

# LOGÍSTICA DA EAD: APLICAÇÃO PARA O PROBLEMA *DIAL-A-RIDE*

**Ezequiel Gibbon Gautério**

Universidade Federal do Rio Grande - Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional, Av. Itália, km 8. Campus Carreiros, Rio Grande, RS.  
e-mail: ezequielgaut@hotmail.com

**Profª Dra. Elaine Corrêa Pereira**

Universidade Federal do Rio Grande - Instituto de Matemática, Estatística e Física, Av. Itália, km 8. Campus Carreiros, Rio Grande, RS.  
e-mail: elainepereira@prolic.furg.br

## RESUMO:

Neste trabalho apresentamos uma proposta de análise da logística de roteamento dos veículos na Educação a Distância (EaD) da FURG (RS), sendo uma aplicação do *problem dial-a-ride* (DARP). O principal objetivo é desenvolver um modelo computacional que realize a programação dos veículos e organize a logística de viagens na EaD, minimizando os custos operacionais, ou seja, o número de veículos, as distâncias e os tempos de viagem entre os polos presenciais. Atualmente esta logística é organizada empiricamente. Como metodologia já foram realizados o mapeamento dos polos e coleta das informações da logística atual, revisão bibliográfica sobre os problemas *dial-a-ride* e métodos de solução e implementação parcial do modelo a ser utilizado neste problema. Este modelo será baseado nos estudos de Mauri e Lorena (2009) que trataram o DARP através de uma função multiobjetivo. Espera-se concluir a pesquisa obtendo resultados positivos na organização da logística do problema em estudo.

**PALAVRAS-CHAVE:** roteamento de veículos, problema *dial-a-ride*, educação a distância.

## ABSTRACT:

In this paper we propose a logistic analysis of vehicle routing in Distance Education (DE) of the Federal University of Rio Grande (FURG) - RS, being an application of the problem *dial-a-ride* (DARP). The main objective is to develop a computational model that performs the scheduling of vehicles and organize the logistics of travel in DE, minimizing operating costs, ie the number of vehicles, distances and travel times between the pole face. Currently this is organized logistics empirically. The methodology has already been made of poles and the mapping data collection logistics current, literature review on the problems *dial-a-ride* and methods of solution and partial implementation of the model to be used in this problem. This model will be based on studies of Mauri and Lorena (2009) that treated the DARP through a multiobjective function. Expected to complete the survey with positive results in organizing the logistics of the problem under study.

**KEY-WORDS:** routing vehicles, problem *dial-a-ride*, distance education.

## 1. INTRODUÇÃO

O interesse por pesquisas na área de Matemática Aplicada, especialmente no estudo de aplicações dos Problemas de Roteamento de Veículos (PRV), de forma geral, teve um considerável crescimento nas últimas décadas. No Brasil, muitos pesquisadores desenvolveram ou estão realizando trabalhos relacionados envolvendo situações reais.

Os problemas de roteamento de veículos, em geral, consistem em criar possíveis rotas de percurso que saiam de um ponto inicial, realizam o trajeto necessário e retornam ao mesmo ponto e, dentre estas possíveis rotas definir aquela que oferece o menor custo de acordo com a situação analisada, sob algumas condições impostas pelo problema.

Segundo Bodin *et. al.* (1983), existem diferentes tipos de PRV classificados conforme as características do problema real. Entre eles, existe um caso particular do problema de coleta e entrega classificado como *Problem Dial-a-Ride* (DARP) que trata o transporte de pessoas entre dois locais específicos e, segundo Kaiser (2009), apesar de pouco conhecido muitos pesquisadores têm concentrado esforços nos últimos anos para estudo e análise desse tipo de problema aplicando-o em situações reais.

Em geral, de acordo com Mauri e Lorena (2009) o *dial-a-ride* compartilha várias características dos problemas de coleta e entrega, mas como envolve o transporte de pessoas, a complexidade para encontrar a solução aumenta, pois é necessário avaliar alguns fatores, tais como: a insatisfação das pessoas (a qualidade do serviço, pontualidade, tempo de espera) e os custos operacionais (a duração das rotas, o número de veículos).

Além disso, outros critérios podem ser inseridos como restrições do problema, tais como: as janelas de tempo (tempo de espera, tempo de parada, tempo de atendimento - embarque ou desembarque); a quantidade de rotas, de garagens ou de veículos; o tipo da frota (homogênea ou heterogênea); a capacidade dos veículos, segundo Goldbarg e Luna (2000).

Assim, neste trabalho será apresentado um estudo teórico do *dial-a-ride* com janela de tempo aplicando num problema real, onde o mesmo possui um único depósito, com múltiplas rotas e frota heterogênea e o objetivo principal é desenvolver um modelo computacional que realize a programação dos veículos e organize a logística de viagens da Educação a Distância (EaD) na Universidade Federal do Rio Grande (FURG), minimizando os custos operacionais, ou seja, o número de veículos, as distâncias e os tempos de viagem entre os polos.

