

ANÁLISE PROSPECTIVA DA CAPACIDADE DE PROCESSAMENTO DE CARGA EM UMA LINHA FERROVIÁRIA SINGELA

Celane Néry de Oliveira Batista

João Alexandre Widmer

Escola de Engenharia de São Carlos

Universidade de São Paulo

RESUMO

Com o recente processo de privatização, as ferrovias brasileiras estão recebendo maiores investimentos. Apesar dos problemas de infra-estrutura ainda existentes, percebe-se o aumento gradativo da participação do modal ferroviário na matriz de transportes do Brasil. O objetivo da dissertação é analisar a influência das restrições de infra-estrutura na capacidade de processamento de carga através de uma linha singela. Para alcançar este objetivo, propõe-se desenvolver um modelo simplificado que identifique os parâmetros da geometria da via e das condições da superestrutura que impõem limites às velocidades das composições ferroviárias. A partir da velocidade média em cada arco, diagramas espaço-tempo serão elaborados para a análise do fluxo dos veículos e para a determinação da capacidade útil da ferrovia. O modelo será empregado num trecho da malha ferroviária do estado de São Paulo, contribuindo como fonte de subsídios para decisões de gerenciamento operacional e alocação de futuros investimentos efetivados nas ferrovias.

ABSTRACT

The Brazilian railroads have been receiving larger investments due to the recent privatization. Although facing many infrastructural problems, the railroad system has increased its participation in the Brazilian transport matrix. The objective of the dissertation is to analyze the influence of infra-structural restriction on the capacity of cargo processing through a single track railway. In order to reach this goal, a simplified model which is able to identify track geometric and superstructure parameters which limit the speed of the railroad compositions is proposed. Based on the calculus of the average speed in each arc, space-time diagrams will be elaborated to calculate the flow of vehicles and determine the useful railroad capacity. The model will be applied a segment of the Sao Paulo State railway, supporting operational management and investment allocation decisions to be accomplished by the railroad operators.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com os dados da Associação Nacional de Transporte Ferroviário-ANTF, de 1997 até 2003, o volume de carga transportada pela ferrovia cresceu 34%, saltando de 138 para 186 bilhões de toneladas quilômetro útil (TKU). As projeções dos técnicos apontam para um volume de 270 bilhões de TKU em 2008, o que representará um crescimento de 45% na produção, podendo chegar a 57% com o incremento de recursos da União. Hoje, cerca de 85% da carga transportada por ferrovias no Brasil está vinculada às exportações.

A pesquisa em questão destaca-se por abordar um problema estratégico crítico de um dos mais importantes setores de serviço do país. O crescimento do setor ferroviário está fazendo com que o modal, altamente competitivo para grandes volumes a longas distâncias, aumente cerca de 1% ao ano a sua participação na matriz de transportes. Assim este trabalho justifica-se pela carência de estudos sobre o transporte ferroviário de carga no Brasil e pela necessidade de avançar em pesquisas que investiguem a sua real capacidade de processamento.

O movimento dos trens na linha férrea é uma atividade básica que ocorre dentro desse sistema de transporte. Nos modelos que representam a movimentação dos trens, sejam de capacidade ou de operação ferroviária, a velocidade dos trens constitui, além de um dado de entrada, um elemento fundamental que exerce influência considerável sobre os resultados. Na literatura, alguns modelos como Rallis (1977), Assad (1980), Janic (1984, 1988) e Kraft (1983) foram

elaborados com foco na determinação das capacidades máximas e práticas de uma linha férrea.

O conhecimento da capacidade do sistema ferroviário é um instrumento fundamental tanto no gerenciamento operacional como no norteamto de decisões sobre investimentos a serem efetivados em ferrovias. Nos simuladores de capacidade, os valores de velocidade incorporados são geralmente calculados através de um simulador de marcha específico, conhecido como *Train Performance Calculator* (TPC). É o caso do modelo computacional de análise de capacidade de Ramsey *et al.* (1986) e do modelo de avaliação de desempenho ferroviário de Smith *et al.* (1997), entre outros. O TPC exhibe a trajetória no espaço-tempo, permite o uso de paradas na simulação e calcula diretamente, a partir das características do trem e da geometria da via, o tempo mínimo de percurso e o consumo de combustível do trem circulando pela linha.

2. OBJETIVOS

Esta pesquisa tem como objetivo propor um modelo para avaliar a capacidade prática, ou seja, o número máximo de trens de carga que pode circular durante um determinado intervalo de tempo, em ambos os sentidos de uma linha singela, sujeito às restrições físicas e operacionais atuais assumindo como premissa que os locais dos desvios são fixos e possuem comprimento suficiente para a alocação do trem.

