

---

# **AVALIAÇÃO DA OPERAÇÃO DE SISTEMAS DE VEÍCULOS LEVES**

## **SOBRE TRILHOS COM O EMPREGO DE SIMULAÇÃO: ESTUDO DE CASO DO PROJETO VLT-RIO**

**Angelo Francisco Martins Gonçalves  
Walter Porto Junior**

Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ  
Programa de Engenharia de Transportes - PET / COPPE  
Caixa Postal 68.512 - Cidade Universitária - Rio de Janeiro, R.J. - BRASIL - CEP 21.945-970  
Tel: (55) (21) 270-3697 - Fax: (55) (21) 290-6626

Companhia Brasileira de Trens Urbanos - CBTU  
Superintendência de Planejamento e Orçamento - SUPLA  
Estr. Velha da Tijuca, 77 - Usina - Rio de Janeiro, R.J. - BRASIL - CEP 20.531-080  
Tel: (55) (21) 575-3150 ou 575-3151 - Fax: (55) (21) 208-1747

### **RESUMO**

O objetivo deste trabalho é o de demonstrar a aplicação do modelo SIMVLT, para avaliar diferentes políticas operacionais, propostas para o Sistema VLT-RIO. Este sistema foi projetado para o corredor transversal T5, no trecho Madureira - Cidade de Deus, na cidade do Rio de Janeiro, com 9,6 km de vias duplas em superfície, com direito segregado de circulação.

As principais características do modelo SIMVLT são: abordagem microscópica para o movimento dos veículos; avanço do tempo por eventos; consideração de diferentes técnicas de controle semafórico nas interseções; e de interferências aleatórias, de pedestres e de veículos rodoviários, na operação dos VLT's. O modelo SIMVLT foi desenvolvido em linguagem Turbo Pascal e roda em microcomputadores do tipo PC/486.

As diversas simulações realizadas permitiram a avaliação de algumas medidas de desempenho da operação do Sistema VLT-RIO, quando submetido a diferentes freqüências, tipos de veículos, técnicas de controle semafórico, padrões de demanda, procedimentos nas estações; e intensidades das interferências aleatórias.

A análise comparativa dos resultados evidenciou um inicio de saturação na operação do sistema, para "headways" em torno de 2 minutos, caracterizado pela possibilidade de realização de apenas 90% das partidas programadas e por uma pequena redução na velocidade comercial em praticamente todos os casos simulados.



## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a partir dos anos 70, os planejadores de transporte público passaram a buscar soluções de baixo custo, para atender aos corredores de média capacidade, com demandas entre 15.000 e 30.000 passageiros por hora por sentido [phs]. Inicialmente as políticas formuladas para o setor recomendaram esquemas especiais para os sistemas de ônibus. Em alguns corredores contando com: - vias segregadas; - veículos articulados; - baias nos pontos de parada; - semáforos atuados; e - operação em comboio, ofertas até 15.000 [phs] foram alcançadas, com custos de implantação bem inferiores aos dos sistemas convencionais sobre trilhos.

No final dos anos 80, em função da saturação dos corredores de ônibus, os sistemas de veículos leves sobre trilhos - VLT's passaram a ser recomendados como a melhor alternativa para substituir os sistemas de ônibus nos corredores com demandas superiores a 15.000 [phs]. Em 1988 a EBTU - Empresa Brasileira de Transportes Urbanos, sugeriu a implantação de 36 sistemas de VLT's, em 21 cidades, até o ano 2.000. A partir dessa orientação, diversos estudos técnicos (viabilidade, projeto básico e final) já foram desenvolvidos, para mais de 25 corredores de cidades brasileiras.

Apesar do grande número de sistemas de VLT's propostos, muito poucos obtiveram uma solução para a viabilização dos recursos necessários a sua implantação. Alguns dos fatores que contribuíram para a descontinuidade da política preconizada foram: - as barreiras impostas ao financiamento do setor público; - a própria extinção da EBTU; - a forte tradição rodoviária brasileira; - as limitações impostas às concessões para a iniciativa privada; e - a falta de experiência dos órgãos públicos para o planejamento e a gestão dos transportes urbanos (Gonçalves e Castro, 1995).

A operação de um sistema de VLT's em superfície, apresenta características especiais, quando comparada com a dos sistemas ferroviários tradicionais, devido a possibilidade de interação entre os VLT's e os veículos rodoviários, ao longo da via ou apenas nas interseções; e devido a grande variedade de geometrias, tipos de controle do tráfego e condições operacionais encontradas num mesmo sistema (Tighe et al., 1989).

Como nos demais modos de transporte urbano, a operação dos sistemas de VLT's também está sujeita a um grande número de processos estocásticos, tais como: - a chegada de passageiros nos pontos de parada; - o deslocamento dos veículos ao longo das vias; os tempos de parada para embarque e desembarque nas estações e - os tempos de espera nas interseções.

Esse grande número de fatores aleatórios, bem como as características especiais da operação, acarretam uma série de irregularidades no desempenho do sistema. A aleatoriedade presente na operação torna praticamente inviável o uso de uma abordagem determinística para a análise da mesma, especialmente no caso da operação com freqüências elevadas, com até 40 composições por hora, conforme proposto em alguns projetos de VLT's no Brasil (Gonçalves, 1994).

