

AVALIAÇÃO DOS PRINCIPAIS MÉTODOS ANALÍTICOS DE CÁLCULO DE CAPACIDADE DE TRÁFEGO UTILIZADOS EM FERROVIA

José Mauro Felipe Mendes Barros

Gerencia de Engenharia Ferroviária, Avenida Dante Micheline 5500, Vitória, ES

e-mail: jose.mauro.barros@vale.com

Resumo

À medida que os gestores ferroviários têm a necessidade de investir em aumento de capacidade de tráfego, é fundamental a identificação correta da atual capacidade da malha e do incremento necessário ao seu melhor desempenho. Além disto, tem o atendimento ao novo marco regulatório das ferrovias brasileiras, que tem no excedente de capacidade novo tratamento de negócio. Para o cálculo da capacidade de tráfego, é utilizada na maioria dos países parâmetros comuns tais como os tempos de licenciamento, de circulação e os tempos de intervenção programada de manutenção. Este artigo buscou na literatura os métodos analíticos, que são os amplamente utilizados, de cálculo de capacidade em dez países onde a ferrovia tem participação significativa na matriz de transporte. Os resultados identificaram que os tempos decorrentes dos eventos não programados, que tem relevante interferência na capacidade, são definidos empiricamente como fator de correção, oscilam de 0% a 40% ou, em alguns métodos, não são ao menos mencionados. Recomenda-se atenção no tratamento deste parâmetro, obtendo assim resultados de cálculos de capacidade mais qualificados que subsidiarão tomadas de decisões mais assertivas.

Palavras-Chaves: operação, tráfego, capacidade, eventos.

Introdução

As ferrovias mundiais, principalmente a do Brasil, estão passando por um novo ciclo de expansão de sua malha e desenvolvimento tecnológico. Vários esforços de engenharia foram e estão sendo feitos para o aprimoramento do modo ferroviário de carga e de passageiros. O grande desafio é a identificação das ações necessárias para a capacitação da ferrovia de absorver o aumento de demanda de transporte de forma cada vez mais competitiva, principalmente em relação ao modo rodoviário (Villaça, 2012).

Abril et al. (2008) associa a capacidade de transporte à capacidade de tráfego. Quanto maior for a capacidade de uma ferrovia de ter em sua malha uma quantidade maior de trens circulando dentro de condições operacionais de segurança e pontualidade pré-definidas, maior será o volume de carga e passageiros transportados. Apesar de existirem outros parâmetros que também colaboram para um volume maior de carga e de passageiros a exemplo do tamanho e capacidade dos

vagões, locomotivas, comprimento dos trens e outros, a capacidade de tráfego ou a quantidade máxima de trens circulando ou trafegando na malha ferroviária é o de maior relevância.

Para Rives et al. (1977) e Brina (1988), o termo “capacidade de tráfego” expressa o número de operações de tráfego que é possível ser realizada em uma linha férrea, durante um período de tempo. Ela dependerá de vários fatores, tais como: infra e superestrutura, padrão construtivo e de manutenção da linha, tecnologia de licenciamento, característica do material rodante (locomotiva e vagões), do nível de regularidade de fluxo e heterogeneidade dos trens. Estas são condições previsíveis e programadas.

Krueger (1999) utiliza diferentes definições para classificar os tipos de capacidade na avaliação do desempenho de um sistema ferroviário. Capacidade Teórica como sendo o número de trens que trafegam em uma rota, em um determinado período de tempo definido em condições ideais. A Capacidade Prática

reflete as condições de circulações considerando as adversidades como os diferentes tipos de trens cargueiros e de passageiros, com prioridades distintas, segundo o acúmulo de tráfego e outras condições do sistema, representa uma medida mais realista de capacidade. Capacidade Utilizada é a que representa o volume de tráfego e as operações realizadas de fato na linha ou rede ferroviária e, em geral, é menor que o valor da Capacidade Prática por diversos motivos tais como: atrasos no despacho dos trens nos terminais e pátios, atrasos decorrentes do volume de tráfego na via ou congestionamento, atrasos devido à eficiência dos equipamentos utilizados na operação, às restrições devido às condições climáticas e outros eventos não programados ou indesejáveis.