Aplicar o modelo paramétrico de capacidade elaborado, caracterizando de forma específica um trecho laboratório da malha ferroviária que atravessa o estado de São Paulo, principal corredor de exportação do Brasil e responsável por grande volume de produtos movimentados em direção ao porto de Santos.

3. MÉTODO PROPOSTO

A capacidade de uma linha ferroviária depende da infra-estrutura da via, das instalações fixas (pátios e terminais) e sua localização ao longo da via, do material rodante disponível e do sistema de controle de tráfego de trens empregado.

3.1 Estrutura do modelo

A linha ferroviária singela será representada por um conjunto de trechos compostos por arcos. Cada arco_j une dois pátios de cruzamento adjacentes, chamados de nó_i. Estes nós são compostos por, ao menos, por duas linhas férreas: a linha principal, que é uma continuação da linha entre os nós, e a linha de cruzamento, conhecida como desvio. Cada desvio_k do nó_i somente será ocupado por uma composição por vez. Estas composições serão denominadas unidades. Os arcos são divididos em segmentos s_n que permitem o tráfego de uma unidade por vez por sentido. Cada segmento s_n tem características físicas específicas que impõem um limite de peso por eixo dos vagões e locomotivas bem como a velocidade da unidade em função de restrições geométricas e/ou estruturais da via. Na Figura 1 tem-se a representação física dos componentes de um trecho ferroviário.

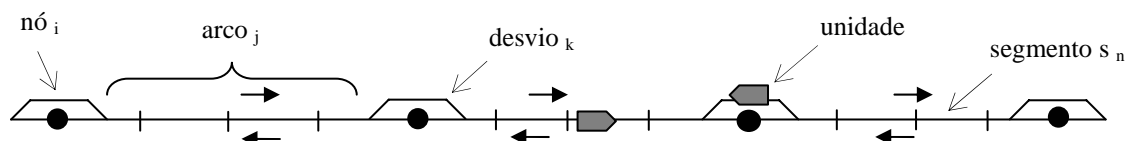


Figura 1: Representação dos componentes de um trecho ferroviário

3.2 Análise da capacidade

A capacidade de circulação do trecho ferroviário em um determinado intervalo de tempo, será determinada a partir da divisão do intervalo de tempo estipulado pelos tempos de viagem entre os desvios e o tempo mínimo de parada necessário nos cruzamentos. Conhecido o número de vagões do trem-tipo e sua lotação, será determinada a capacidade de transporte do trecho. Percebe-se, portanto, que dada uma geometria fixa dos desvios, a capacidade é inversamente proporcional ao tempo de viagem entre os desvios (Morlok, 1978). Assim o modelo aplicado conduzirá à identificação dos trechos de estrangulamento na linha. Com os diagramas espaço-tempo da Figura 2 observa-se que a redução da velocidade no arco_j faz com que os trens apresentem *headways* maiores, provocando uma diminuição na capacidade do sistema.

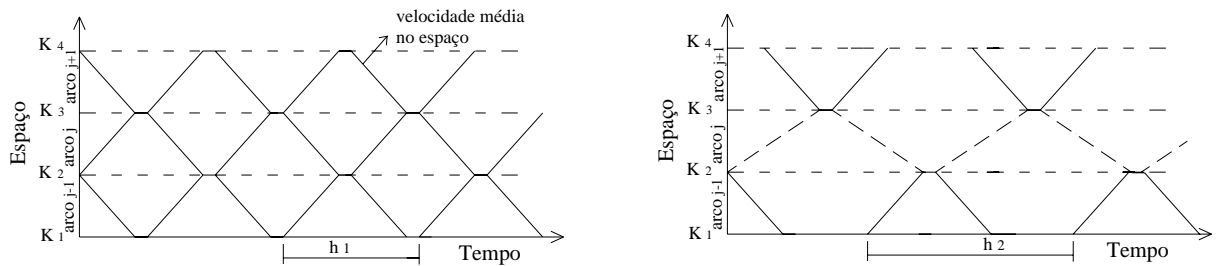


Figura 2: Análise da capacidade no diagrama espaço-tempo

3.3 Análise do desempenho dos trens em um trecho

Na Figura 3, observa-se a variação da velocidade do trem no arco_j em função das restrições de cada segmento s_n . Com o deslocamento e tempo total de percurso no arco_j encontra-se a velocidade média no espaço nesse arco. Esta velocidade é a velocidade utilizada no diagrama espaço-tempo.