Desde o início da década de 80 a técnica de simulação vem sendo utilizada na análise da operação de sistemas de VLT's em superfície e têm se mostrado adequada para a avaliação de diferentes políticas operacionais e seus impactos no trânsito urbano.(Gonçalves e Portugal, 1994).



A partir destas considerações, o presente trabalho tem por objetivo aplicar o simulador SIMVLT, para avaliar diferentes políticas operacionais, propostas para o Sistema VLT-RIO. O referido simulador foi desenvolvido para a análise do desempenho de sistemas de VLT's, operando em vias segregadas (interação com o tráfego rodoviário apenas nas interseções) ou exclusivas; com condução do tipo manual/visual; com controladores de semáforos de tempo fixo ou atuado; e submetidos a possíveis interferências de pedestres e veículos rodoviários.

## 2 O MODELO DE SIMULAÇÃO SIMVLT

### 2.1 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO MODELO

O Quadro 1 apresenta as principais características de quatro modelos de simulação da operação de sistemas de VLT's, que serviram de referência no processo de desenvolvimento do modelo SIMVLT.

**Quadro 1 - Características dos Modelos de Simulação da Operação de Sistemas de VLT's**

| Nome do Modelo         | TRAMS              | QUEEN                 | ESIM                  | BUSWAY             | SIMVLT             |
|------------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|
| Desenvolvimento        | 1981 / 85          | 1987                  | 1987                  | 1993               | 1995               |
| Local de Aplicação     | Melbourne          | Toronto               | Delaware              | Túnis              | Rio de Janeiro     |
| Corredor               | Diversos           | Queen Street          | Sharon Hill           | Linha Sul          | Corredor T5        |
| Abordagem              | Microsc.           | Microsc.              | Microsc.              | Microsc.           | Microsc.           |
| Configuração (Vias)    | Partilhada         | Partilhada            | Partilhada            | Reservada          | Segregada          |
| Nr. Eventos / Estados  | 40 Eventos         | 6 Estados             | 8 Estados             | Não se aplica      | 9 Estados          |
| Avanço do Tempo        | Por Eventos        | Cada 5 [seg]          | Por Eventos           | Cada 1 [seg]       | Por Eventos        |
| Linguagem              | Fortran 77+        | Fortran 77            | N. D.**               | Fortran e C        | Turbo Pascal       |
| Hardware               | N. D.**            | Vax                   | N. D.**               | 486                | 486                |
| Animação Gráfica       | Disponível         | Não possui            | Não possui            | Disponível         | Não possui         |
| Interf. Tráfego Rodov. | Ger. Aleat.        | Ger. Aleat.           | Não simula            | Não simula         | Ger. Aleat.        |
| Interf. Pedestres      | Não simula         | Ger. Aleat.           | Não simula            | Não simula         | Ger. Aleat.        |
| Controle Interseções   | Prioridade         | Tempo Fixo            | Tempo Fixo*           | Prioridade         | Prioridade         |
| Observações:           | Ampla<br>Aplicação | Aplicação<br>Reduzida | Aplicação<br>Reduzida | Em Desenvolvimento | Em Desenvolvimento |

\* Adição de janelas de tempo de 5 seg. na fase vermelha para os VLT's.

\*\* N. D. = Não disponível nas referências bibliográficas encontradas.

O modelo TRAMS - "Transit Route Animation and Modelling by Simulation" (Vandebona e Richardson, 1985) foi aplicado para avaliar: - a concessão de prioridade para os VLT's; - alternativas de projeto dos veículos; - diferentes estratégias de bilhetagem; - o uso de pontos de controle da circulação ao longo da rota; e - a introdução de veículos articulados na operação.

O modelo QUEEN (Miller e Bunt, 1987), desenvolvido especificamente para o corredor da Queen Street, foi aplicado para investigar os impactos na regularidade do serviço, decorrentes da adoção de estratégias de reversão dos bondes em pontos da via antes dos terminais.

O modelo ESIM - "Easy Simulator" (TDA, 1987) foi empregado para avaliar os reflexos dos atrasos na operação dos bondes sobre os posteriores.



O modelo BUSWAY (Lindau et al, 1983), foi adaptado, a partir de uma versão que simulava a operação de comboios de ônibus em corredores exclusivos, para simular a operação de sistemas de VLT's, e sua aplicação teve como objetivo avaliar o impacto de diversos fatores sobre a velocidade comercial.

Uma análise comparativa das características dos modelos previamente desenvolvidos com o modelo SIMVLT, mostra que este é o único que considera simultaneamente a interferência dos veículos e pedestres na operação dos VLT's; e a modelagem de diversas técnicas de atuação dos semáforos, sendo esses aspectos julgados importantes no contexto brasileiro, onde se pretende que os sistemas de VLT's atinjam capacidades superiores às dos sistemas atualmente em operação.

De uma forma geral, o Modelo de Simulação SIMVLT se baseia no cálculo dos tempos gastos no trajeto de cada VLT, através dos arcos sucessivos da rota. Esses tempos podem ser classificados em cinco tipos: - **tempos se deslocando nos arcos;** - **tempos de serviço nas estações;** - **tempos desacelerando/parando nas interseções;** - **tempos de serviço nos terminais;** e - **tempos perdidos com interferências de pedestres e veículos rodoviários.**

O **avanço do tempo** da simulação se dá por eventos, processados individualmente e em ordem cronológica, através da consulta a uma lista com os horários de previsão da ocorrência dos próximos eventos. Diversos blocos, chamados de **processadores de eventos**, atualizam os dados e fazem uma previsão dos horários dos eventos futuros. Estes blocos estão relacionados com o movimento dos veículos; a mudança dos padrões de oferta e demanda; e o controle dos semáforos.

