

# PROGRAMAÇÃO INTEGRADA DE VIAGENS E VEÍCULOS A PARTIR DE UMA FROTA PRÉ-DETERMINADA

Tatiana Cunha de Mello<sup>1</sup> e Sylvain Fournier<sup>2</sup>

<sup>1</sup>tatianademello@gmail.com - UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. Campus Reitor João David Ferreira Lima, s/n. 88040-900 Trindade, Florianópolis - SC  
<sup>2</sup>sylvain@wplex.com.br - WPLEX Software Ltda. Rod SC 401, 8600 Corporate Park bloco 5 sala 101. 88050-000 Santo Antônio de Lisboa, Florianópolis - SC

## 1- Resumo

Várias empresas de transporte urbano confeccionam o quadro horário dos ônibus em função da **disponibilidade de seus veículos** para cada linha da rede de transporte, e não em função da demanda de passageiros. Isso pode ser explicado pelo fato que essa demanda, em alguns casos é desconhecida ou difícil de estimar, como no caso de trechos compartilhados entre várias empresas concorrentes. Essas empresas precisam manter um nível de serviço elevado, maximizando o número de viagens diárias e fazendo **uso máximo da frota disponível** em cada período do dia. Também é necessário manter um **espaçamento temporal (ou “headway”) regular** entre saídas de ônibus consecutivas no mesmo terminal para não prejudicar a operação e diminuir o tempo médio de espera do passageiro no ponto.

A WPLEX Software, no seu sistema de programação WPLEX-ON, desenvolveu uma **heurística gulosa** definindo os horários de cada viagem e horários de soltura (da garagem) e recolhida de cada veículo, em função da frota disponível em alguns horários do dia. Alguns indicadores foram desenvolvidos e levados em consideração para avaliar o desempenho do algoritmo juntamente com o resultado gerado pelo usuário de forma manual.

## 2- A programação integrada de viagens e veículos

Nesse problema bem conhecido, o objetivo é determinar os horários das viagens no dia de operação e fazer a alocação de cada uma dessas viagens a um veículo da frota. Outras abordagens, como Fournier (2010), utilizam como dados de entrada a demanda estimada de passageiros. Aqui, vamos considerar uma **frota pré-determinada** por horário e tentar maximizar o número de viagens obedecendo esse limite, ou seja:

- A partir de uma frota máxima definida;
  - Gerar uma oferta máxima estabelecendo um **quadro horário** de viagens,
  - Definir a programação dos carros para atender essas viagens.
- As outras dificuldades que enfrentamos são as seguintes:
- Manter variações pequenas no **headway** (ou diferença de tempo entre duas partidas consecutivas do mesmo terminal),
  - Escolher os horários de soltura e recolhida de cada veículo para não prejudicar muito as variações de headway.

Para isso, no sistema WPLEX-ON, além de cadastrar um tempo de viagem para cada faixa horária do dia e por sentido (ida e volta), o usuário define um conjunto de horários com uma frota ideal em cada horário definido, conforme o exemplo dado na tabela 1.

Tabela 1: Definição da frota ideal para alguns horários específicos

Horário	04:30	07:30	10:30	14:00	17:00
Quantidade de ônibus	1	7	7	3	1

Uma solução ao problema descrito acima, confeccionada manualmente, pode ser vista na figura 1.

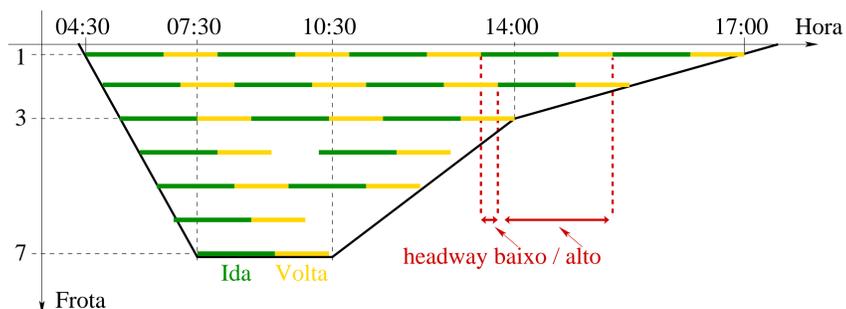


Fig. 1: Neste exemplo, as restrições de limite de frota nos horários definidos são atendidas. Porém as variações de headway das últimas viagens são muito grandes, o que dificulta a operação na prática.

## 3- Determinação dos horários de partida das viagens

O nosso algoritmo guloso é baseado na definição de um **headway “ideal”**, gerando um por um o horário de partida das viagens. O cálculo desse headway ideal é feito utilizando a seguinte fórmula:  $h(t) = \frac{d(t)}{N(t)}$  onde:

- $h(t)$  é o **headway** no horário  $t$ ,
- $d(t)$  a **duração** de uma dupla de viagens ida e volta com a ida iniciando no horário  $t$ , e
- $N(t)$  é o **número de ônibus** calculado por interpolação no horário  $t$  a partir dos dados de entrada na forma descrita na tabela 1.

