP, TEMPO, CUSTO, T\_VIAJ, T\_VIAIJ, PV, N\_TAR,  
SOMA, T\_CAR, T\_DES, N, Z4, T1, T2, NL, NROT : REAL;  
DISTJ, DEMCAR, HINCAR, HTECAR, HINDES, HTEDES, TEMCAR,  
TEMDES : TVET;  
DISTIJ : CLI;  
CAPKP, CAPKV, CD, CT, VM : TK;  
HDES, PDES : THDES;  
DISTGJ, DISTGJ1 : TGAR;  
XIK : TIK;  
ADISTGJ, ADISTIJ, AHDES, ASAIUS, ASAIMIS, ASAIMIS1, APDES,  
ASAIMIS2, ASAIROT, ADISTGJ1, AARQ, AARQ2, AXIK : TEXT;

{Funções que formatam a saída de tempo de processamento na tela}

```
FUNCTION LeadingZero(w : Word) : String;
var
  s : String;
begin
  Str(w:0,s);
  if Length(s) = 1 then
    s := '0' + s;
  LeadingZero := s;
end; {LeadingZero}
```

```
FUNCTION GetTempo:Real;
Var h,m,s,cent:word;
    v:Real;

Begin
  GetTime(h,m,s,cent);
  v:=h;
  GetTempo:= v*3600+m*60+s+cent/100;
End;
```

```
FUNCTION DeltaT(T1,T2:Real):String;
Var h,m,s,cent:integer;
Begin
  T2:=T2-T1;
  IF T2<0 THEN T2:=T2+24*3600;
  h := Trunc(T2/3600);
  m := Trunc( (T2-h*3600)/60 );
  s := Trunc(T2 - h*3600 - m*60);
  cent:=Trunc((T2 - h*3600 - m*60 - s)*100);
  DeltaT:= LeadingZero(h) + ':' +
           LeadingZero(m) + ':' +
           LeadingZero(s) + ':' +
           LeadingZero(cent);
End;
```

{Procedimento que verifica as restrições de janelas de tempo e calcula o custo associado ao roteiro}

```
PROCEDURE TEST_HORARIO (DISTJ, DEMCAR, HINCAR, HTECAR,  
                        HINDES, HTEDES, TEMCAR, TEMDES: TVET;  
                        A, ROT, XI, XO, XD           : TVETOR;  
                        VM                          : TK;  
                        DISTIJ                      : CLI;  
                        HDES                        : THDES;  
                        DISTGJ                     : TGAR;  
                        G, NTAR, NGAR              : INTEGER;  
                        VAR DIST, TESP            : REAL;  
                        VAR INDICE                : INTEGER;  
                        PDES                       : THDES);
```

```
CONST  
    JT= [ ];
```

```
VAR  
    J, R, I, D, Z, B, Y, NX           : INTEGER;  
    TEMPO, TEMPO1                     : REAL;  
    HFO, PDO, HFD, PDD                : THDES;  
    AHFO, APDO, AHFD, APDD            : TEXT;
```

```
BEGIN  
    ASSIGN (AHFO, 'A:\HFO.PAS');  
  
    ASSIGN (APDO, 'A:\PDO.PAS');  
  
    ASSIGN (AHFD, 'A:\HFD.PAS');  
  
    ASSIGN (APDD, 'A:\PDD.PAS');  
  
    TEMPO:=0; R:=1; D:=1; TESP:=0;  
    WHILE ROT[R]=0 DO  
    BEGIN  
        R:=R+1;  
    END;  
    Z:=R;  
    F:=JT;  
    WHILE ((DISTGJ[R,G]/VM[K]) - F) > 0 DO  
    BEGIN  
        TESP:=TESP+PDES[D];  
        F:=F+JT;  
        TEMPO:=TEMPO+PDES[D];  
        D:=D+1;  
    END;  
    IF (HINCAR[R] - ((DISTGJ[R,G]/VM[K]) + TEMPO)) < 0 THEN TEMPO1:=0  
    ELSE TEMPO1:=HINCAR[R] - ((DISTGJ[R,G]/VM[K]) + TEMPO);  
    D:=1;  
    WHILE TEMPO1 >= HDES[D] DO  
    BEGIN
```

```

        D:=D+1;
END;
IF D>1 THEN IF (TEMPO1-HDES [D-1]) < PDES [D-1]
                THEN TEMPO1:=HDES [D-1]+PDES [D-1];
TEMPO:=TEMPO1+ ( (DISTGJ [R, G] /VM [K] ) +TESP) ;
TEMPO:=TEMPO+TEMCAR [R] ;
IF XI [R]=0 THEN
BEGIN
    WHILE TEMPO>=HDES [D] DO
    BEGIN
        TEMPO:=TEMPO+PDES [D] ;
        TESP:=TESP+PDES [D] ;
        D:=D+1;
    END;
    IF TEMPO>HTECAR [R] THEN INDICE:=0;
    TEMPO:=TEMPO+DISTJ [R] /VM [K] ;
    WHILE TEMPO>=HDES [D] DO
    BEGIN
        TEMPO:=TEMPO+PDES [D] ;
        TESP:=TESP+PDES [D] ;
        D:=D+1
    END;
    IF TEMPO<HINDES [R] THEN
    BEGIN
        WHILE HINDES [R] >=HDES [D] DO
        BEGIN
            TESP:=TESP+PDES [D] ;
            D:=D+1;
        END;
        TEMPO:=HINDES [R] ;
    END;
    TEMPO:=TEMPO+TEMDES [R] ;
    WHILE TEMPO>=HDES [D] DO
    BEGIN
        TEMPO:=TEMPO+PDES [D] ;
        TESP:=TESP+PDES [D] ;
        D:=D+1;
    END;
    IF TEMPO>HTEDES [R] THEN INDICE:=0;
END;
IF XI [R]=1 THEN
BEGIN
    IF XO [R]=1 THEN
    BEGIN
        RESET (AHFO) ;
        RESET (APDO) ;
        FOR NX:=1 TO R DO
        BEGIN
            FOR J:=1 TO (NDES-1) DO
            BEGIN
                READ (AHFO, HFO [J] ) ;
                READ (APDO, PDO [J] ) ;
            END;
            READLN (AHFO, HFO [NDES] ) ;
            READLN (APDO, PDO [NDES] ) ;
        END;
        CLOSE (AHFO) ;
        CLOSE (APDO) ;
        WHILE TEMPO>=HFO [D] DO
        BEGIN

```

```

        TEMPO:=TEMPO+PDO [D] ;
        TESP:=TESP+PDES [D] ;
        D:=D+1;
    END;
END;
IF XO [R]=0 THEN
BEGIN
    WHILE TEMPO>=HDES [D] DO
    BEGIN
        TEMPO:=TEMPO+PDES [D] ;
        TESP:=TESP+PDES [D] ;
        D:=D+1;
    END;
END;
IF TEMPO>HTECAR [R] THEN INDICE:=0;
TEMPO:=TEMPO+DISTJ [R] /VM [K] ;
WHILE TEMPO>=HDES [D] DO
BEGIN
    TEMPO:=TEMPO+PDES [D] ;
    TESP:=TESP+PDES [D] ;
    D:=D+1
END;
IF TEMPO<HINDES [R] THEN
BEGIN
    WHILE HINDES [R] >=HDES [D] DO
    BEGIN
        TESP:=TESP+PDES [D] ;
        D:=D+1;
    END;
    TEMPO:=HINDES [R] ;
END;
TEMPO:=TEMPO+TEMDES [R] ;
IF XD [R]=1 THEN
BEGIN
    RESET (AHFD) ;
    RESET (APDD) ;
    FOR NX:=1 TO R DO
    BEGIN
        FOR J:=1 TO (NDES-1) DO
        BEGIN
            READ (AHFD, HFD [J]) ;
            READ (APDD, PDD [J]) ;
        END;
        READLN (AHFD, HFD [NDES]) ;
        READLN (APDD, PDD [NDES]) ;
    END;
    CLOSE (AHFD) ;
    CLOSE (APDD) ;
    WHILE TEMPO>=HFD [D] DO
    BEGIN
        TEMPO:=TEMPO+PDD [D] ;
        TESP:=TESP+PDES [D] ;
        D:=D+1;
    END;
END;
IF XD [R]=0 THEN
BEGIN
    WHILE TEMPO>=HDES [D] DO
    BEGIN
        TEMPO:=TEMPO+PDES [D] ;