Para simular detalhadamente o operação do sistema durante qualquer período, o Modelo SIMVLT precisa de uma série de **dados de entrada**, com informações sobre: a geometria da via; as formas de controle semafórico; a performance dos veículos; a política operacional adotada; a demanda e a oferta; e as interações dos pedestres e veículos rodoviários. Além destes dados referentes ao sistema, também são necessários dados referentes à simulação propriamente dita. Quanto aos **dados de saída**, são gerados dois tipos de relatórios, contendo estatísticas de algumas medidas de efetividade, para cada período simulado e para o total dos períodos da simulação realizada. O programa de simulação foi desenvolvido na **linguagem** Turbo Pascal, versão 7.0 e como '**hardware**', emprega microcomputadores PC/486.

Para simular os atrasos sofridos pelos VLT's em função da interferência da circulação de veículos (cruzamentos e giros à esquerda); e de pedestres (travessias), o modelo emprega procedimento semelhante ao adotado no modelo QUEEN, gerando aleatoriamente a eventualidade de ocorrência e a intensidade desta interferência, de acordo com uma dada distribuição de probabilidades, fornecida como dado de entrada.

Na modelagem, o sistema consiste de um circuito em via simples, que vai de uma estação terminal a outra, passando por estações intermediárias. Em cada estação, passageiros embarcam no VLT se o mesmo não estiver lotado, e permanecem até as respectivas estações de destino. Os VLT's não podem realizar ultrapassagens e entram e saem de circulação apenas pelos terminais extremos. A oferta pode variar durante a operação, mediante o uso de comboios simples duplos ou triplos, ou

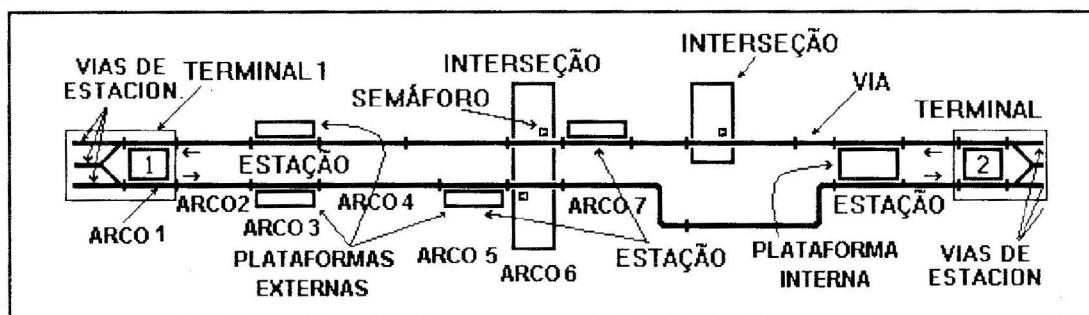


mediante variação na programação do "headway". A condução do veículo é do tipo manual/visual, ou seja, depende completamente do julgamento e habilidade do piloto.

A chegada dos passageiros nas estações é gerada de acordo com uma distribuição de probabilidade específica (Poisson) e com base nas taxas médias, extraídas da matriz O-D do padrão de demanda em vigor. Os destinos dos passageiros também são gerados aleatoriamente, de acordo com freqüências extraídas da matriz O-D.

O direito de circulação das vias pode ser segregado ou exclusivo. No caso de vias segregadas, o sistema tem interseções com o tráfego rodoviário, que podem ser apenas sinalizadas ou semafORIZADAS, neste caso permitindo o uso de controladores com tempos fixos, multiplanos ou atuados pelos próprios VLTs.

A figura 1 apresenta um diagrama esquemático da modelagem, onde são usados arcos para representar as vias; as estações, os terminais e as interseções. Os semáforos para controle do tráfego nas interseções e a sinalização da via dos VLT's também são representados em detalhe. A divisão da via em arcos fica a critério do usuário, que procurará identificar os trechos com características geométricas homogêneas.



**Figura 1 - Diagrama Esquemático da Modelagem**

## 2.2 COMPONENTES DO MODELO SIMVLT

O programa do Modelo SIMVLT é composto por vários blocos e rotinas. A lógica de funcionamento do programa em si e as relações entre os seus principais componentes são apresentadas esquematicamente na figura 2. O texto encaminhado a seguir contém breves informações sobre os principais blocos e rotinas. Uma descrição mais detalhada destes pode ser encontrada em trabalho anterior (Gonçalves e Portugal, 1995).

Os **blocos de dados** leem os dados de entrada e a partir destes geram novos dados que serão necessários durante a simulação. O **bloco de inicialização** estabelece as condições iniciais dos arcos, dos semáforos, dos padrões de oferta e de demanda, e ainda despacham o primeiro VLT de cada terminal. O **bloco gerenciador de eventos** compara os horários dos próximos eventos previstos, seleciona o primeiro e encaminha a simulação para o correspondente processador de eventos.