A metodologia para realização deste trabalho foi dividida em algumas etapas e para construção do modelo para solucionar o estudo de caso serão utilizadas algumas heurísticas juntamente com a metaheurística *Simulated Annealing*.

## 2. PROBLEMAS DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS

De acordo com Netto (2006), resolver o PRV significa procurar uma maneira de distribuir a um ou mais veículos uma lista de entrega, coleta ou execução de algum serviço, sendo que estes veículos devem retornar ao ponto de origem no término do serviço. Uma revisão do estado da arte sobre roteamento de veículos encontra-se em Bodin *et. al.* (1983).

Os estudos sobre roteamento, segundo Netto (2006), começaram a serem explorados por dois grandes matemáticos Euler em 1736 e Hamilton em 1859, quando estudaram o problema das sete pontes de Königsberg e o Problema do Caixeiro-Viajante, respectivamente. Aproximadamente um século depois, o problema de roteamento de veículos foi aplicado em uma situação prática por Dantzig e Ramser (1959).

As pesquisas expostas na literatura apresentam vários tipos de PRV. Segundo Bodin *et. al.* (1983), podem ser classificados em: Problema do Caixeiro Viajante (PCV), Problema do Carteiro Chinês (PCC), Problema de Roteamento com Depósito Único e Múltiplos Veículos (PRDMV) ou Múltiplos Depósitos, Problema de Roteamento de Veículos com

Coleta e Entrega (PRVCE), Problemas de Roteamento de Veículos com Janelas de Tempo (PRVJT), entre outros.

## 2.1. O PROBLEMA *DIAL-A-RIDE*

De acordo com Mauri e Lorena (2009), o problema de roteamento de veículos denominado de DARP, originado do termo inglês “*Problem Dial-a-ride*” é um caso particular dos problemas de Coleta e Entrega onde a carga a ser transportada são pessoas. O objetivo principal é desenvolver um conjunto de rotas otimizadas com escalas de veículos, de forma que os mesmos sejam capazes de transportar o maior número de usuários que especificam requisições de embarque e desembarque entre os locais de origem e destino específicos, obedecendo a algumas restrições do problema.

O DARP pode ser classificado em estático ou dinâmico. No caso estático, a demanda das pessoas a serem atendidas é conhecida com antecedência, antes do início do planejamento que possa ser feito para atender as solicitações do serviço e para o caso dinâmico a demanda de serviço é imediata, sendo que o roteamento e programação dos veículos ocorrem no momento da solicitação de serviço, adaptando o roteiro definido previamente, de forma que atenda esta nova solicitação.

Segundo Mauri e Lorena (2009), o *dial-a-ride* é bastante comum em problemas reais, mas com pouca abordagem dentro da Pesquisa Operacional devido a sua complexidade de solução. Entretanto, nos últimos anos muitas pesquisas com aplicações reais do DARP e sobre os métodos de solução do problema têm surgido. Estas pesquisas podem ser encontradas nos trabalhos de Znamensky e Cunha (2009), Cordeau (2006), Haidemann (2007), entre outros.

Em Znamensky e Cunha (1999) encontra-se uma aplicação do *dial-a-ride* no problema de transporte de idosos e deficientes do serviço ATENDE existente na cidade de São Paulo e desenvolvido pela empresa São Paulo Transporte S/A. O transporte é realizado por veículos de capacidades pequenas, sujeito a algumas restrições operacionais e temporais. O objetivo é determinar roteiros que atendam ao conjunto de clientes, respeitando as restrições impostas pelo problema e a estratégia para solução utilizada foi uma heurística de inserção paralela seguida de uma etapa de melhoria das rotas, utilizando métodos de busca local.

Cordeau (2006) abordou em seu trabalho a utilização do algoritmo de *brand-and-cut* para solução do *dial-a-ride*. Nessa abordagem, o problema foi tratado de forma estática, com múltiplos veículos, frota homogênea e depósito único utilizando algumas restrições que tratam os intervalos de realização do serviço em cada nó  $i$  e os intervalos de tempo em que a pessoa permanece no veículo antes de chegar ao destino. A solução do problema é obtida por método exato.

Haidemann (2007) apresenta um estudo sobre o transporte escolar na cidade de Joinville em Santa Catarina, aplicando um algoritmo matemático baseado na técnica de Programação Dinâmica utilizado para resolver problemas que se caracterizam como DARP. O principal objetivo do trabalho foi construir roteiros que atendessem a todos os pontos de entrega e coleta dentro dos horários pré-determinados pela escola com custo mínimo.

Assim, o DARP pode ser aplicado a diferentes problemas de forma que sejam analisadas as rotas, buscando minimizar os custos operacionais e/ou a insatisfação dos passageiros de sua origem até o destino.