```

```

        TESP:=TESP+PDES [D] ;
        D:=D+1;
    END;
    END;
    IF TEMPO>HTEDES [R] THEN  INDICE:=0;
END;

IF INDICE=1 THEN
DIST:= DISTGJ [R,G] +DISTJ [R] ;
IF G>NGAR THEN
BEGIN
    B:=1;
    IF TEMPO1>HDES [B] THEN
    BEGIN
        TESP:=TESP+PDES [B] ;
        B:=B+1;
    END;
END;
B:=R;
J:=(R+1);
WHILE (INDICE=1) AND (J<=NTAR) DO
BEGIN
    IF ROT [J]=1 THEN
    BEGIN
        IF XI [J]=0 THEN
        BEGIN
            TEMPO:=TEMPO+DISTIJ^ [B,J] /VM [K] ;
            WHILE TEMPO>=HDES [D] DO
            BEGIN
                TEMPO:=TEMPO+PDES [D] ;
                TESP:=TESP+PDES [D] ;
                D:=D+1
            END;
            IF TEMPO<HINCAR [J] THEN
            BEGIN
                WHILE HINCAR [J] >=HDES [D] DO
                BEGIN
                    TESP:=TESP+PDES [D] ;
                    D:=D+1;
                END;
                TEMPO:=HINCAR [J] ;
            END;
            TEMPO:=TEMPO+TEMCAR [J] ;
            WHILE TEMPO>=HDES [D] DO
            BEGIN
                TEMPO:=TEMPO+PDES [D] ;
                TESP:=TESP+PDES [D] ;
                D:=D+1
            END;
            IF TEMPO>HTECAR [J] THEN INDICE:=0;
            TEMPO:=TEMPO+DISTJ [J] /VM [K] ;
            WHILE TEMPO>=HDES [D] DO
            BEGIN
                TEMPO:=TEMPO+PDES [D] ;
                TESP:=TESP+PDES [D] ;
                D:=D+1
            END;
            IF TEMPO<HINDES [J] THEN
            BEGIN
                WHILE HINDES [J] >=HDES [D] DO

```

```

        BEGIN
            TESP:=TESP+PDES [D] ;
            D:=D+1;
        END;
        TEMPO:=HINDES [J] ;
    END;
    TEMPO:=TEMPO+TEMDES [J] ;
    WHILE TEMPO>=HDES [D] DO
    BEGIN
        TEMPO:=TEMPO+PDES [D] ;
        TESP:=TESP+PDES [D] ;
        D:=D+1
    END;
    IF TEMPO>HTEDES [J] THEN INDICE:=0;
END;
IF XI [J]=1 THEN
BEGIN
    TEMPO:=TEMPO+DISTIJ^ [B, J] /VM [K] ;
    WHILE TEMPO>=HDES [D] DO
    BEGIN
        TEMPO:=TEMPO+PDES [D] ;
        TESP:=TESP+PDES [D] ;
        D:=D+1
    END;
    IF TEMPO<HINCAR [J] THEN
    BEGIN
        WHILE HINCAR [J] >=HDES [D] DO
        BEGIN
            D:=D+1;
            TESP:=TESP+PDES [D] ;
        END;
        TEMPO:=HINCAR [J] ;
    END;
    TEMPO:=TEMPO+TEMCAR [J] ;
    IF XO [J]=1 THEN
    BEGIN
        RESET (AHFO) ;
        RESET (APDO) ;
        FOR NX:=1 TO J DO
        BEGIN
            FOR Y:=1 TO (NDES-1) DO
            BEGIN
                READ (AHFO, HFO [Y]) ;
                READ (APDO, PDO [Y]) ;
            END;
            READLN (AHFO, HFO [NDES]) ;
            READLN (APDO, PDO [NDES]) ;
        END;
        CLOSE (AHFO) ;
        CLOSE (APDO) ;
        WHILE TEMPO>=HFO [D] DO
        BEGIN
            TEMPO:=TEMPO+PDO [D] ;
            TESP:=TESP+PDES [D] ;
            D:=D+1
        END;
    END;
    IF XO [J]=0 THEN
    BEGIN
        WHILE TEMPO>=HDES [D] DO

```

```

        BEGIN
            TEMPO:=TEMPO+PDES [D] ;
            TESP:=TESP+PDES [D] ;
            D:=D+1;
        END;
    END;
    IF TEMPO>HTECAR [J] THEN INDICE:=0;
    TEMPO:=TEMPO+DISTJ [J] /VM [K] ;
    WHILE TEMPO>=HDES [D] DO
    BEGIN
        TEMPO:=TEMPO+PDES [D] ;
        TESP:=TESP+PDES [D] ;
        D:=D+1
    END;
    IF TEMPO<HINDES [J] THEN
    BEGIN
        WHILE HINDES [J] >=HDES [D] DO
        BEGIN
            TESP:=TESP+PDES [D] ;
            D:=D+1;
        END;
        TEMPO:=HINDES [J] ;
    END;
    TEMPO:=TEMPO+TEMDES [J] ;
    IF XD [J]=1 THEN
    BEGIN
        RESET (AHFD) ;
        RESET (APDD) ;
        FOR NX:=1 TO J DO
        BEGIN
            FOR Y:=1 TO (NDES-1) DO
            BEGIN
                READ (AHFD, HFD [Y]) ;
                READ (APDD, PDD [Y]) ;
            END;
            READLN (AHFD, HFD [NDES]) ;
            READLN (APDD, PDD [NDES]) ;
        END;
        CLOSE (AHFD) ;
        CLOSE (APDD) ;
        WHILE TEMPO>=HFD [D] DO
        BEGIN
            TEMPO:=TEMPO+PDD [D] ;
            TESP:=TESP+PDES [D] ;
            D:=D+1
        END;
    END;
    IF XD [J]=0 THEN
    BEGIN
        WHILE TEMPO>=HDES [D] DO
        BEGIN
            TEMPO:=TEMPO+PDES [D] ;
            TESP:=TESP+PDES [D] ;
            D:=D+1;
        END;
    END;
    IF TEMPO>HTEDES [J] THEN INDICE:=0;
END;
IF INDICE=1 THEN
DIST:=DIST+DISTIJ^ [B, J] +DISTJ [J] ;