Os **blocos processadores de eventos** são responsáveis pelo avanço dos VLTs através dos diferentes tipos de arcos e pelas alterações nas fases e nos planos semafóricos e nos padrões de demanda e oferta. Estes blocos também são responsáveis pela previsão dos horários dos próximos eventos.

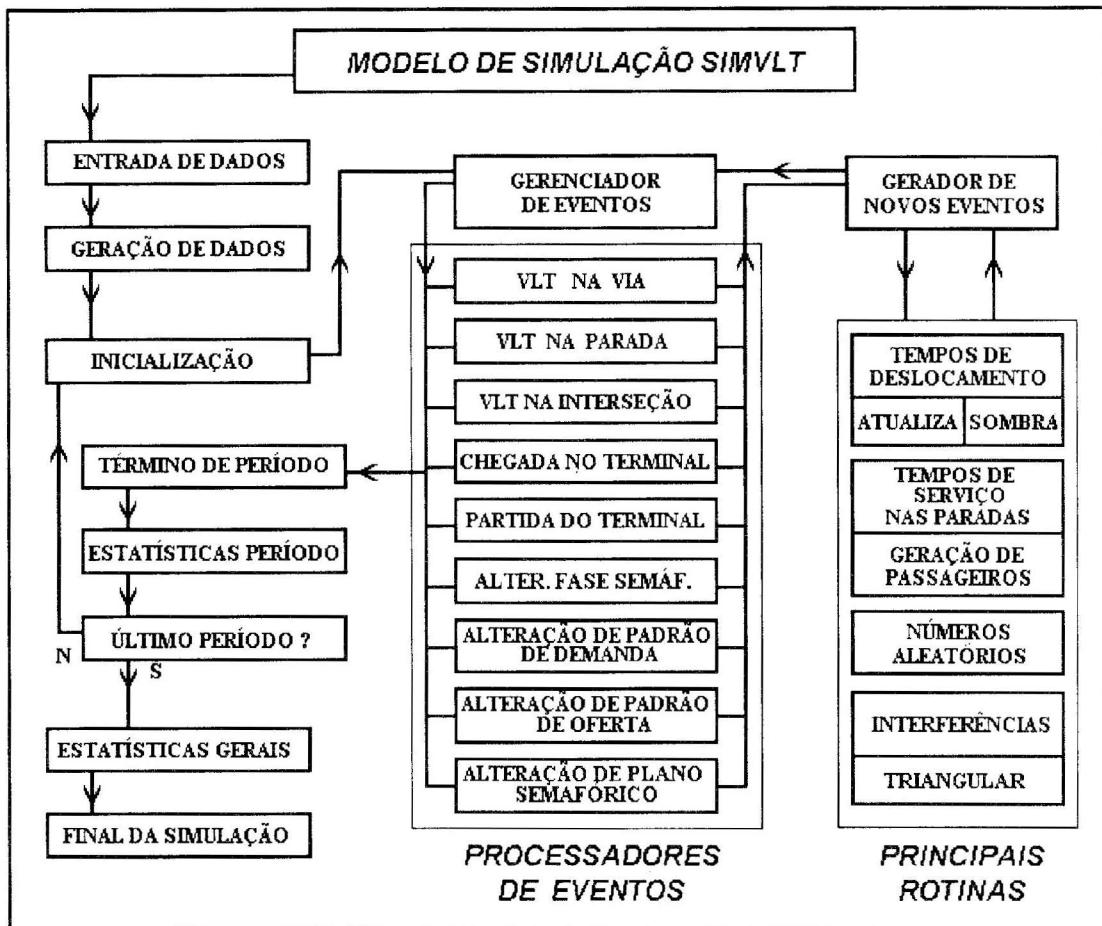


Figura 2 - Fluxograma Simplificado do Modelo SIMVLT

A **rotina tempos de deslocamento** é acionada antes de cada avanço do VLT para o próximo arco do sistema. O procedimento de cálculo define se o tempo de duração do movimento em questão vai ou não sofrer atraso. Quando os deslocamentos são efetivamente realizados, as **rotinas atualiza e sombra** são acionadas para atualizar a posição do VLT e calcular o tempo de liberação do arco anterior.

A **rotina tempos de serviço na parada** é acionada para determinar o tempo de parada mínimo, quando um VLT chega em uma estação. Essa rotina emprega, para cada tamanho de composição, uma equação linear múltipla, em função do número de passageiros a embarcar, desembarcar e da lotação em pé. Este tipo de equação já foi adotada na linha Verde do VLT de Boston (Lin e Wilson,



1992). Para o cálculo do número de passageiros a embarcar e a definição das estações de destino, o modelo aciona a **rotina geração de passageiros**, que por sua vez aciona o **rotina números aleatórios**.

A **rotina interferência** gera a velocidade máxima admissível que o VLT pode desenvolver momentaneamente num dado arco, quando se trata da interferência de pedestres, ou gera um tempo adicional de parada numa interseção, quando se trata da interferência de veículos rodoviários cruzando a via. Esses valores são determinados a partir de distribuições de probabilidades triangulares, com o emprego da **rotina triangular**, a partir dos valores máximo, mínimo e mais provável, que são fornecidos como dados de entrada do programa. A rotina triangular também se utiliza da rotina números aleatórios.