Essa tabela é transformada em função escada conforme o exemplo na figura 2.

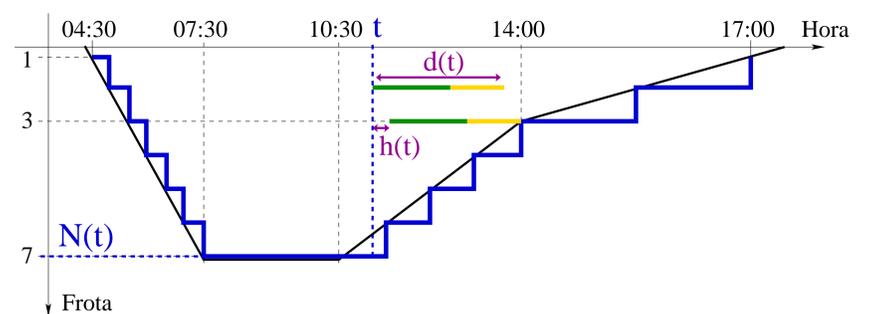


Fig. 2: O cálculo do número de ônibus a cada horário é dado por uma função escada definida a partir dos dados de entrada para garantir solturas e recolhidas regulares para os veículos.

Seja  $t_i$  o horário de partida da última dupla de viagens ida-volta  $i$  gerada pelo algoritmo. Para calcular o horário de partida  $t_{i+1}$  da próxima viagem, consideramos a duração da última dupla de viagens  $d(t_i)$ . No caso geral,  $t_{i+1}$  é definido simplesmente da seguinte forma:  $t_{i+1} = t_i + \frac{d(t_i)}{N(t_i)}$ .

Em caso de tempo de viagem ( $d(t)$ ) variável ao longo do dia, precisamos ter certeza que a nova viagem poderá se encaixar na programação do veículo correspondente. Por exemplo, se no horário  $t$ , o número de viagens sendo realizadas (iniciadas e ainda não finalizadas) for exatamente  $N(t)$ , nenhuma viagem poderá começar antes que uma das viagens em andamento termine.

## 4- Resultados

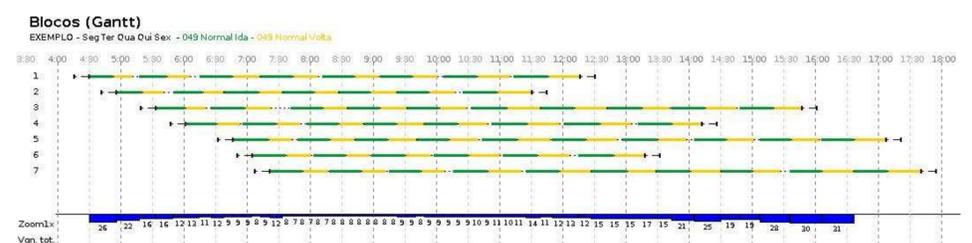


Fig. 3: Resultado obtido pela geração no sistema WPLEX-ON em uma linha com duração de viagem variável ao longo do dia. O headway é bem equilibrado e os limites de frota definidos na tabela 1 são atendidos.

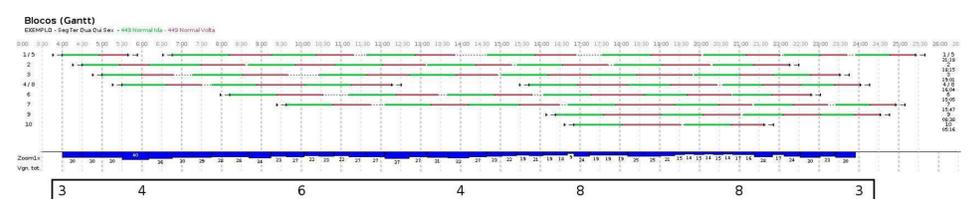


Fig. 4: Neste outro exemplo de programação em outra linha com duração de viagem maior, utilizou-se outros limites de frota conforme a tabela de entrada apresentada abaixo do gráfico de Gantt.

## 5- Bibliografia

### Referências

- Ceder, A. (2007). *Public Transit Planning and Operation: Theory, modelling and practice*. Oxford (United Kingdom): Elsevier, Butterworth-Heinemann.
- Ceder, A. (2009). Public-transport automated timetables using even headways and even passenger load concepts. Auckland (New Zealand).
- Fournier, S. (2010). Dedicated heuristic for a back-and-forth single-line bus trip timetabling problem. In *Anais do 42 SBPO*. Bento Gonçalves - RS.
- van den Heuvel, A. P. R., van den Akker, J. M. and van Kooten Niekerk, M. E. (2008). Integrating timetabling and vehicle scheduling in public bus transportation. Technical Report UU-CS-2008-003, Utrecht University, The Netherlands.