```



```

        B:=J;
    END;
    J:=J+1;
END;
IF INDICE=1 THEN
BEGIN
    Y:=NTAR;
    WHILE ROT[Y]=0 DO
    BEGIN
        Y:=Y-1;
    END;
    DIST:=DIST+DISTGJ1 [Y, G] ;
    F:=JT;
    WHILE ((DISTGJ1 [Y, G] /VM [K]) -F) >0 DO
    BEGIN
        TESP:=TESP+PDES [D] ;
        TEMPO:=TEMPO+PDES [D] ;
        F:=F+JT;
        D:=D+1;
    END;
    TEMPO:=TEMPO + (DISTGJ1 [Y, G] /VM [K]) ;
    IF TEMPO>=HDES [D] THEN
    BEGIN
        TESP:=TESP+PDES [D] ;
        TEMPO:=TEMPO+PDES [D] ;
    END;
    IF INDICE=1 THEN
    BEGIN
        CUSTO:=((DIST*CD [K]) + (TESP*CT [K]));
    END;
END;
END;
END;

```

{Procedimento que verifica a restrição de capacidade do veículo}

```
PROCEDURE TEST_CAP( K           : INTEGER;  
                   VAR RES      : INTEGER;  
                   CAPKP, CAPKV : TK;  
                   DEMCAR       : TVET;  
                   ROT, XC      : TVETOR;  
                   XIK          : TIK;  
                   VAR DIST, TESP, CUSTO : REAL);
```

```
VAR  
  J, Y: INTEGER;
```

```
BEGIN
```

```
  FOR J:=1 TO NTAR DO
```

```
  BEGIN
```

```
    IF XC[J]=1 THEN IF CAPKP[K] < (DEMCAR[J]*ROT[J]) THEN RES:=0
```

```
    ELSE IF CAPKV[K] < (DEMCAR[J]*ROT[J]) THEN RES:=0;
```

```
    IF ROT[J]=1 THEN IF XIK[J,K]=0 THEN RES:=0;
```

```
  END;
```

```
END;
```

```
{@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@}
{@          PROGRAMA PRINCIPAL          @}
{@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@}
```

```
BEGIN CLRSCR;
```

```
NEW (DISTIJ);
```

```
GETTEMPO;
```

```
T1:=GETTEMPO;
```

```
{Leitura dos arquivos de dados de entrada}
```

```
ASSIGN (APDES, 'a:\PDES.PAS');
```

```
RESET (APDES);
```

```
FOR D:=1 TO NDES DO
```

```
  BEGIN
```

```
    READLN (APDES, PDES [D]);
```

```
  END;
```

```
CLOSE (APDES);
```

```
ASSIGN (AHDES, 'a:\HDES.PAS');
```

```
RESET (AHDES);
```

```
FOR J:=1 TO NDES DO
```

```
  BEGIN
```

```
    READLN (AHDES, HDES [J]);
```

```
  END;
```

```
CLOSE (AHDES);
```

```
ASSIGN (ADISTGJ, 'a:\DISTGJ.PAS');
```

```
RESET (ADISTGJ);
```

```
FOR G:=1 TO (NGAR+NGF) DO
```

```
  BEGIN
```

```
    FOR J:=1 TO (NTAR-1) DO
```

```
      BEGIN
```

```
        READ (ADISTGJ, DISTGJ [J, G]);
```

```
      END;
```

```
      READLN (ADISTGJ, DISTGJ [NTAR, G]);
```

```
    END;
```

```
CLOSE (ADISTGJ);
```

```
ASSIGN (ADISTGJ1, 'a:\DISTGJ1.PAS');
```

```
RESET (ADISTGJ1);
```

```
FOR G:=1 TO (NGAR+NGF) DO
```

```
  BEGIN
```

```
    FOR J:=1 TO (NTAR-1) DO
```

```
      BEGIN
```

```
        READ (ADISTGJ1, DISTGJ1 [J, G]);
```

```
      END;
```

```
      READLN (ADISTGJ1, DISTGJ1 [NTAR, G]);
```

```
    END;
```

```
CLOSE (ADISTGJ1);
```

```
ASSIGN (ADISTIJ, 'a:\DISTIJ.PAS');
```

```
RESET (ADISTIJ);
```

```
FOR I:=1 TO NTAR DO
```

```
  BEGIN
```

```
    FOR J:=1 TO (NTAR-1) DO
```

```

        BEGIN
            READ (ADISTIJ, DISTIJ^ [I, J] );
        END;
    READLN (ADISTIJ, DISTIJ^ [I, NTAR] );
    END;
CLOSE (ADISTIJ) ;

ASSIGN (AXIK, 'A:\XIK.PAS' );
RESET (AXIK) ;
FOR K:=1 TO NK DO
    BEGIN
        FOR J:=1 TO (NTAR-1) DO
            BEGIN
                READ (AXIK, XIK [J, K] );
            END;
        READLN (AXIK, XIK [NTAR, K] );
    END;
CLOSE (AXIK) ;

ASSIGN (AARQ, 'a:\ARQ.PAS' );
RESET (AARQ) ;
FOR J:=1 TO (NTAR-1) DO
    BEGIN
        READ (AARQ, DISTJ [J] );
    END;
    READLN (AARQ, DISTJ [NTAR] );

    FOR J:=1 TO (NTAR-1) DO
        BEGIN
            READ (AARQ, DEMCAR [J] );
        END;
        READLN (AARQ, DEMCAR [NTAR] );

        FOR J:=1 TO (NTAR-1) DO
            BEGIN
                READ (AARQ, HINCAR [J] );
            END;
            READLN (AARQ, HINCAR [NTAR] );

            FOR J:=1 TO (NTAR-1) DO
                BEGIN
                    READ (AARQ, HTECAR [J] );
                END;
                READLN (AARQ, HTECAR [NTAR] );

                FOR J:=1 TO (NTAR-1) DO
                    BEGIN
                        READ (AARQ, TEMCAR [J] );
                    END;
                    READLN (AARQ, TEMCAR [NTAR] );

                    FOR J:=1 TO (NTAR-1) DO
                        BEGIN
                            READ (AARQ, HINDES [J] );
                        END;
                        READLN (AARQ, HINDES [NTAR] );

                        FOR J:=1 TO (NTAR-1) DO
                            BEGIN
                                READ (AARQ, HTEDES [J] );
                            END;
                        END;
                    END;
                END;
            END;
        END;
    END;

```

```

END;
READLN (AARQ, HTEDES [NTAR] );

FOR J:=1 TO (NTAR-1) DO
BEGIN
    READ (AARQ, TEMDES [J] );
END;
READLN (AARQ, TEMDES [NTAR] );

FOR J:=1 TO (NTAR-1) DO
BEGIN
    READ (AARQ, XI [J] );
END;
READLN (AARQ, XI [NTAR] );

FOR J:=1 TO (NTAR-1) DO
BEGIN
    READ (AARQ, XO [J] );
END;
READLN (AARQ, XO [NTAR] );

FOR J:=1 TO (NTAR-1) DO
BEGIN
    READ (AARQ, XD [J] );
END;
READLN (AARQ, XD [NTAR] );

FOR J:=1 TO (NTAR-1) DO
BEGIN
    READ (AARQ, XC [J] );
END;
READLN (AARQ, XC [NTAR] );

CLOSE (AARQ) ;

ASSIGN (AARQ2, 'a:\ARQ2.PAS' );
RESET (AARQ2) ;
IF NK=1 THEN
BEGIN
    READLN (AARQ2, CAPKV [1] );
    READLN (AARQ2, CAPKP [1] );
    READLN (AARQ2, CD [1] );
    READLN (AARQ2, CT [1] );
    READLN (AARQ2, VM [1] );
END;
IF NK>1 THEN
BEGIN
    FOR J:=1 TO (NK-1) DO
    BEGIN
        READ (AARQ2, CAPKV [J] );
    END;
    READLN (AARQ2, CAPKV [NK] );

    FOR J:=1 TO (NK-1) DO
    BEGIN
        READ (AARQ2, CAPKP [J] );
    END;
    READLN (AARQ2, CAPKP [NK] );

    FOR J:=1 TO (NK-1) DO