O **bloco término de período** encerra a simulação, após a chegada nos terminais de destino, dos últimos VLT's programados para cada direção. O **bloco estatísticas do período** calcula médias e desvios padrão de algumas medidas de desempenho, tais como tempos de viagem; velocidade comercial; passageiros transportados etc. Todas as estatísticas levantadas são consolidadas num relatório de saída do período. Após a simulação do último período, de forma análoga, o bloco de estatísticas gerais é acionado, gerando um outro relatório, com as médias e desvios de alguns indicadores para todos os períodos simulados.

### **3 A SIMULAÇÃO DO SISTEMA VLT-RIO**

#### **3.1 O PROJETO VLT-RIO**

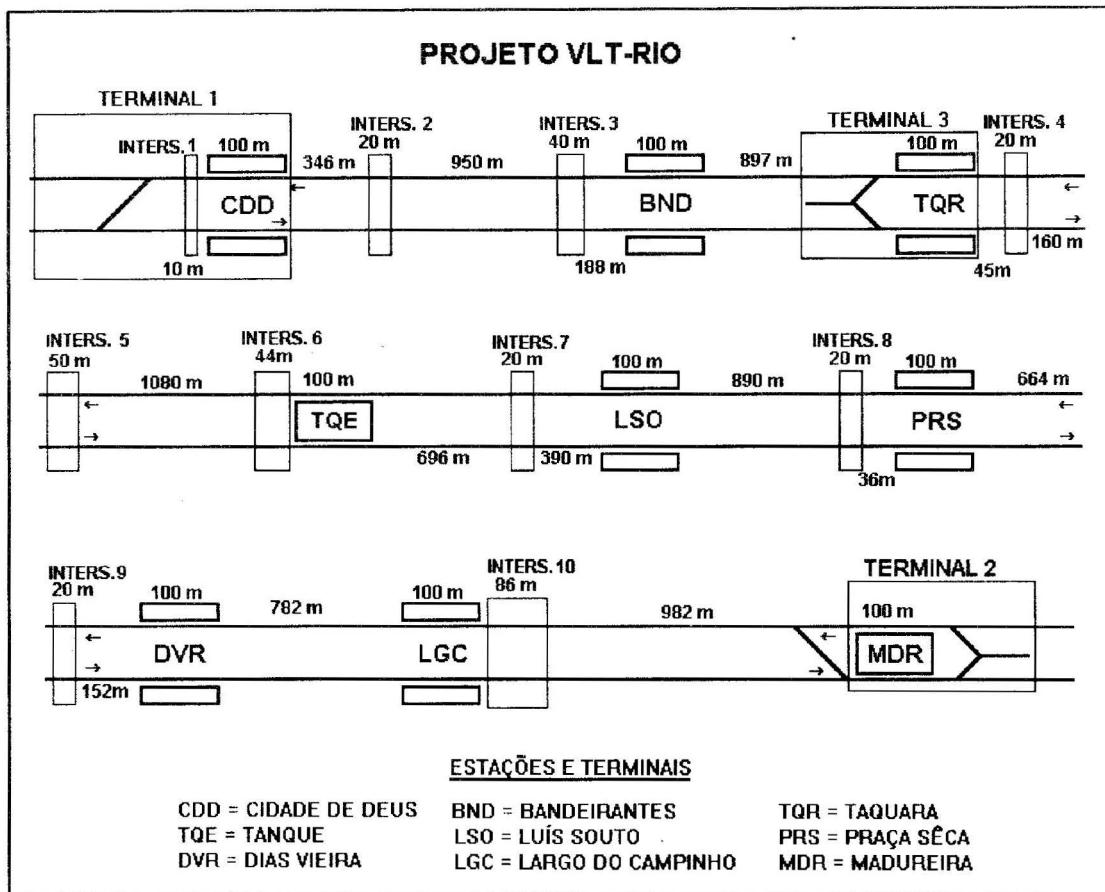
O sistema VLT-RIO foi projetado para o Corredor Transversal T5, no trecho Madureira - Cidade de Deus, na Cidade do Rio de Janeiro. O projeto básico foi concluído em novembro de 1990 e sofreu revisões até julho de 1994. A viabilização da implantação do sistema se encontra sob responsabilidade da Secretaria Municipal de Transportes - SMTR, a qual vêm realizando gestões para a licitação de contrato do tipo B. O. T. ("built, operate and transfer").

As principais características técnicas do projeto são: - extensão de 9,6 km de vias duplas, na sua maioria (92 %) em superfície, com direito segregado de circulação; rampa máxima de 2,9 % e raio mínimo de 50 m;- 6 estações e 3 terminais, com acesso controlado, possibilitando embarques em nível e bilhetagem fora do veículo; - 11 interseções com o tráfego rodoviário, contando com semáforos atuados; e - condução manual / visual, com emprego de "Automatic Warning System".

O traçado do sistema VLT-RIO liga Madureira, um dos principais centros comerciais do município, com o bairro de Jacarepaguá, área de maior crescimento habitacional da cidade, e apresenta a singularidade de ser um importante corredor transversal, na rede de transportes do Rio de Janeiro, onde os principais corredores existentes são radiais. A demanda foi estimada em 317.000 passageiros por dia útil [pdu] já em 1996, crescendo até 500.000 [pdu] no ano 2020. A figura 3 apresenta um esquema da modelagem adotada para representar o Sistema VLT-RIO.