## 3. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA REAL

Este trabalho está sendo aplicado no contexto da Educação à Distância (EaD) da FURG, através da Secretaria de Educação a Distância (SEaD). Atualmente, esta unidade institucional oferece diferentes cursos de Graduação e Pós-graduação pelos programas Universidade Aberta do Brasil e Pró-Licenciatura (programas do Governo Federal – Ministério da Educação - MEC).

Estes cursos são ofertados em 9 polos de apoio presencial distribuídos geograficamente em diferentes cidades do estado do Rio Grande do Sul representadas na figura 3.1, sendo elas: O - SEaD em Rio Grande, X1 - Santa Vitória do Palmar, X2 - São José do Norte, X3 – Mostardas, X4 - São Lourenço do Sul, X5 - Hulha Negra, X6 - Santo Antônio da Patrulha, X7 - Sapiranga, X8 - Sobradinho e X9 - Três de Maio.



Figura 3.1: Polos da EaD - FURG

Nesta modalidade de ensino, a FURG prioriza a realização de encontros presenciais nos referidos polos. Com isto, os professores e tutores precisam se deslocar até estas cidades para que sejam realizados os encontros com os estudantes matriculados.

Desta forma, para realização dos deslocamentos de viagem aos polos é necessário organizar a logística de roteamento dos veículos que transportam os professores e tutores até as cidades. Atualmente, esta logística é planejada de forma empírica pelos responsáveis da organização das viagens na SEaD. No entanto, é necessário considerar o tempo de duração da viagem até o polo, os horários em que ocorrem os encontros presenciais e a duração dos encontros, bem como, verificar a disponibilidade dos veículos e quantos destes veículos serão necessários para realização dos roteiros desejados.

Além disso, existem outras características do problema que são importantes para obtenção e análise dos resultados, tais como: os deslocamentos aos polos ocorrem, em sua maioria, durante os fins de semana, estes deslocamentos devem ser realizados num limite de tempo de 36h (sendo ida e volta), a frota de veículos disponível é heterogênea, ou seja, cada veículo possui uma capacidade distinta, existe um tempo de parada obrigatória em cada polo de 4h, considera-se que a cada 11h de viagem, na ida, existe um tempo de repouso de 8h.

No planejamento da logística, são consideradas as possíveis rotas que podem ser realizadas, passando em diferentes cidades ou trevos de acesso em rodovias (pontos no mapa) durante o percurso até os polos. Estes pontos são representados no mapeamento da figura 3.2, logo abaixo.

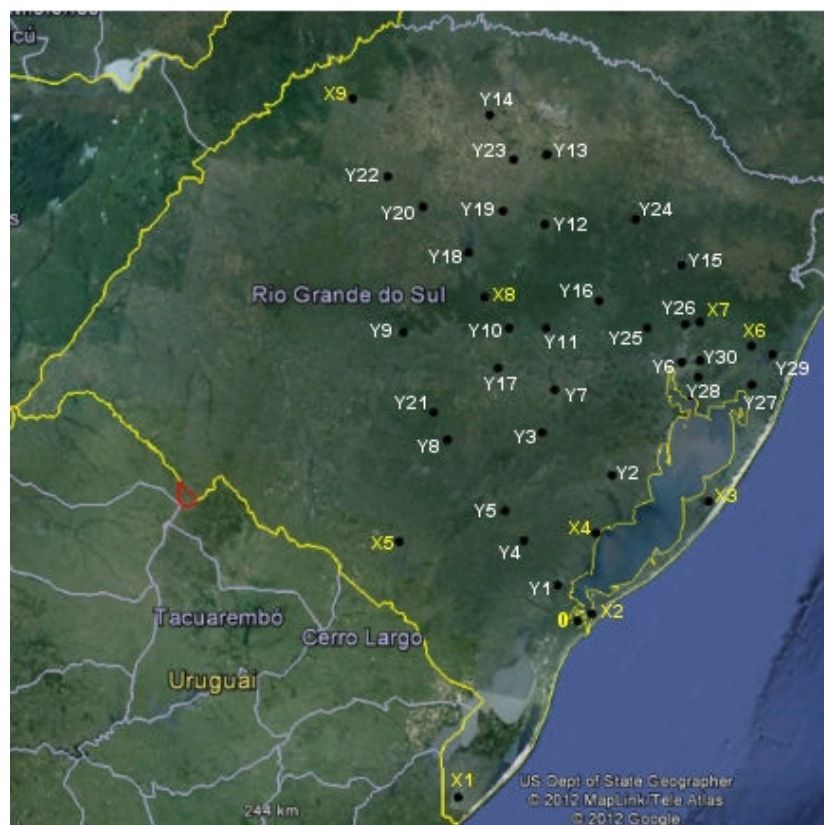


Figura 3.2: Polos, cidades próximas ou trevos em rodovias.