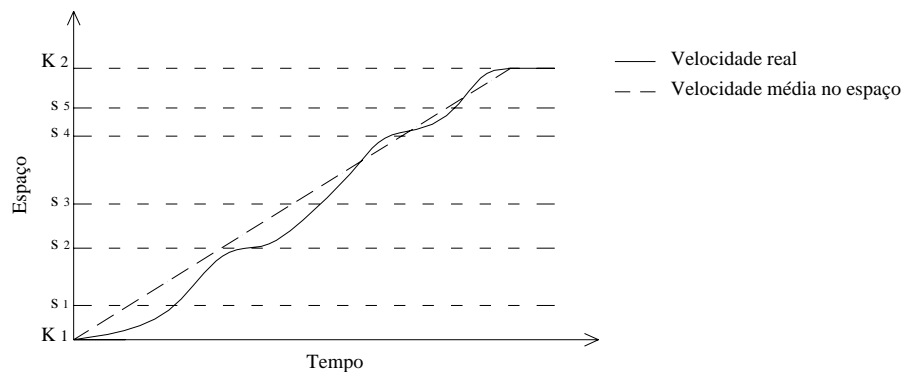


Figura 3: Desempenho do trem em um arco_j

A análise das variações da velocidade ao longo de um arco_j será feita com auxílio de um modelo de simulação de marcha, desenvolvido pela *Association of American Railroads-AAR* (AAR, 1993), que permitirá avaliar o desempenho dos trens no decorrer do percurso, a partir de um cenário determinado. Neste modelo serão considerados *inputs*:

- Determinação da composição ferroviária;
- Geometria da via;
- Resistência dos trens;
- Velocidades limites impostas pela geometria e infra-estrutura da via.

4. RESULTADOS ESPERADOS

Com a utilização da modelagem através do diagrama de espaço-tempo será possível determinar o número teórico médio de unidades que podem trafegar por unidade de tempo em cada arco; para uma dada condição operacional. Com a aplicação do modelo em um trecho real de ferrovia singela obter-se-á também a frequência de trens por dia, a velocidade desenvolvida por estes e o volume de carga teórico que é possível de ser transportado em cada arco do trecho considerado.

O modelo paramétrico permitirá determinar onde e quais fatores estão restringindo a capacidade de todo o sistema, tornando-o assim uma ferramenta de auxílio nas decisões de alocação de investimentos na ferrovia. Os pontos de gargalos poderão ser identificados, bem como os próximos gargalos que poderão surgir caso os primeiros tenham sido eliminados.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Cnpq) pela bolsa fornecida como auxílio a essa pesquisa.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ANTF (2005) – Associação Nacional de Transporte Ferroviário. Disponível em: <<http://www.antf.org.br>>. Acesso em: 20 fev. 2005.
- Assad, A. A. (1980) Models for rail transportation. *Transportation Research – A*, v. 14, p. 205-220.
- AAR (1993). *Train Energy Model Version 2.0 User's Manual (Version 2.5 Supplement)*. Association of American Railroads. Research and Test Department AAR Technical Center. Chicago, Illinois.
- Janic, M. (1984) Single track line capacity model. *Transportation Planning and Technology*, v. 9, p. 135-151.
- Janic, M. (1988) A practical capacity model of a single track line. *Transportation Planning and Technology*, v. 12, p. 301-318.
- Kraft, E. R. (1983) Jam capacity of single track rail lines. *Transportation Research Forum Proceedings*, v. 23, p. 461-471.
- Morlok, E. K (1978) *Introduction to Transportation Engineering and Planning*. International Student Edition. McGraw-Hill Kogakusha Ltda Tokyo, Japan, p. 767.
- Rallis, T. (1977) Intercity transport, engineering and planning. The McMillan Press Ltda, London and basingstoke, p. 232. Citado por Janic.
- Ramsey G. R. S.; Hutchinson B.G.; M. Asce e Rilett, L. R. (1986) Simplified Railroad Capacity Analysis Model. *Journal of Transportation Engineering*. V. 112, n. 4, p. 358-368.
- Smith, M. E.; Resor, R. R. e Patel, P (1997) Train Dispatching Effectiveness with Respect to Communications-Based Train Control. Quantification of the Relationship. *Transportation Research Record*. n. 1584. p. 22-30.

Endereço dos autores

Celane Néry de O Batista (celane@sc.usp.br)
 João Alexandre Widmer (widmer@sc.usp.br)
 Departamento de Transportes – Escola de Engenharia de São Carlos/USP
 Av Trabalhador São Carlense, 400 – Centro-CEP 135600-590 – São Carlos-SP
 Tel: (16) 3373-9601/9613
 Fax: (16) 3373-9602