As especificações técnicas para as licitações do fornecimento dos veículos e sistemas estabeleceram os seguintes limites: - comprimento máximo de 100 [m] para unidades múltiplas; - veículos para bióla de 1600 [mm], motores mono ou bi-articulados com capacidade de carregamento de 900 passageiros; - velocidade máxima de 80 [km/h]; - taxas mínimas de aceleração inicial e de frenagem em serviço de 1.0 [m/s<sup>2</sup>]; e captação de energia via rede aérea, com tensão de 750 [volts]. Para as interseções estão sendo especificados semáforos atuados, concedendo prioridade para os VLTs, porém respeitando um tempo mínimo de fase verde para o tráfego rodoviário.



**Figura 3 - Modelagem do Projeto VLT-RIO**

A política operacional a ser adotada prevê um tempo mínimo de parada de 30 [seg] nas estações. Numa primeira fase os headways programados são de 3 [min], entre Madureira (MDR) e Taquara (TQR), e de 6 [min] entre Taquara (TQR) e Cidade de Deus (CDD). Numa segunda fase esses valores passarão a 2 e 4 [min] respectivamente. Os veículos serão injetados e retirados de circulação apenas nos dois terminais extremos, porém em maior número no terminal Cidade de Deus, por este se encontrar próximo das oficinas e do pátio de manutenção.

### 3.2 AS ALTERNATIVAS SIMULADAS

As simulações realizadas permitiram a avaliação de algumas medidas de desempenho da operação do Sistema VLT-RIO e tiveram como referência a Alternativa 0 (zero), com a situação operacional mais favorável. As demais alternativas simuladas possibilitaram uma análise comparativa de outras políticas operacionais, associadas ao uso de diferentes: - veículos; - técnicas de controle semafórico; - formas de avaliar os tempos de serviço nas estações; - padrões de demanda; e - intensidades de interferências aleatórias.

Para a Alternativa 0, os valores assumidos pelos principais parâmetros nas simulações foram os seguintes: - Padrão de Demanda: 18.000 [phs], sendo 70 % (12.600 [phs]) na direção de pico; - Padrão de Oferta: composição com 3 veículos e headways de 6, 5, 4, 3 e 2 [min]; - Características do veículo: - capacidade para 900 passageiros, com 16.7 % sentados; - taxa de frenagem de serviço de 1.2 [m/s<sup>2</sup>]; taxas de aceleração de 1.175 [m/s<sup>2</sup>] para velocidades entre 0 e 40 [km/h], de 0.775 [m/s<sup>2</sup>] para velocidades entre 40 e 50 [km/h], de 0.475 [m/s<sup>2</sup>] para velocidades entre 50 e 60 [km/h], de 0.275 [m/s<sup>2</sup>] para velocidades entre 60 e 70 [km/h] e de 0.175 [m/s<sup>2</sup>] para velocidades entre 70 e 80 [km/h]; - Expressão para o cálculo do tempo mínimo de serviço nas paradas (TSP), para unidade tripla:  $TSP [\text{seg}] = 10 + 0,25 \times NPEMB + 0,30 \times NPDES + 0,10 \times MPPCP$ ; sendo: NPEMB = número de passageiros embarcando na estação; NPDES = número de passageiros desembarcando na estação; e MPPCP = número médio de passageiros em pé na chegada e na partida da estação; - Tempo mínimo de serviço nas paradas e terminais de 30 [seg]; - Interseções com semáforos atuados pelos VLT's; - Operação apenas entre os terminais extremos (CDD e MDR), sem interferências de pedestres e de veículos rodoviários; e - Simulações de 30 períodos, com 3 horas de duração cada.

Os outros seis casos simulados consideraram as seguintes alterações em relação à Alternativa 0:

Alternativa 1: Interferências de pedestres: - probabilidade de ocorrência = 20 % (em todos os arcos, exceto nos terminais); - parâmetros da distribuição triangular para a velocidades máxima no arco, dados em percentuais da velocidade máxima permitida em operação normal: - máximo = 100 %; mínimo = 25 % e mais provável = 75 %. Interferência de veículos rodoviários: - probabilidade de ocorrência = 20 % (apenas nos arcos do tipo interseção); - parâmetros da distribuição triangular para a tempo de parada na interseção: - máximo = 20 [seg]; mínimo = 0 [seg] e mais provável = 5 [seg];

Alternativa 2: Interseções controladas por semáforos com tempos fixos com: - ciclos de 60 [seg], com tempos de verde e de vermelho efetivo igual a 30 [seg];

Alternativa 3: Operação com VLT's Cobrasma, com as seguintes características: - taxas de aceleração de 0.910 [m/s<sup>2</sup>] para velocidades entre 0 e 40 [km/h], de 0.660 [m/s<sup>2</sup>] para velocidades entre 40 e 50 [km/h], de 0.400 [m/s<sup>2</sup>] para velocidades entre 50 e 60 [km/h], de 0.250 [m/s<sup>2</sup>] para velocidades entre 60 e 70 [km/h], e de 0.150 [m/s<sup>2</sup>] para velocidades entre 70 e 80 [km/h];



Alternativa 4: Uso da seguinte expressão, para estimar maiores tempos de serviço nas paradas, no caso de unidades com 3 veículos:

$$\text{TSP [seg]} = 15 + 0,25 \times \text{NPEMB} + 0,35 \times \text{NPDES} + 0,15 \times \text{MPPCP};$$

Alternativa 5: Padrão de Demanda 33 % maior, com 24.000 [phs], sendo 70 % (16.800 [phs]) na direção de pico;

Alternativa 6: Combinação das Alternativas 1 e 2, ou seja, ocorrência de interferências de pedestres e de veículos rodoviários em conjunto com o emprego de semáforos de tempos fixos.