Neste mapeamento, foram localizados os diferentes pontos que representam: a sede e os polos presenciais descritos na figura (3.1); as cidades próximas ou no percurso: (Y1 - Pelotas; Y2 - Camaquã; Y3 - Encruzilhada do Sul; Y4 - Canguçu; Y6 - Porto Alegre; Y7 - Pantano Grande; Y9 - Santa Maria; Y10 - Candelária; Y12 - Soledade; Y13 - Passo Fundo; Y16 - Lajeado; Y14 - Sarandi; Y15 - Caxias do Sul; Y17 - Cachoeira do Sul; Y19 - Espumoso; Y20 - Cruz Alta; Y22 - Ijuí; Y23 - Carazinho; Y24 - Nova Prata; Y25 - Montenegro; Y27 - Capivari do Sul; Y28 - Viamão); os trevos de acesso em algumas rodovias: (Y11 - Trevo em Santa Cruz do Sul com RS 287; Y18 - Trevo próximo a Salto do Jacuí; Y21 - Trevo entre Caçapava do Sul e Santa Maria; Y8 - Trevo entre Caçapava do Sul e Santana da Boa Vista; Y5 - Trevo entre Santana da Boa Vista e Canguçu; Y26 - Trevo em Novo Hamburgo; Y29 - Trevo na Estrada Osório/Capivari do Sul; Y30 – Trevo em Gravataí);

Os deslocamentos de viagens são realizados de forma que os veículos saiam da SEaD (ponto de embarque dos passageiros) e retornam a este ponto, sendo que os demais pontos que representam os polos podem ser também de embarque ou desembarque das pessoas.

Além disso, as ligações possíveis (por vias rodoviárias) entre cada ponto do mapeamento são representadas na figura 3.3 por um grafo  $G = (V, Z)$  não-direcionado, onde  $V = \{v_0, v_1, v_2, v_3, \dots, \gamma\}$  é o conjunto de todos os pontos do grafo, os quais foram descritos anteriormente e  $Z = \{z_0, z_1, z_2, z_3, \dots, \varphi\}$  é o conjunto das arestas que representam as ligações entre esses pontos, ou seja, as rodovias. As informações sobre a distância real aproximada entre esses pontos e os respectivos tempos de viagem foram obtidas utilizando o software *Google Earth*;

De acordo com as características e condições mencionadas acima, para a modelagem deste problema é necessário considerar algumas restrições, tais como: tempo máximo de viagem em cada rota, tempo de parada nos polos, janelas de tempo de embarque e desembarque nos polos, capacidade máxima dos veículos, quantidade de pessoas para embarque e desembarque nos polos e a restrição de tempo de repouso.



Figura 3.3: Grafo que representa as ligações possíveis (por rodovias) entre os pontos, cidades ou trevos de acesso.

O principal objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo computacional que realize a programação dos veículos e organize esta logística de viagens da EaD na FURG, minimizando os custos operacionais, ou seja, o número de veículos, as distâncias e os tempos de viagem entre os polos.

A educação a distância no Brasil vem se fortalecendo significativamente nos últimos anos, segundo dados do INEP (Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais) e, de acordo com a Associação Brasileira de Educação a Distância (ABED), em 2006 havia 2,279 milhões de estudantes matriculados nos 889 diferentes cursos de graduação e pós-graduação em EaD espalhados pelas diferentes regiões do país.

A FURG é uma instituição que cresceu nesta modalidade de ensino expandindo-se em diferentes municípios. O número de estudantes na EaD da FURG cresceu de 270 para 1330, entre 2007 e 2011. Esse aumento de estudantes matriculados nesta modalidade de ensino possibilitou o aumento da demanda de oferta de novos cursos nos polos de apoio presencial. Desta forma, é necessário melhorar a logística de organização das viagens a serem realizadas até os polos a fim de minimizar os custos operacionais.

Com isto, este trabalho pretende contribuir na obtenção dos melhores resultados para organização desta logística das viagens aos polos através de um modelo computacional que possibilite realizar a programação dos veículos para a EaD na FURG.

#### 4. MODELO PARA O PROBLEMA

Para a modelagem do problema apresentado neste trabalho considera-se como ponto de origem e destino das rotas a SEaD, ou seja, os veículos saem do ponto de origem, transportam os professores até as cidades polos, esperam para que sejam realizados os atendimentos necessários e seguem a rota para outros pontos ou retornam para a SEaD. No entanto, para realização destas rotas são consideradas algumas restrições, tais como: restrições

temporais (tempo de embarque e desembarque, duração das rotas, janelas de tempo de espera para atendimento), restrição de capacidade e restrição de unicidade.