Estes eventos não programados mencionados a cima, são intrínsecos à gestão ferroviária, eles são decorrentes da complexa e grande variação do número de elementos que se correlacionam possibilitando o deslocamento do trem da origem ao destino de forma segura. Estes elementos ao longo do tempo passam por uma variação que levam a incertezas. Estas variações nos elementos ferroviários são decorrentes do desgaste natural ou provocado por condições adversas, tais como: variações climáticas, composição construtiva dos elementos apresentando anormalidade, aplicação de elementos ferroviários em estágios diferentes de desgastes, solicitação de carga ou de uso acima do originalmente previsto, uso inadequado e outros. Quando a variação ocorre passando limite de tolerância, ocorre o acidente ferroviário, provocando impactos significativos no sistema ferroviário.

Este artigo foi motivado pela importância da ferrovia para a melhoria da qualidade de vida e desenvolvimento do Brasil para os próximos anos, já que estão previstos fortes investimentos neste modo de transporte e decisões podem estar sendo tomadas em cima de uma base de dados imprecisa. Conforme o Ministério do Transporte (2012), a ferrovia brasileira tem uma projeção de expansão e reformulação de sua malha na ordem de 50%, com aumento em sua participação na matriz de transporte de cargas e de passageiros em 40%. Para a mobilidade urbana este modo de transporte é contemplado nos principais projetos das 15 maiores cidades brasileiras, com aumento de 213 km de via férrea, atendendo a mais de 53 milhões de pessoas. É um volume de

investimento muito alto que tem como fundamento de direcionamento de aplicação a definição da capacidade de tráfego, tanto para a ferrovia em operação quanto para aquela que será construída.

Esta pesquisa visa apresentar a tratativa dos métodos analíticos de cálculo de capacidade de tráfego ferroviário aos eventos não programados ou indesejáveis com definições empíricas, provocando resultados imprecisos e possibilitando tomada de decisões baseada em condições irreais. Além disto, este artigo busca levar à reflexão a comunidade científica, as concessionárias ferroviárias e, principalmente, os responsáveis pelos investimentos públicos e privados, quanto à necessidade de identificar e mensurar adequadamente os eventos não programados ou indesejáveis do método analítico de cálculo de capacidade de tráfego. Como objetivo específico deste artigo, destacam-se: (i) levantar na literatura os métodos analíticos utilizados no Brasil, Estados Unidos, Japão, Alemanha, UIC - União Internacional de Caminhos de Ferro, Inglaterra, Espanha, Itália, Rússia e Canadá; (ii) apresentar os métodos identificando os parâmetros intervenientes no cálculo; (iii) apresentar a tratativa dos métodos aos eventos não programados; (iv) análise qualitativa da tratativa dos métodos analíticos aos eventos não programados.

Os principais resultados apresentam a utilização de métodos sem o tratamento adequado, eles são definidos de forma empírica em alguns métodos, em outros não são ao menos mencionado. Esta situação pode levar a resultados imprecisos e, conseqüentemente, significar a não realização de um projeto ferroviário ou até mesmo a definição incorreta de investimentos para o aumento da capacidade de transporte.

Além da aplicação mencionada acima, outra aplicação veio para atendimento ao novo marco regulatório das ferrovias do governo brasileiro, através da Agência Nacional de Transporte Terrestre – ANTT (2012), que definiu que as concessionárias ferroviárias deverão identificar sua capacidade de tráfego atual e sua necessidade, a diferença ou capacidade ociosa será disponibilizada para uso a outras concessionárias ou outros usuários.

Para a realização desta pesquisa, a abordagem qualitativa foi a metodologia de escolha, por permitir um enfoque mais

individualizado, específico e compreensivo da realidade investigada. Primeiramente foi realizada revisão da literatura com o levantamento dos métodos analíticos e seus parâmetros. Foi identificado o tratamento aos eventos não programados pelos métodos.

Este trabalho está segregado em 3 seções, contando com esta introdução e revisão da literatura sobre capacidade de tráfego. Posteriormente, na seção 2, apresentam-se os resultados da pesquisa e discussão. Na seção 3 são apresentadas a conclusão e recomendação. Por fim, as referências bibliográficas no final do artigo.

1. Levantamento dos métodos analíticos de cálculo da capacidade de tráfego

Serão apresentados os resultados da pesquisa na literatura dos principais métodos utilizados em países onde o modo ferroviário é relevante na matriz de transporte, são apresentados seus parâmetros e o tratamento dados aos eventos não programados ou indesejáveis.