Além dessas alternativas, no início das simulações também foram realizadas algumas corridas com o simulador SIMVLT, que demonstraram que o projeto dos terminais apresentavam um número insuficiente de posições para o estacionamento das composições, entre as operações de chegada (desembarque) e partida (embarque), especialmente no caso da operação com headway de 2 [min]. Em função deste fato, em todas as alternativas simuladas, foi considerado um número mínimo de 8 posições para o estacionamento.

### **3.3 RESULTADOS OBTIDOS: ANÁLISE COMPARATIVA E CONCLUSÕES**

A análise comparativa aqui realizada se baseou em duas medidas de desempenho: - a velocidade comercial média, na direção do pico matinal (CDD-MDR); e o cumprimento da tabela horária na partida dos terminais.

No quadro 2 são apresentados os valores encontrados para a velocidade comercial, e no gráfico 1 estão desenhadas as curvas de velocidade comercial em função do headway, para todas as alternativas simuladas. Uma breve análise do gráfico evidencia que a velocidade se mantém praticamente constante para a operação com headways de 6 a 3 [min] e diminui para headway de 2 [min], na maioria das alternativas simuladas.

**Quadro 2 - Velocidade Comercial na Direção de Pico [km/h]**

| Casos Simulados                    | Headways [min] |      |      |      |      |
|------------------------------------|----------------|------|------|------|------|
|                                    | 6              | 5    | 4    | 3    | 2    |
| Caso Básico                        | 33.7           | 33.8 | 33.8 | 33.5 | 32.7 |
| Interferência Pedestres e Veículos | 31.5           | 31.5 | 31.6 | 31.2 | 30.2 |
| Semáforos com Tempos Fixos         | 31.1           | 31.2 | 30.9 | 31.3 | 31.6 |
| Operação com VLT's Cobrasma        | 33.4           | 33.3 | 33.3 | 33.1 | 32.0 |
| Tempos de Parada Maiores           | 30.0           | 30.0 | 30.0 | 30.0 | 28.7 |
| Demandas Maiores                   | 33.5           | 33.5 | 33.5 | 33.5 | 32.1 |
| Semáforos T.F. + Interfer. P e V.  | 29.8           | 29.7 | 29.8 | 29.5 | 29.3 |

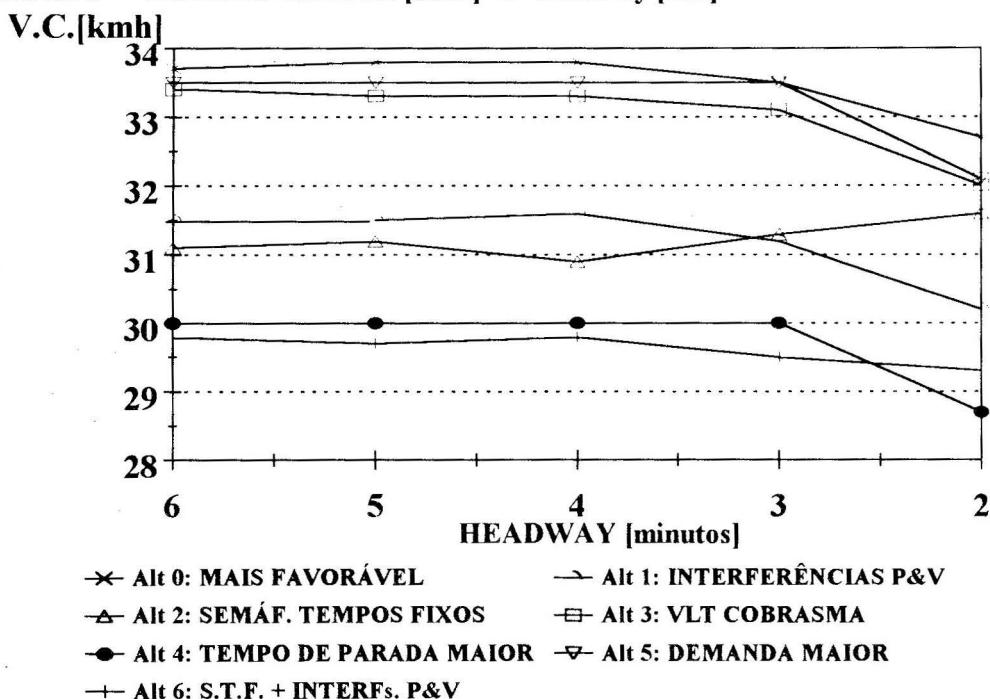


Em relação à alternativa 0, as alternativas 4 e 6 apresentaram menores velocidades comerciais devido ao aumento dos tempos perdidos com as paradas nas estações (alt. 4) e devido ao uso de semáforos com tempos fixos e à interferência aleatória de pedestres e de veículos (alt. 6).