Como este problema consiste no transporte de professores, a logística deve ser organizada de forma que estas pessoas não fiquem muito tempo esperando para o embarque ou o início das atividades nos polos e os tempos de duração da viagem, a quantidade dos veículos e o tempo de permanência das pessoas nestes veículos sejam reduzidos. Desta forma, têm-se os seguintes requisitos:

- Cada rota deve ser realizada por um único veículo e cada polo (ponto de embarque e desembarque) deve ser atendido uma única vez;
- A demanda de pessoas que desembarcam ou embarcam na SEaD (ponto de origem) ou nos polos deve ser igual ou inferior a capacidade de cada veículo;
- O tempo máximo de viagem permitido para cada veículo deve ser inferior ou igual a 36h, incluindo os tempos de parada e de repouso nos polos;
- O horário de chegada do veículo no polo deve ser inferior ao horário de início do tempo de parada (atendimento dos professores);
- A duração do tempo de parada para atendimento é 4h e o tempo de repouso é 10h;
- Devem ser considerados os intervalos de tempo de embarque e desembarque das pessoas no ponto de origem ou nos polos;
- São considerados os horários de chegada para início do tempo de parada e o horário de saída dos veículos, nos polos.

De acordo com estudos já existentes na literatura, o modelo que mais se adapta ao problema descrito, foi abordado por Mauri e Lorena (2009) onde apresentam um modelo matemático geral para o DARP com uma função multiobjetivo e várias restrições, utilizando a metaheurística *Simulated Annealing* (KIRKPATRICK, 1983) juntamente com uma heurística de distribuição e outra de programação dos veículos para obtenção dos resultados. Este modelo é descrito a seguir.

#### 4.1. FORMULAÇÃO MATEMÁTICA PARA O DARP

Este modelo proposto por Mauri e Lorena (2009) trata o problema *dial-a-ride* de coleta e entrega estático (as solicitações e demandas dos clientes são conhecidas com antecedência), com múltiplos veículos, com frota heterogênea e garagens múltiplas. O objetivo do modelo que segue é minimizar os custos operacionais e a insatisfação dos clientes.

Então, assume-se “ $n$ ” clientes (requisições de transporte) que serão atendidas por “ $m$ ” veículos, sendo que cada cliente especifica um local de embarque “ $i$ ” e um de desembarque “ $n+i$ ”. Sejam  $K = \{1, 2, \dots, m\}$  o conjunto de veículos disponíveis;  $G^-$  o conjunto das garagens de origem;  $G^+$  o conjunto das garagens de destino;  $P = \{1, 2, \dots, n\}$  o conjunto dos locais de embarque;  $U = \{n+1, n+2, \dots, 2n\}$  o conjunto dos locais de desembarque e  $N = G^- \cup P \cup U \cup G^+$  o conjunto de todos os locais.

Neste modelo, são utilizados os seguintes parâmetros:

- $q_i$  – carga necessária no veículo para o cliente “ $i$ ”, ou seja, número de assentos que serão ocupados pelo cliente “ $i$ ”. Esta carga será um valor positivo nos locais de embarque e o mesmo valor, porém negativo, nos locais de desembarque;
- $[e_i, l_i]$  - intervalo de tempo de embarque do cliente na sua origem e  $[e_{n+i}, l_{n+i}]$  é o intervalo de tempo de desembarque em seu destino;
- $s_i$  - representa a duração do serviço de embarque ou desembarque de um cliente num determinado ponto;
- $T_k''$  - indica o tempo máximo de duração da rota associado ao veículo “ $k$ ”;
- $Q_k''$  - representa a quantidade de assentos disponíveis em cada veículo “ $k$ ”;
- $R_i''$  - representa o tempo máximo em que cada cliente poderá permanecer no veículo antes de seu desembarque;

- $W_i''$  - representa o tempo máximo em que o veículo espera para início do serviço de embarque ou desembarque no ponto “ $i$ ”.
- Dados os locais referentes às garagens e pontos pertencente as requisições, tem-se  $t_{i,j}$  que representa o tempo de viagem e  $d_{i,j}$  que representa a distância entre os pontos “ $i$ ” e “ $j$ ”,  $\forall i, j \in N, i \neq j$ ;

Além destes parâmetros, são considerados alguns requisitos essenciais para que se obtenha uma solução válida para o problema. Estes requisitos são:

- A duração da rota para cada veículo  $k$  não deve exceder o tempo máximo permitido  $T_k''$ ;
- O tempo de viagem do cliente  $i$  não deve exceder o tempo máximo de viagem permitido  $R_i''$ ;
- O tempo de espera no local  $i$  não deve exceder o tempo máximo de espera permitido  $W_i''$ ;
- A capacidade  $Q_k''$  dos veículos não pode ser excedida em nenhum local;
- O início do serviço em todos os locais deve estar dentro dos intervalos pré-definidos.