```

```
BEGIN
    READ (AARQ2, CD [J] ) ;
END;
READLN (AARQ2, CD [NK] ) ;

FOR J:=1 TO (NK-1) DO
BEGIN
    READ (AARQ2, CT [J] ) ;
END;
READLN (AARQ2, CT [NK] ) ;

FOR J:=1 TO (NK-1) DO
BEGIN
    READ (AARQ2, VM [J] ) ;
END;
READLN (AARQ2, VM [NK] ) ;
END;

ASSIGN (ASAICUS, 'CUSTO.PAS' ) ;
REWRITE (ASAICUS) ;

ASSIGN (ASAIMIS1, 'c:\MISSAO1.PAS' ) ;
ASSIGN (ASAIMIS2, 'c:\MISSAO2.PAS' ) ;

ASSIGN (ASAIMIS, 'MISSAO.PAS' ) ;
REWRITE (ASAIMIS) ;

ASSIGN (ASAIROT, 'ROT.PAS' ) ;
REWRITE (ASAIROT) ;
```

{Cálculo do número limite de tarefas por roteiro}

```
T_VIAJ:=0; T_VIAIJ:=0;
FOR k:=1 TO (NK-1) DO
BEGIN
  IF VM[K]>VM[K+1] THEN S:=VM[K]
  ELSE S:=VM[K+1];
END;
FOR J:=1 TO (NTAR-1) DO
BEGIN
  IF HTEDES[J]>HTEDES[J+1] THEN S:=(HTEDES[J])
  ELSE S:=HTEDES[J+1];
  IF DISTJ[J]>DISTJ[J+1] THEN T_VIAJ:=(DISTJ[J+1]/S)
  ELSE T_VIAJ:=DISTJ[J]/S;
  IF TEMCAR[J]>TEMCAR[J+1] THEN T_CAR:=TEMCAR[J+1]
  ELSE T_CAR:=TEMCAR[J];
  IF TEMDES[J]>TEMDES[J+1] THEN T_DES:=TEMDES[J+1]
  ELSE T_DES:=TEMDES[J];
END;
FOR Y:=1 TO NTAR DO
BEGIN
  FOR J:=1 TO (NTAR-1) DO
  BEGIN
    IF Y<>J THEN
    BEGIN
      IF (DISTIJ^[Y,J]>DISTIJ^[Y,(J+1)])AND(DISTIJ^[Y,(J+1)]>0)
      THEN T_VIAIJ:=(DISTIJ^[Y,(J+1)]/S)
      ELSE T_VIAIJ:=(DISTIJ^[Y,J]/S);
    END;
  END;
END;
PV:=HINCAR[1]+S;
N_TAR:=PV/((T_VIAJ+T_VIAIJ+T_CAR+T_DES));
```





```

        END;
    END;
    IF (INDICE=1)AND (RES=1) THEN N:=N+1
    ELSE IF (G=NGAR) AND (S>0) THEN N:=N+1;
END;
FOR Y:=1 TO NTAR DO
BEGIN
    WRITE (ASAIMIS1,0,' ');
END;
CLOSE (ASAIMIS1);
RESET (ASAIMIS1);
REWRITE (ASAIMIS2);
I:=2; CONT:=0;
WHILE (I<=NTAR) AND (I<=N_TAR) AND (CONT<2) DO
BEGIN
    SOMA:=1;
    WHILE SOMA>0 DO
    BEGIN
        IF Z1=1 THEN
        BEGIN
            FOR Y:=1 TO NTAR DO
            BEGIN
                READ (ASAIMIS1,M[Y]);
            END;
        END;
        IF Z1=2 THEN
        BEGIN
            FOR Y:=1 TO NTAR DO
            BEGIN
                READ (ASAIMIS2,M[Y]);
            END;
        END;
        SOMA:=0;
        FOR Y:=1 TO NTAR DO
        BEGIN
            SOMA:=SOMA+M[Y];
        END;
        IF SOMA=0 THEN
        BEGIN
            CONT:=CONT+1;
            IF Z1=1 THEN
            BEGIN
                CLOSE (ASAIMIS1);
                FOR Y:=1 TO NTAR DO
                BEGIN
                    WRITE (ASAIMIS2,0,' ');
                END;
                CLOSE (ASAIMIS2);
                Z1:=2; Z2:=1;
                REWRITE (ASAIMIS1);
                RESET (ASAIMIS2);
            END;
            IF (Z1=2)AND (Z2=0) THEN
            BEGIN
                CLOSE (ASAIMIS2);
                FOR Y:=1 TO NTAR DO
                BEGIN
                    WRITE (ASAIMIS1,0,' ');
                END;
                CLOSE (ASAIMIS1);
            END;
        END;
    END;
END;

```



```

WRITELN (ASAIROT, ROT [Y] , ' ');

                                END;
                                END;
                                NL:=NL+1+I;
                                NROT:=NROT+1;
                                IF (Z1=1)AND (Z4=N) THEN
                                BEGIN
                                WRITE (ASAIMIS, N:1:0, '=');
                                FOR Y:=1 TO (NTAR-1) DO
                                BEGIN
                                WRITE (ASAIMIS2, ROT [Y] , ' ');
                                WRITE (ASAIMIS, ROT [Y] , ' ');
                                END;
                                WRITELN (ASAIMIS2, ROT [NTAR]);
                                WRITELN (ASAIMIS, ROT [NTAR] , ' ', dist, ' ', tresp);
                                END;
                                IF (Z1=2)AND (Z4=N) THEN
                                BEGIN
                                WRITE (ASAIMIS, N:1:0, '=');
                                FOR Y:=1 TO (NTAR-1) DO
                                BEGIN
                                WRITE (ASAIMIS1, ROT [Y] , ' ');
                                WRITE (ASAIMIS, ROT [Y] , ' ');
                                END;
                                WRITELN (ASAIMIS1, ROT [NTAR]);
                                WRITELN (ASAIMIS, ROT [NTAR] , ' ', dist, ' ', tresp);
                                END;
                                Z4:=N+1;
                                END;
                                END;
                                END;
                                END;
                                END;
                                IF (INDICE=1)AND (RES=1) THEN N:=N+1
                                ELSE IF (G=NGAR) AND (S>0) THEN N:=N+1;
                                R1:=R1+1;
                                END;
                                END;
                                END;
                                END;
                                I:=I+1;
                                END;
                                DISPOSE (DISTIJ);
                                CLOSE (ASAIMIS);
                                CLOSE (ASAIMIS1);
                                CLOSE (ASAIMIS2);
                                CLOSE (ASAICUS);
                                CLOSE (ASAIROT);
                                WRITELN ('NL=' , NL, '          NROT=' , NROT);
                                GETTEMPO;
                                T2:=GETTEMPO;
                                WRITELN ('          , DELTAT (T1, T2));
                                READ (J);
                                END.