1.1. O método Japonês e seus parâmetros

É calculada a capacidade teórica, em seguida a prática, que é obtida pela inserção do fator de correção. O cálculo de capacidade teórica trabalha os parâmetros conforme Equação (1).

$$C_t = \frac{1.440}{km (t_{M_{max}} + \tau + 0,5 \cdot t_{M_{cr}}) + \sum (t_{ad} + t_{cr})k_i} \quad (1)$$

onde:

K_m = quantidade de trens de grupos inferiores, tais como trem de manutenção ou coletores, em relação a totalidade de trens no gráfico de circulação de trens;

$t_{M_{max}}$ = tempo de circulação máximo dos trens sem preferência ou de grupo inferior pelo trecho crítico, minutos;

τ = intervalo de tempo médio, em minutos na estação;

$t_{M_{cr}}$ = tempo de paralisação complementar médio para cruzamento de dois trens de grupo inferior em sentidos opostos, em minutos;

t_{ad} = tempo de paralisação complementar mínima de trem de grupo inferior por cruzamento, com outro trem de grupo mais elevado, em minutos;

t_{cr} = tempo de paralisação complementar mínima de trem de grupo inferior por

ultrapassagem, com outro trem de grupo mais elevado, em minutos;

k_i = porcentagem sobre o dimensionamento total da circulação considerando todos os grupos de trens, excluindo os trens de manutenção.

Para aplicação desta equação em via dupla, ela se simplifica conforme Equação (2):

$$C_t = \frac{1.440}{(t_{M_{max}} + \tau)km + \sum t_d \cdot K_i} \quad (2)$$

As paralisações complementares dos cruzamentos e adiantamento se recomenda o cálculo analiticamente, mediante fórmula que considera a quantidade de pátios que pode realizar esta operação.

O valor de "K", que é o coeficiente máximo de aproveitamento da capacidade teórica de tráfego, é determinado pela Equação (3).

$$k = 1 - \frac{k_1(T_1 - r_1) + k_2(T_2 + r_2) + k_3(T_3 + r_1 + r_2) + k_4(T_4 + r_1)}{1.440} \quad (3)$$

Onde:

k_1, k_2, k_3, k_4 = percentual de cada grupo de trens em relação à dimensão total de trens para circular;

T_1, T_2, T_3, T_4 = tempo de duração de períodos ao longo do dia inaplicáveis para a circulação de trens correspondente a determinados grupos de trens, em minutos;

r_1 e r_2 = tempo destinado a manutenção da via e outros eventualidades, sendo que para r_1 normalmente utiliza-se 5% do período de circulação do dia ($r_1 = 72$ minutos dia) para eventualidades e r_2 para manutenção da via permanente noventa minutos ($r_2 = 90$ minutos dia).

Para a definição da capacidade real ou efetiva, multiplica-se a capacidade teórica pelo coeficiente máximo de aproveitamento, Equação (4).

$$C_r = k C_t \quad (4)$$

1.2. Método Alemão e seus parâmetros

Este método calcula a capacidade real diária, a capacidade mínima, a capacidade/hora com margem de qualidade, a capacidade/hora sem margem de qualidade e o intervalo de tempos mínimos para realização de circulação sucessiva de trens.

Para a capacidade real diária considera-se a quantidade de trens que podem circular em um período de tempo por dia para suas 24 horas ou 1.440 minutos, considerando os distintos tipos de sucessões de trens, as categorias, as prioridades e os critérios de qualidade de serviço;

$$C = \frac{1.440}{(Z + r)} \quad (5)$$

Onde

C = capacidade de trens por dia;

Z = média ponderada dos intervalos de tempos entre trens;

r = margem de qualidade ou de precisão ou pontualidade programada.

Para a opção mínima, se define como capacidade de uma linha, as condições mais desfavoráveis, de forma que se potencializa a aleatoriedade dos tempos de percurso;

$$C_{min} = \frac{1.440}{(Z + r_{min})} \quad (6)$$

Onde:

C_{min} = capacidade de trafego mínimo nas condições mais desfavoráveis

Z = média ponderada dos intervalos de tempos entre trens

r_{min} = mínima margem da qualidade ou de precisão ou pontualidade

São estabelecidos os intervalos de tempo para todas as combinações possíveis de trens representados pelos protótipos de cada grupo ou categoria de trens.