A partir destas informações, são definidas as variáveis de decisão, conforme seguem:

- $A_i$  - é o horário de chegada do veículo no local “ $i$ ”, tal que:  $A_i = 0$ , se  $i \in G^-$  e  $A_i = D_{i-1} + t_{i-1,i}$ , se  $i \in \{P \cup U \cup G^+\}$ ;
- $D_i$  - é o horário de saída do veículo do local “ $i$ ”, tal que:  $D_i = 0$ , se  $i \in G^+$  e  $D_i = B_i + s_i$  se  $i \in \{P \cup U\}$  e  $D_i = B_i$  se  $i \in \{G^-\}$ ;
- $B_i$  - é o horário de início do serviço de embarque ou desembarque no local “ $i$ ”, tal que:  $B_i = D_i$  se  $i \in \{G^-\}$  e  $B_i = \max\{e_i, A_i\}$  se  $i \in \{P \cup U \cup G^+\}$ ;
- $Q_i$  - é a quantidade de assentos ocupados no veículo que atende o local “ $i$ ”, tal que:  $Q_i = 0$ , se  $i \in \{G^- \cup G^+\}$  e  $Q_i = Q_{i-1} + q_i$  se  $i \in \{P \cup U\}$ ;
- $R_i$  - é o tempo total de viagem em que cada pessoa permanece dentro do veículo antes do desembarque, tal que:  $R_i = B_{n+i} - D_i$ ;
- $W_i$  - é o tempo total em que os veículos ficam esperando para iniciar o embarque ou desembarque das pessoas no local “ $i$ ”, sendo:  $W_i = 0$  se  $i \in G^-$  e  $W_i = B_i - A_i$ ,  $i \in \{P \cup U \cup G^+\}$ ;
- $x_{i,j}^k$  - variável binária, onde  $x_{i,j}^k = 1$ , se o veículo “ $k$ ” faz o percurso entre os pontos “ $i$ ” e “ $j$ ” ou  $x_{i,j}^k = 0$ , caso contrário;

Desta forma, tem-se a seguinte formulação matemática, conforme Mauri e Lorena (2009):

Minimizar:

$$\omega_0 \sum_{k \in K} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} (d_{i,j} x_{i,j}^k) + \omega_1 \sum_{k \in K} \sum_{j \in P} x_{g_v^+, j}^k + \omega_2 \sum_{k \in K} (B_{g_v^+} - D_{g_v^-}) + \omega_3 \sum_{i \in P} R_i + \omega_4 \sum_{i \in \{P \cup U\}} W_i + \quad (4.1.1)$$

$$\beta_0 \sum_{k \in K} \max \{0, (B_{g_v^+} - D_{g_v^-}) - T_k''\} + \beta_1 \sum_{i \in P} \max \{0, R_i - R_i''\} + \beta_2 \sum_{i \in \{P \cup U\}} \max \{0, W_i - W_i''\} + \quad (4.1.2)$$

$$\beta_3 \sum_{k \in K} \max \{0, \left( Q_i \sum_{i \in \{P \cup U\}} \sum_{j \in \{P \cup U\}} x_{i,j}^k \right) - Q_k''\} + \beta_4 \sum_{i \in N} (\max \{0, e_i - B_i\} + \max \{0, B_i - l_i\}) \quad (4.1.3)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j \in \{P \cup \{g_v^+\}\}} x_{g_v^+, j}^k = 1 \quad \forall k \in K \quad (4.1.4)$$



$$\sum_{i \in \{U \cup \{g_v^-\}\}} x_{i, g_v^+}^k = 1 \quad \forall k \in K \quad (4.1.5)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in \{P \cup U\}} x_{i, j}^k = 1 \quad \forall i \in P \quad (4.1.6)$$

$$\sum_{j \in \{P \cup U\}} x_{i, j}^k - \sum_{j \in \{P \cup U \cup \{g_k^+\}\}; j \neq n+i} x_{n+i, j}^k = 0 \quad \forall k \in K; i \in P \quad (4.1.7)$$

$$\sum_{j \in \{P \cup U \cup \{g_v^-\}\}; j \neq n+i} x_{j, i}^k - \sum_{j \in \{P \cup U\}} x_{i, j}^k = 0 \quad \forall k \in K; i \in P \quad (4.1.8)$$

$$\sum_{j \in \{P \cup U\}} x_{j, i}^k - \sum_{j \in \{P \cup U \cup \{g_v^+\}\}; j \neq n-i} x_{i, j}^k = 0 \quad \forall k \in K; i \in U \quad (4.1.9)$$

$$B_j = (B_i + s_i + t_{i, j} + W_j) \sum_{k \in K} x_{i, j}^k \quad \forall i, j \in N \quad (4.1.10)$$

$$Q_j = (Q_i + q_j) \sum_{k \in K} x_{i, j}^k \quad \forall i, j \in N \quad (4.1.11)$$