```

## APÊNDICE F

### ALGORITMO DE GERAÇÃO DE RELATÓRIO DE PROGRAMAÇÃO

```
{*****}
{*  ALGORITMO DE GERACAO DE RELATÓRIO DE PROGRAMAÇÃO  *}
{*  BY: EDUARDO CORDEIRO DE SOUZA                      *}
{*****}
```

PROGRAM RELATÓRIO;{17/06/1998}

{Declaração das variáveis e constantes do programa principal}

USES DOS, CRT;

CONST

NGAR=[ ]; NTAR=[ ]; NK=[ ]; NDES=[ ]; JT=[ ];

TYPE

TVETOR=ARRAY[1..NTAR] OF BYTE;  
TGAR =ARRAY[1..NTAR,1..NGAR] OF WORD;  
TCLI =ARRAY[1..NTAR,1..NTAR] OF WORD;  
THDES =ARRAY[1..NDES] OF REAL;  
TK =ARRAY[1..NK] OF REAL;  
TVET =ARRAY[1..NTAR] OF REAL;  
CLI =^TCLI;

CONST

DIA: ARRAY[1..7] OF STRING[9]=('SEGUNDA','TER A','QUARTA',  
'QUINTA','SEXTA','SABADO',  
'DOMINGO');

VAR

XFEV,XMES,XBIS : BYTE;  
A,ROT,XI,XC : TVETOR;  
J,G,K,INDICE,I,D,B,Y,CONT,NS,NT,R,Z,NX,N,F,DOW,DM,  
MES,ANO,DOW1,DM1,MES1,ANO1 : INTEGER;  
HORAS,MIN : WORD;  
DIST,TESP,TEMPO,T1,T2 : REAL;  
DISTJ,CAPCAR,HINCAR,HTECAR,HINDES,HTEDES,TEMCAR,  
TEMDES : TVET;  
DISTIJ : CLI;  
CAPKP,CAPKV,CD,CT,VM : TK;  
HDES,PDES,HFJ,PDJ : THDES;  
DISTGJ,DISTGJ1 : TGAR;  
ADISTGJ,ADISTIJ,AHDES,APDES,ADISTGJ1,AARQ,AARQ2,  
SAIGAMS,RELATORI,AHFJ,APDJ : TEXT;

**{Funções que formatam a saída de tempo de processamento na tela}**

```
FUNCTION LeadingZero(w : Word) : String;
var
  s : String;
begin
  Str(w:0,s);
  if Length(s) = 1 then
    s := '0' + s;
  LeadingZero := s;
end; {LeadingZero}
```

```
FUNCTION GetTempo:Real;
Var h,m,s,cent:word;
    v:Real;

Begin
  GetTime(h,m,s,cent);
  v:=h;
  GetTempo:= v*3600+m*60+s+cent/100;
End;
```

```
FUNCTION DeltaT(T1,T2:Real):String;
Var h,m,s,cent:integer;
Begin
  T2:=T2-T1;
  IF T2<0 THEN T2:=T2+24*3600;
  h := Trunc(T2/3600);
  m := Trunc( (T2-h*3600)/60 );
  s := Trunc(T2 - h*3600 - m*60);
  cent:=Trunc((T2 - h*3600 - m*60 - s)*100);
  DeltaT:= LeadingZero(h) + ':' +
    LeadingZero(m) + ':' +
    LeadingZero(s) + ':' +
    LeadingZero(cent);
End;
```

**{Procedimento que formata a data para o programa principal}**

```
PROCEDURE DATA (DOW,DM,MES,ANO          : INTEGER;
                 XFEV,XMES,XBIS         : BYTE;
                 TEMPO                   : REAL;
                 VAR DOW1,DM1,MES1,ANO1  : INTEGER;
                 VAR HORAS,MIN           : WORD);
                 VAR DIAS                 : INTEGER;
```

```
BEGIN
  DIAS :=TRUNC((TEMPO+8)/24);
  HORAS:=TRUNC((TEMPO+8)-(DIAS*24));
  MIN :=TRUNC(((TEMPO+8)-(HORAS+(DIAS*24)))*60);
  DOW1:=DOW;
  DM1:=DM;
  ANO1:=ANO;
  MES1:=MES;
  DOW1:=DOW1+DIAS;
  WHILE DOW1>7 DO
  BEGIN
    DOW1:=DOW1-7;
  END;
  DM1:=DM1+DIAS;
  IF XMES=0 THEN
  BEGIN
    IF DM>31 THEN
    BEGIN
      MES1:=MES1+1;
      IF MES1>12 THEN
      BEGIN
        MES1:=1;
        ANO1:=ANO1+1;
      END;
    END;
  END;
  IF XMES=1 THEN
  BEGIN
    IF (XFEV=1) AND (XBIS=1) THEN
    BEGIN
      IF DM1>28 THEN MES1:=MES1+1;
    END;
    IF (XFEV=1) AND (XBIS=0) THEN
    BEGIN
      IF DM1>29 THEN MES1:=MES1+1;
    END;
    IF XFEV=0 THEN
    BEGIN
      IF DM1>30 THEN MES1:=MES1+1;
    END;
  END;
END;
```

```
{*****}
{*      PROGRAMA PRINCIPAL      *}
{*****}
```

```
BEGIN CLRSCR;
NEW(DISTIJ);
```

```
GETTEMPO;
T1:=GETTEMPO;
```

```
ASSIGN(APDES,'a:\PDES.PAS');
RESET(APDES);
FOR D:=1 TO NDES DO
BEGIN
  READLN(APDES,PDES[D]);
END;
CLOSE(APDES);
```

```
ASSIGN(AHDES,'a:\HDES.PAS');
RESET(AHDES);
FOR J:=1 TO NDES DO
BEGIN
  READLN(AHDES,HDES[J]);
END;
CLOSE(AHDES);
```

```
ASSIGN(ADISTGJ,'a:\DISTGJ.PAS');
RESET(ADISTGJ);
FOR G:=1 TO NGAR DO
BEGIN
  FOR J:=1 TO (NTAR-1) DO
  BEGIN
    READ(ADISTGJ,DISTGJ[J,G]);
  END;
  READLN(ADISTGJ,DISTGJ[NTAR,G]);
END;
CLOSE(ADISTGJ);
```

```
ASSIGN(ADISTGJ1,'a:\DISTGJ1.PAS');
RESET(ADISTGJ1);
FOR G:=1 TO NGAR DO
BEGIN
  FOR J:=1 TO (NTAR-1) DO
  BEGIN
    READ(ADISTGJ1,DISTGJ1[J,G]);
  END;
  READLN(ADISTGJ1,DISTGJ1[NTAR,G]);
END;
CLOSE(ADISTGJ1);
```

```
ASSIGN(ADISTIJ,'a:\DISTIJ.PAS');
RESET(ADISTIJ);
FOR I:=1 TO NTAR DO
BEGIN
  FOR J:=1 TO (NTAR-1) DO
  BEGIN
    READ(ADISTIJ,DISTIJ^[I,J]);
  END;
END;
```

```
    READLN(ADISTIJ,DISTIJ^[I,NTAR]);
END;
CLOSE(ADISTIJ);
```

```
ASSIGN(AARQ,'a:\ARQ.PAS');
RESET(AARQ);
FOR J:=1 TO (NTAR-1) DO
BEGIN
    READ(AARQ,DISTJ[J]);
END;
READLN(AARQ,DISTJ[NTAR]);
```

```
FOR J:=1 TO (NTAR-1) DO
BEGIN
    READ(AARQ,CAPCAR[J]);
END;
READLN(AARQ,CAPCAR[NTAR]);
```

```
FOR J:=1 TO (NTAR-1) DO
BEGIN
    READ(AARQ,HINCAR[J]);
END;
READLN(AARQ,HINCAR[NTAR]);
```

```
FOR J:=1 TO (NTAR-1) DO
BEGIN
    READ(AARQ,HTECAR[J]);
END;
READLN(AARQ,HTECAR[NTAR]);
```

```
FOR J:=1 TO (NTAR-1) DO
BEGIN
    READ(AARQ,TEMCAR[J]);
END;
READLN(AARQ,TEMCAR[NTAR]);
```

```
FOR J:=1 TO (NTAR-1) DO
BEGIN
    READ(AARQ,HINDES[J]);
END;
READLN(AARQ,HINDES[NTAR]);
```

```
FOR J:=1 TO (NTAR-1) DO
BEGIN
    READ(AARQ,HTEDES[J]);
END;
READLN(AARQ,HTEDES[NTAR]);
```

```
FOR J:=1 TO (NTAR-1) DO
BEGIN
    READ(AARQ,TEMDES[J]);
END;
READLN(AARQ,TEMDES[NTAR]);
```

```
FOR J:=1 TO (NTAR-1) DO
BEGIN
    READ(AARQ,XI[J]);
END;
```



```

READLN(AARQ,XI[NTAR]);

FOR J:=1 TO (NTAR-1) DO
BEGIN
  READ(AARQ,XC[J]);
END;
READLN(AARQ,XC[NTAR]);

CLOSE(AARQ);

ASSIGN(AARQ2,'a:\ARQ2.PAS');
RESET(AARQ2);
IF NK=1 THEN
BEGIN
  READLN(AARQ2,CAPKV[1]);
  READLN(AARQ2,CAPKP[1]);
  READLN(AARQ2,CD[1]);
  READLN(AARQ2,CT[1]);
  READLN(AARQ2,VM[1]);
END;
IF NK>1 THEN
BEGIN
  FOR J:=1 TO (NK-1) DO
  BEGIN
    READ(AARQ2,CAPKV[J]);
  END;
  READLN(AARQ2,CAPKV[NK]);

  FOR J:=1 TO (NK-1) DO
  BEGIN
    READ(AARQ2,CAPKP[J]);
  END;
  READLN(AARQ2,CAPKP[NK]);

  FOR J:=1 TO (NK-1) DO
  BEGIN
    READ(AARQ2,CD[J]);
  END;
  READLN(AARQ2,CD[NK]);

  FOR J:=1 TO (NK-1) DO
  BEGIN
    READ(AARQ2,CT[J]);
  END;
  READLN(AARQ2,CT[NK]);

  FOR J:=1 TO (NK-1) DO
  BEGIN
    READ(AARQ2,VM[J]);
  END;
  READLN(AARQ2,VM[NK]);
END;
CLOSE(AARQ2);

ASSIGN(SAIGAMS,'SAIGAMS.PAS');
RESET(SAIGAMS);

ASSIGN(RELATORI,'RELATORI.PAS');
REWRITE(RELATORI);