Em todas as alternativas simuladas a programação foi cumprida quando o sistema estava operando com headways entre 6 e 3 minutos, enquanto que, com headways de 2 minutos, apenas 90 % da mesma foi cumprida. Devido aos atrasos sofridos durante a viagem, a chegada dos veículos nos terminais fica irregular, a ponto de nem sempre haver veículo disponível para realizar as partidas no horário programado.

Para esta configuração física do Projeto VLT-RIO e para as alternativas operacionais especificadas, os resultados evidenciaram um início de saturação na operação do sistema, para "headways" em torno de 2 minutos. No entanto, isto não é suficiente para se afirmar que este sistema não poderá operar satisfatoriamente com headways de 2 minutos ou até menores, uma vez que pequenas alterações na configuração física, em particular nos terminais, e pequenas mudanças na política operacional, poderão ser testadas, visando-se a eliminação dos gargalos e a racionalização da operação atual.

**Gráfico 1 - Velocidade Comercial [km/h] x Headway [min]**



## 4 CONCLUSÕES

A aplicação do Modelo SIMVLT ao Projeto VLT- RIO serviu para demonstrar como a técnica de simulação se constitui numa ferramenta importante para analisar a operação de sistemas de VLT's



em superfície, assim como para avaliar o grande número de alternativas de configurações físicas, de políticas operacionais e de formas de controle das interseções, encontradas nesses sistemas.

A análise comparativa dos resultados obtidos nas simulações realizadas contribuiu para destacar a complexidade das relações existentes entre os eventos que ocorrem na operação de um sistema de VLT's, especialmente nas configurações com vias apenas segregadas, e evidenciou que esses sistemas só poderão atingir capacidades elevadas, mediante a racionalização de seu projeto e de sua operação.

Apesar da consistência dos resultados encontrados na aplicação do modelo SIMVLT no Projeto VLT-RIO, observa-se que o mesmo ainda requer a validação de alguns de seus blocos e rotinas, com base na confrontação dos dados gerados na simulação com dados levantados na operação real de um sistema de VLT's em superfície, o que não foi possível em função da configuração dos em vias exclusivas dos únicos sistemas até hoje implantados no Brasil (Pré-metrô de Rio de Janeiro e VLT de Campinas).

Como desenvolvimento futuro do modelo SIMVLT e de sua aplicação ao Projeto VLT-RIO, estão sendo previstas: - a possibilidade de simulação da operação com terminais intermediários, tal como proposto no trecho Taquara - Madureira; - a avaliação de outras configurações físicas, com menor número de interseções e com outro layout para o pátio dos terminais; e - a ampliação do número de alternativas simuladas, de forma a permitir uma análise de sensibilidade mais abrangente.

## REFERÊNCIAS

Gonçalves, A. F. M. (1994) Modelagem de Simulador para a Operação de Sistemas de Veículos Leves Sobre Trilhos em Superfície. **Anais do VIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes**, Vol II, ANPET, Recife, Brasil, 463 - 474, Novembro 1994.

Gonçalves, A. F. M. e Castro, C. S. (1995) Considerações sobre a Implantação de Veículos Leves sobre Trilhos no Brasil - Parte 2. **Anais do III Congresso Internacional de Transportes Metropolitanos Sobre Trilhos**, ABNT - Comitê Brasileiro Metro-Ferroviário, Fortaleza, Brasil, Maio 1995.

Gonçalves, A. F. M. e Portugal, L. S. (1994) A Avaliação da Operação de Sistemas de VLT's e de Seus Impactos para a Circulação Viária. **Memorias del VII Congresso Latino Americano de Transporte Público**, Tomo 1, Buenos Aires, Argentina, 7-11, November 1994.

Gonçalves, A. F. M. e Portugal, L. S. (1995) VLT: A Simulation Model to Evaluate Light Rail Transit Operation on Separated Right-of-Way. **7th World Conference on Transport Research**, Sydney, Austrália, Julho 1995

Lin, T. M. e Wilson, N. H. M. (1992) Dwell Time Relationships for Light Rail Systems. **Transportation Research Record 1361**, 287-295.



Lindau, L. A., Michel, F. D. e Kürnh, F. (1993) Aplicação do Modelo Busway na Simulação do VLT da Tunísia. **Anais do VII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes**, ANPET, São Paulo, Brasil, 22-26, November 1993.

Miller, E. J. e Bunt, P. D (1987) A Simulation Model of Shared Right-of-Way Streetcar Operations. **Annual Meeting of the Transportation Research Board**, January 1987.

TDA - Transportation and Distribution Associates, Inc. (1987) Media / Sharon Hill Productivity Study. **Report No. UMTA-PA-09-0120-87-1**, Urban Mass Transportation Administration, Washington, DC.

Tighe, W. A., Fehon, K. J. e Coffey, P. L. (1989) Operational Analysis of At-Grade Light Rail Transit. **Special Report 221**, Transportation Research Board, Washington, DC.

Vandebona, U. e Richardson, A. J. (1985) TRAMS: Transit Route Animation and Modelling by Simulation. **Journal of Advanced Transportation 19(2)**, 153-177.