$$A_i = B_i - W_i \quad \forall i \in \{P \cup U \cup G^+\} \quad (4.1.12)$$

$$D_i = B_i + s_i \quad \forall i \in \{P \cup U \cup G^-\} \quad (4.1.13)$$

$$R_i = B_{n+i} - D_i \quad \forall i \in P \quad (4.1.14)$$

$$A_{g_v^-} = D_{g_v^+} = Q_{g_v^-} = Q_{g_v^+} = W_{g_v^-} = 0 \quad \forall k \in K \quad (4.1.15)$$

$$A_i, B_i, W_i, D_i, Q_i \quad \text{irrestritas} \quad \forall i \in N \quad (4.1.16)$$

$$R_i \quad \text{irrestritas} \quad \forall i \in P \quad (4.1.17)$$

$$x_{i, j}^k \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in N; \forall k \in K \quad (4.1.18)$$

A função objetivo está dividida em duas partes, sendo o termo (4.1.1) que visa minimizar os requisitos não-essenciais do problema e os termos (4.1.2) e (4.1.3) que minimizam os requisitos essenciais.

Os requisitos não-essenciais que compõem a expressão (4.1.1) são identificados, respectivamente, como: a distância total percorrida pelos veículos em cada rota; o número de veículos utilizados nas rotas; o tempo total de duração das rotas; o tempo total de viagem dos clientes nas rotas desde o embarque até o desembarque e o tempo total de espera dos veículos em cada local. Enquanto que, os requisitos essenciais que compõem as expressões (4.1.2) e (4.1.3) representam, respectivamente: o tempo que viola o tempo máximo de duração das rotas para cada veículo; o tempo total que excede o tempo máximo de viagem permitido para os clientes; o tempo total que excede o tempo máximo de espera permitido para os veículos em cada local; o excesso na capacidade de cada veículo e o total de tempo que excede as janelas de tempo.

Além disso, estes requisitos são penalizados por dois vetores de números inteiros positivos de forma que seja possível determinar a “importância” de cada requisito da função objetivo para a solução do problema e impossibilite que soluções inválidas sejam encontradas. Os requisitos não-essenciais devem ser penalizados pelo vetor  $\omega = [\omega_0, \omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4]$  e os requisitos essenciais por outro vetor semelhante  $\beta = [\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4]$ .

As restrições (4.1.4) e (4.1.5) asseguram, respectivamente, que cada veículo deve sair da garagem de origem e chegar à garagem destino uma única vez; A restrição (4.1.6) garante que cada cliente é atendido uma única vez; A restrição (4.1.7) garante que um local de embarque estará sempre na mesma rota de seu local de desembarque; As restrições (4.1.8) e (4.1.9) garantem a contenção do fluxo nos veículos, ou seja, o número de pessoas que entram é igual ao número que saem dos veículos; A restrição (4.1.10) representa o horário de início do serviço, o tempo de espera do veículo e o veículo que atende o local; A restrição (4.1.11) determina para cada local a quantidade de pessoas que devem entrar ou sair do veículo; As restrições (4.1.12) e (4.1.13) asseguram, respectivamente, o cálculo dos horários de chegada e

saída nos locais atendidos; O tempo máximo de viagem permitido para cada cliente nos veículos é definido pela restrição (4.1.14); A restrição (4.1.15) inicializa as variáveis referentes às garagens de origem e destino; A restrição (4.1.16) garante a existência e que seja binária a variável de decisão “ $x$ ” que define se o veículo faz o percurso entre os pontos  $i$  e  $j$ ; A garantia de que as demais variáveis sejam irrestritas é definida pelas restrições (4.1.17) e (4.1.18).

Em relação ao estudo de caso apresentado neste trabalho, num primeiro momento, tem-se como foco realizar a programação dos veículos da EaD analisando apenas os custos operacionais (distância percorrida, tempos de viagem, número de veículos), ou seja, os requisitos não-essenciais do problema. Para tanto, os requisitos essenciais que avaliam a qualidade do serviço, segundo Mauri e Lorena (2009), devem receber uma penalização maior, pois não serão considerados no problema.

O modelo matemático apresentado está sendo adaptado ao estudo de caso, seguindo os passos da metodologia.

## 5. METODOLOGIA

A metodologia para desenvolvimento deste trabalho foi dividida em algumas etapas, descritas a seguir:

- 1ª Etapa - Estudo dos problemas de roteamento e dos problemas do tipo *dial-a-ride*, características dos problemas, bem como métodos de solução e trabalhos relacionados (em fase de conclusão);
- 2ª Etapa - Mapeamento dos municípios, das possíveis rotas e coleta de dados da logística da EaD com informações sobre os horários que normalmente ocorrem as visitas aos polos e como são organizados os roteiros;
- 3ª Etapa- Estudo e análise detalhada do modelo desenvolvido por Mauri e Lorena (2009), bem como os métodos utilizados na implementação;
- 4ª Etapa – Construção do modelo computacional para o estudo de caso, baseando-se nas técnicas utilizadas no modelo referido na etapa anterior;
- 5ª Etapa – Realização de testes computacionais para validação do modelo e análise dos resultados.