```

```

ASSIGN(AHFJ,'A:\HFJ.PAS');

ASSIGN(APDJ,'A:\PDJ.PAS');

READ(SAIGAMS,DOW);
READ(SAIGAMS,DM);
READ(SAIGAMS,MES);
READ(SAIGAMS,ANO);
READ(SAIGAMS,XMES);
READ(SAIGAMS,XFEV);
READ(SAIGAMS,XBIS);
READLN(SAIGAMS,NS);
TEMPO:=0; R:=1; TESP:=0; N:=1; INDICE:=1;
WHILE N<=NS DO
BEGIN
  READ(SAIGAMS,G);
  READ(SAIGAMS,K);
  READ(SAIGAMS,NT);
  IF NT>1 THEN
  BEGIN
    FOR J:=1 TO (NT-1) DO
    BEGIN
      READ(SAIGAMS,A[J]);
      END;
      READLN(SAIGAMS,A[NT]);
    END ELSE READLN(SAIGAMS,A[NT]);
    WRITELN(RELATORI,'      ROTEIRO=',N);
    WRITELN(RELATORI,' GARAGEM=',G,' TIPO VEICULO=',K);
    WRITE(RELATORI,'SEQUENCIA TAREFAS = ');
    FOR J:=1 TO NT DO
    BEGIN
      WRITE(RELATORI,A[J],', ');
    END;
    WRITELN(RELATORI);
    FOR J:=1 TO NTAR DO
    BEGIN
      ROT[J]:=0;
    END;
    FOR J:=1 TO NT DO
    BEGIN
      ROT[A[J]]:=1;
    END;
    WHILE ROT[R]=0 DO
    BEGIN
      R:=R+1;
    END;
    Z:=R;
    F:=JT;
    D:=1;
    TEMPO:=0;
    WHILE ((DISTGJ[R,G]/VM[K])-F)>0 DO
    BEGIN
      TESP:=TESP+PDES[D];
      F:=F+JT;
      TEMPO:=TEMPO+PDES[D];
      D:=D+1;
    END;
    D:=1;
  
```

```

WHILE HINCAR[R]>=HDES[D] DO
  BEGIN
    D:=D+1;
  END;
TEMPO:=HINCAR[R]-((DISTGJ[R,G]/VM[K])+TEMPO);
IF TEMPO>=HDES[D-1] THEN
  BEGIN
    TESP:=TESP+PDES[D-1];
    TEMPO:=TEMPO-PDES[D-1];
  END;
DATA(DOW,DM,MES,ANO,XFEV,XMES,XBIS,TEMPO,
      DOW1,DM1,MES1,ANO1,HORAS,MIN);
  WRITELN(RELATORI,'SAIDA DO VEICULO DA GARAGEM ':
          LEADINGZERO(DM1),' ',LEADINGZERO(MES1), '/',ANO1,' ',DIA[DOW1],",
          LEADINGZERO(HORAS),':',LEADINGZERO(MIN));
IF XC[R]=1 THEN
  WRITELN(RELATORI,'TAREFA ',R,' DEMANDA=',CAPCAR[R]:2:0,' TON')
ELSE WRITELN(RELATORI,'TAREFA ',R,' DEMANDA=',CAPCAR[R]:2:0,' M3');
TEMPO:=HINCAR[R];
DATA(DOW,DM,MES,ANO,XFEV,XMES,XBIS,TEMPO,
      DOW1,DM1,MES1,ANO1,HORAS,MIN);
  WRITELN(RELATORI,'CARREG.INICIO PREVISTO=',LEADINGZERO(DM1),' ',
          LEADINGZERO(MES1), '/',ANO1,' ',DIA[DOW1],', '
          LEADINGZERO(HORAS),':',LEADINGZERO(MIN));
TEMPO:=HINCAR[R]+TEMCAR[R];
IF XI[R]=0 THEN
  BEGIN
    WHILE TEMPO>=HDES[D] DO
      BEGIN
        TEMPO:=TEMPO+PDES[D];
        TESP:=TESP+PDES[D];
        D:=D+1;
      END;
DATA(DOW,DM,MES,ANO,XFEV,XMES,XBIS,TEMPO,
      DOW1,DM1,MES1,ANO1,HORAS,MIN);
  WRITELN(RELATORI,'CARREG.TERMINO PREVISTO=',LEADINGZERO(DM1),' ',
          LEADINGZERO(MES1), '/',ANO1,' ',DIA[DOW1],', '
          LEADINGZERO(HORAS),':',LEADINGZERO(MIN));
TEMPO:=TEMPO+DISTJ[R]/VM[K];
WHILE TEMPO>=HDES[D] DO
  BEGIN
    TEMPO:=TEMPO+PDES[D];
    TESP:=TESP+PDES[D];
    D:=D+1;
  END;
IF TEMPO<HINDES[R] THEN
  BEGIN
    WHILE HINDES[R]>=HDES[D] DO
      BEGIN
        D:=D+1;
        TESP:=TESP+PDES[D];
      END;
      TEMPO:=HINDES[R];
    END;
DATA(DOW,DM,MES,ANO,XFEV,XMES,XBIS,TEMPO,
      DOW1,DM1,MES1,ANO1,HORAS,MIN);
  WRITELN(RELATORI,'DESCARREG.INICIO PREVISTO=',LEADINGZERO(DM1),' ',
          LEADINGZERO(MES1), '/',ANO1,' ',DIA[DOW1],', '
          LEADINGZERO(HORAS),':',LEADINGZERO(MIN));