Nesta metodologia, as etapas 1 e 2 estão em fase de conclusão e as etapas 3 e 4 estão em desenvolvimento. A aplicação do *Simulated Annealing* e das heurísticas de distribuição e programação citadas em Mauri e Lorena (2009), com algumas adaptações, também serão utilizadas no modelo que está sendo desenvolvido.

## 6. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma proposta de construção de um modelo computacional para a programação de veículos de um problema real do tipo *dial-a-ride* baseado num modelo matemático existente na literatura. Apesar de não estar concluído, a expectativa é de construir um modelo que encontre boas soluções para o problema apresentado, contribuindo para melhorar a organização da logística da EaD em menor tempo computacional e de forma dinâmica, ou seja, que as rotas resultantes possam ser alteradas conforme a necessidade, a qualquer momento.

Além disso, este estudo apresenta contribuições para a pesquisa operacional, pois a organização da logística da EaD na FURG surge como uma aplicação real do PRV do tipo DARP com características diferenciadas dos demais problemas encontrados na literatura. O estudo que está sendo desenvolvido poderá ser aplicado em outros ramos dentro da pesquisa operacional, como por exemplo, na programação de veículos de empresas de transporte de carga, na programação de aviões ou helicópteros para o transporte de pessoas, na programação de ônibus de empresas do transporte intermunicipal ou interurbano, entre outras.

Como resultados preliminares, têm-se a execução de algumas das etapas apresentadas na metodologia, tais como: a realização do mapeamento dos polos, coleta de informações sobre a organização atual da logística da EaD, coleta das informações geográficas referentes a cada ponto do mapeamento utilizando o *Google Earth*, estudo preliminar dos modelos de PRV *dial-a-ride* e trabalhos relacionados presentes na literatura e implementação parcial das heurísticas a serem utilizadas no modelo para este problema.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABED. *Associação Brasileira de Educação a Distância*, disponível em: <[http://www2.abed.org.br/noticia.asp?Noticia\\_ID=275](http://www2.abed.org.br/noticia.asp?Noticia_ID=275)>, acessado em 10/10/2011.
- Arakaki, R. G. I. *O problema de roteamento de veículos e algumas metaheurísticas*. Monografia, INPE, 1998.
- Bodin, L.; Golden, B.; Assad, A.; Ball, M. *Routing and scheduling of vehicles and crews: The state of the art*, (pg. 10 (2) de 63 à 212), 1983.
- Cordeau, J. F. *A branch-and-cut algorithm for the dial-a-ride problem*. *Operations Research*, V. 54, n. 3, p. 573-586, 2006.
- Cormen, T. H.; Leiserson, C. E.; Rivest, R. L.; Stein, C. *Algoritmos: teoria e prática*. Tradução da 2ª edição americana. Rio de Janeiro, Elsevier. 2002.
- Dantzig, G. B.; Ramser, J. H. *The truck dispatching problem*. *Management Science*, 6:80–91. 1959.
- Goldberg, M. C.; Luna, H. P. *Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos*. Campus, Rio de Janeiro, 2000.
- Haidemann, H. P. *O problema dial-a-ride estático: estudo de caso para o transporte escolar*. Dissertação de Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2007.
- Kaiser, M. S. *Aplicação de metaheurística híbrida na resolução do problema dial-a-ride*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes. UFRJ, Rio de Janeiro, 2009.
- Kirkpatrick, S. *Optimization by Simulated Annealing*. *Revista Science*. V.220, N.4598, p.671-680, 1983.
- Laporte, G. *The vehicle routing problem: an overview of exact and approximate algorithms*. *European Journal of Operational Research*, v. 59, n° 3, p. 345-358, 1992.
- Lima, I. X. A. *Algoritmo para problemas de roteamento de veículos com entrega e coleta*. Dissertação de Mestrado em Computação, UFF. Niterói, 2009.
- Mauri, G. R.; Lorena, L. A. N. *Uma nova abordagem para o problema dial-a-ride*. *Produção*, v. 19, n° 1, p. 041-054. 2009.
- Netto, P. O. B. *Grafos, Teoria, Modelos, Algoritmos*. 4ª edição. Ed. Blucher, São Paulo, 2006.
- Znamensky, A.; Cunha, C. B. *Um modelo para o problema de roteirização e programação do transporte de deficientes*. In: Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 1999, São Carlos. Anais. São Carlos: ANPET, p. 59-62, 1999.