```

```

TEMPO:=TEMPO+TEMDES[R];
WHILE TEMPO>=HDES[D] DO
BEGIN
    TEMPO:=TEMPO+PDES[D];
    TESP:=TESP+PDES[D];
    D:=D+1;
END;
DATA(DOW,DM,MES,ANO,XFEV,XMES,XBIS,TEMPO,
    DOW1,DM1,MES1,ANO1,HORAS,MIN);
WRITELN(RELATORI,'DESCARREG.TERM PREVISTO=',LEADINGZERO(DM1),
    '/',LEADINGZERO(MES1),'/',ANO1,',',DIA[DOW1],' ',LEADINGZERO(HORAS),' ',
    LEADINGZERO(MIN));
END;
IF XI[R]=1 THEN
BEGIN
    RESET(AHFJ);
    RESET(APDJ);
    FOR NX:=1 TO R DO
    BEGIN
        FOR J:=1 TO (NDES-1) DO
        BEGIN
            READ(AHFJ,HFJ[J]);
            READ(APDJ,PDJ[J]);
        END;
        READLN(AHFJ,HFJ[NDES]);
        READLN(APDJ,PDJ[NDES]);
    END;
    CLOSE(AHFJ);
    CLOSE(APDJ);
    WHILE TEMPO>=HFJ[D] DO
    BEGIN
        TEMPO:=TEMPO+PDJ[D];
        TESP:=TESP+PDES[D];
        D:=D+1;
    END;
    DATA(DOW,DM,MES,ANO,XFEV,XMES,XBIS,TEMPO,
        DOW1,DM1,MES1,ANO1,HORAS,MIN);
    WRITELN(RELATORI,'CARREG.TERMINO PREVISTO=',LEADINGZERO(DM1),
        '/',LEADINGZERO(MES1),'/',ANO1,' ',DIA[DOW1],' ',
        LEADINGZERO(HORAS),' ',LEADINGZERO(MIN));
    TEMPO:=TEMPO+DISTJ[R]/VM[K];
    WHILE TEMPO>=HDES[D] DO
    BEGIN
        TEMPO:=TEMPO+PDES[D];
        TESP:=TESP+PDES[D];
        D:=D+1;
    END;
    IF TEMPO<HINDES[R] THEN
    BEGIN
        WHILE HINDES[R]>=HDES[D] DO
        BEGIN
            D:=D+1;
            TESP:=TESP+PDES[D];
        END;
        TEMPO:=HINDES[R];
    END;
    DATA(DOW,DM,MES,ANO,XFEV,XMES,XBIS,TEMPO,
        DOW1,DM1,MES1,ANO1,HORAS,MIN);
    WRITELN(RELATORI,'DESCARREG.INICIO PREVISTO=',LEADINGZERO(DM1),'/',

```

```

        LEADINGZERO(MES1),' ',ANO1,' ',DIA[DOW1],' ',
        LEADINGZERO(HORAS),' ',LEADINGZERO(MIN));
TEMPO:=TEMPO+TEMDES[R];
WHILE TEMPO>=HFJ[D] DO
BEGIN
    TEMPO:=TEMPO+PDJ[D];
    TESP:=TESP+PDES[D];
    D:=D+1;
END;
DATA(DOW,DM,MES,ANO,XFEV,XMES,XBIS,TEMPO,
    DOW1,DM1,MES1,ANO1,HORAS,MIN);
WRITELN(RELATORI,'DESCARREG.TERMINOPREVISTO=',LEADINGZERO(DM1),' ',
    LEADINGZERO(MES1),' ',ANO1,' ',DIA[DOW1],' ',
    LEADINGZERO(HORAS),' ',LEADINGZERO(MIN)));
IF TEMPO>HTEDES[R] THEN INDICE:=0;
END;
DIST:= DISTGJ[R,G]+DISTJ[R];
B:=R;
J:=(R+1);
WHILE (INDICE=1) AND (J<=NTAR) DO
BEGIN
    IF ROT[J]=1 THEN
    BEGIN
        IF XI[J]=0 THEN
        BEGIN
            TEMPO:=TEMPO+DISTIJ^[B,J]/VM[K];
            WHILE TEMPO>=HDES[D] DO
            BEGIN
                TEMPO:=TEMPO+PDES[D];
                TESP:=TESP+PDES[D];
                D:=D+1
            END;
            IF TEMPO<HINCAR[J] THEN
            BEGIN
                WHILE HINCAR[J]>=HDES[D] DO
                BEGIN
                    D:=D+1;
                    TESP:=TESP+PDES[D];
                END;
                TEMPO:=HINCAR[J];
            END;
            IF XC[J]=1 THEN
            WRITELN(RELATORI,'TAREFA ',J,' DEMANDA=',CAPCAR[J]:2:0,' TON')
            ELSE WRITELN(RELATORI,'TAREFA ',J,' DEMANDA=',CAPCAR[J]:2:0,' M3');
            DATA(DOW,DM,MES,ANO,XFEV,XMES,XBIS,TEMPO,
                DOW1,DM1,MES1,ANO1,HORAS,MIN);
            WRITELN(RELATORI,'CARREG.INICIOPREVISTO=',LEADINGZERO(DM1),' ',
                LEADINGZERO(MES1),' ',ANO1,' ',DIA[DOW1],' ',
                LEADINGZERO(HORAS),' ',LEADINGZERO(MIN)));
            TEMPO:=TEMPO+TEMCAR[J];
            WHILE TEMPO>=HDES[D] DO
            BEGIN
                TEMPO:=TEMPO+PDES[D];
                TESP:=TESP+PDES[D];
                D:=D+1
            END;
            IF TEMPO>HTECAR[J] THEN INDICE:=0;
            DATA(DOW,DM,MES,ANO,XFEV,XMES,XBIS,TEMPO,
                DOW1,DM1,MES1,ANO1,HORAS,MIN);

```

```

WRITELN(RELATORI,'CARREG.TERMINO PREVISTO=',LEADINGZERO(DM1),' ',
        LEADINGZERO(MES1),' ',ANO1,' ',DIA[DOW1],' ',
        LEADINGZERO(HORAS),' ',LEADINGZERO(MIN));
TEMPO:=TEMPO+DISTJ[J]/VM[K];
WHILE TEMPO>=HDES[D] DO
BEGIN
    TEMPO:=TEMPO+PDES[D];
    TESP:=TESP+PDES[D];
    D:=D+1
END;
IF TEMPO<HINDES[J] THEN
BEGIN
    WHILE HINDES[J]>=HDES[D] DO
    BEGIN
        D:=D+1;
        TESP:=TESP+PDES[D];
    END;
    TEMPO:=HINDES[J];
END;
DATA(DOW,DM,MES,ANO,XFEV,XMES,XBIS,TEMPO,
     DOW1,DM1,MES1,ANO1,HORAS,MIN);
WRITELN(RELATORI,'DESCARREG.INICIOPREVISTO=',LEADINGZERO(DM1),
        '/',LEADINGZERO(MES1),' ',ANO1,' ',DIA[DOW1],' ',
        LEADINGZERO(HORAS),' ',LEADINGZERO(MIN));
TEMPO:=TEMPO+TEMDES[J];
WHILE TEMPO>=HDES[D] DO
BEGIN
    TEMPO:=TEMPO+PDES[D];
    TESP:=TESP+PDES[D];
    D:=D+1
END;
DATA(DOW,DM,MES,ANO,XFEV,XMES,XBIS,TEMPO,
     DOW1,DM1,MES1,ANO1,HORAS,MIN);
WRITELN(RELATORI,'DESCARREG.TERMINO PREVISTO=',LEADINGZERO(DM1),' ',
        LEADINGZERO(MES1), ' ',ANO1,' ',DIA[DOW1],' ',
        LEADINGZERO(HORAS),' ',LEADINGZERO(MIN));
IF TEMPO>HTEDES[J] THEN INDICE:=0;
END;
IF XI[J]=1 THEN
BEGIN
    RESET(AHFJ);
    RESET(APDJ);
    FOR NX:=1 TO J DO
    BEGIN
        FOR Y:=1 TO (NDES-1) DO
        BEGIN
            READ(AHFJ,HFJ[Y]);
            READ(APDJ,PDJ[Y]);
        END;
        READLN(AHFJ,HFJ[NDES]);
        READLN(APDJ,PDJ[NDES]);
    END;
    CLOSE(AHFJ);
    CLOSE(APDJ);
    TEMPO:=TEMPO+DISTIJ^[B,J]/VM[K];
    WHILE TEMPO>=HDES[D] DO
    BEGIN
        TEMPO:=TEMPO+PDES[D];
        TESP:=TESP+PDES[D];
    END;

```

```

D:=D+1
END;
IF TEMPO<HINCAR[J] THEN
BEGIN
  WHILE HINCAR[J]>=HDES[D] DO
  BEGIN
    D:=D+1;
    TESP:=TESP+PDES[D];
  END;
  TEMPO:=HINCAR[J];
END;
WRITELN(RELATORI,'TAREFA ',J);
DATA(DOW,DM,MES,ANO,XFEV,XMES,XBIS,TEMPO,
      DOW1,DM1,MES1,ANO1,HORAS,MIN);
WRITELN(RELATORI,'CARREG.INICIO PREVISTO=',LEADINGZERO(DM1),' ',
        LEADINGZERO(MES1), ' ',ANO1,' ',DIA[DOW1],' ',
        LEADINGZERO(HORAS),':',LEADINGZERO(MIN));
TEMPO:=TEMPO+TEMCAR[J];
WHILE TEMPO>=HFJ[D] DO
BEGIN
  TEMPO:=TEMPO+PDJ[D];
  TESP:=TESP+PDES[D];
  D:=D+1
END;
IF TEMPO>HTECAR[J] THEN INDICE:=0;
DATA(DOW,DM,MES,ANO,XFEV,XMES,XBIS,TEMPO,
      DOW1,DM1,MES1,ANO1,HORAS,MIN);
WRITELN(RELATORI,'CARREG.TERMINO PREVISTO= ',
        LEADINGZERO(DM1),' ',LEADINGZERO(MES1), ' ',ANO1,' ',DIA[DOW1],' ',
        LEADINGZERO(HORAS),':',LEADINGZERO(MIN));
TEMPO:=TEMPO+DISTJ[J]/VM[K];
WHILE TEMPO>=HDES[D] DO
BEGIN
  TEMPO:=TEMPO+PDES[D];
  TESP:=TESP+PDES[D];
  D:=D+1
END;
IF TEMPO<HINDES[J] THEN
BEGIN
  WHILE HINDES[J]>=HDES[D] DO
  BEGIN
    D:=D+1;
    TESP:=TESP+PDES[D];
  END;
  TEMPO:=HINDES[J];
END;
DATA(DOW,DM,MES,ANO,XFEV,XMES,XBIS,TEMPO,
      DOW1,DM1,MES1,ANO1,HORAS,MIN);
WRITELN(RELATORI,'DESCARREG.INICIO PREVISTO= ',LEADINGZERO(DM1),' ',
        LEADINGZERO(MES1), ' ',ANO1,' ',DIA[DOW1],' ',
        LEADINGZERO(HORAS),':',LEADINGZERO(MIN));
TEMPO:=TEMPO+TEMDES[J];
WHILE TEMPO>=HFJ[D] DO
BEGIN
  TEMPO:=TEMPO+PDJ[D];
  TESP:=TESP+PDES[D];
  D:=D+1
END;
DATA(DOW,DM,MES,ANO,XFEV,XMES,XBIS,TEMPO,

```

```

DOW1,DM1,MES1,ANO1,HORAS,MIN);
WRITELN(RELATORI,'DESCARREG.TERMINO PREVISTO=',LEADINGZERO(DM1),'/',
        LEADINGZERO(MES1), '/',ANO1,' ',DIA[DOW1],' ',
        LEADINGZERO(HORAS),':',LEADINGZERO(MIN));
IF TEMPO>HTEDES[J] THEN INDICE:=0;
END;
DIST:=DIST+DISTIJ^[B,J]+DISTJ[J];
B:=J;
END;
J:=J+1;
END;
WHILE Y> 0 DO
BEGIN
Y:=NTAR;
WHILE ROT[Y]=0 DO
BEGIN
Y:=Y-1;
END;
DIST:=DIST+DISTGJ1[Y,G];
F:=JT;
WHILE ((DISTGJ1[Y,G]/VM[K])-F)>0 DO
BEGIN
TESP:=TESP+PDES[D];
F:=F+JT;
TEMPO:=TEMPO+PDES[D];
D:=D+1;
END;
TEMPO:=TEMPO + (DISTGJ1[Y,G]/VM[K]);
IF TEMPO>=HDES[D] THEN
BEGIN
TESP:=TESP+PDES[D];
TEMPO:=TEMPO+PDES[D];
END;
DATA(DOW,DM,MES,ANO,XFEV,XMES,XBIS,TEMPO,
      DOW1,DM1,MES1,ANO1,HORAS,MIN);
WRITELN(RELATORI,'DATA PREVISTA VOLTA VEICULO=',LEADINGZERO(DM1),'/',
        LEADINGZERO(MES1), '/',ANO1,' ',DIA[DOW1],' ',
        LEADINGZERO(HORAS),':',LEADINGZERO(MIN));
WRITELN(RELATORI,'DISTANCIA TOTAL=',DIST:1:2,' TEMPO DESCANSO=',TESP:1:2);
WRITELN(RELATORI);
WRITELN(RELATORI);
WRITELN(RELATORI);
END;
N:=N+1;
R:=1;
TESP:=0;
END;
DISPOSE(DISTIJ);
CLOSE(SAIGAMS);
CLOSE(RELATORI);
GETTEMPO;
T2:=GETTEMPO;
WRITELN(' ',DELTAT(T1,T2));
END.

```