1.3. Método UIC – União Internacional de Caminhos de Ferro e seus parâmetros

A UIC (1983) desenvolveu um estudo considerando as características das linhas das ferrovias internacionais e os respectivos cálculos e procurou desenvolver uma metodologia que fosse aplicada a qualquer ferrovia. Este método foi denominado UIC 405.

$$L = \frac{T}{t_{fm} + t_r + t_{zu}}$$

Onde:

L = capacidade de trafego em número de circulações em um trecho;

T = período de tempo de referencia;

t_{fm} = intervalo de tempo mínimo médio de sucessão de trens;

t_r = margem de regularidade, recomenda-se que seja 0,67 de t_{fm} para cálculo de capacidade diária e para cálculo de capacidade horária recomenda-se 0,33 de t_{fm} ;

t_{zu} = tempo suplementares;

O t_{zu} é definido seu calculo por meio da expressão " $t_{zu} = 0,25 a$ ", onde "a" é o número de seções da linha.

O período de referencia T se toma considerando às 24 horas do dia que corresponde a 1.440 minutos, obtendo a capacidade diária de trafego. Para cálculo da capacidade por hora, se considera 60 minutos.

1.4. Método Inglês e seus parâmetros

Cálculo de capacidade desenvolvido para as características de linha dupla, com bloqueio automático ou elétrico-manual.

No método Inglês, o valor de intervalo de sucessão médio de trens no tempo "H"-*headway* é definido conforme Equação (8).

$$H = \frac{T}{V}(\rho + p + x + d + s)$$

Onde:

V = velocidade dos trens no trajeto de estudo;

ρ = comprimento do trem;

p = distância de deslizamento admissível (overlap);

x = distância entre postos de bloqueio contínuos;

d = distância de frenagem;

s = distância de visualização dos sinais semafóricos.

Logo a capacidade de trafego nesse caso de bloqueio entre estações será conforme Equação (9).

$$C_1 = \frac{3.600 V}{(\rho + p + x + d + s)}$$

Fazendo $x = d$ (distância entre postos de bloqueio contínuos iguais à distância de frenagem), tem-se que a capacidade de trafego (7) para bloqueio automático de três indicadores, conforme Equação (10).

$$C_2 = \frac{3.600 V}{(\rho + p + s + 2d)}$$

Se a distancia de frenagem é em função da velocidade na relação de $d = K V^2$, demonstra

que existe um valor máximo da velocidade admissível, Equação (11).

$$V = \sqrt{\frac{(\rho + p + s)}{2k}}$$

Deve-se considerar a velocidade limite para a definição da capacidade. Para uma capacidade desejável C_2 a determinação das distancias entre sinais “y” é apresentado na equação 12.

$$C'_2 = \frac{3.600 V}{(\rho + p + s + 2y)} \quad (12)$$

O bloqueio de quatro sinais surgiu na Grã Bretanha como necessidade em função do aumento da demanda e um gráfico hidrogênio de trens em seu tipo e densidade. A separação dos trens consecutivos para este tipo de bloqueio levou a distância $x = d/2$. Conforme a Equação (13).

$$H = \frac{1}{V} \left(\rho + p + s + \frac{3d}{2} \right)$$

Analogamente, para uma capacidade necessária C_3 a separação (distância) entre os sinais z é determinada pela Equação (14).

$$C'_3 = \frac{3.600 V}{(\rho + p + s + 3z)} \quad (14)$$

1.5. Método Espanhol e seus parâmetros

O método consiste na integração de todos os tempos de ocupação do trecho crítico pelos distintos tipos de trens que circulam por uma ferrovia, de forma que não se supera o valor global de um determinado período.

Partindo de N_1 trens “impares” na Equação (15), onde n_i é o número de trens impares que ocuparam o trecho crítico.

$$\sum_{i=1}^n n_i = N_1 \quad (15)$$

E em sentido oposto “par” igualmente existirão n'_i trens que ocuparam o trecho crítico t'_i Equação (16).

$$\sum_{i=1}^n n'_i = N_2 \quad (16)$$

Somando $N_1 + N_2 = N_T$, temos o número total de trens em circulação na linha no trecho crítico.

Para a condição de que não se sobreponha o período de tempo definido, tem-se a Equação (17).

$$\sum_{i=1}^n n_i t_i + \sum_{i=1}^m n'_i t'_i + \sum_{i=1}^n n_i d_i + \sum_{i=1}^m n'_i d'_i \leq T \quad (17)$$

Na equação se indica os intervalos de estação para os trens i , com os valores τ_i e τ'_i (trens impar e par) e o tempo “T” global de período definido.

Outra forma de apresentar é pela Equação (18).

$$N_T < \sum_{i=1}^m (t_i + \tau_i) \frac{n_i}{N_T} + \sum_{i=1}^m (t'_i + \tau'_i) \frac{n'_i}{N_T} \leq T \quad (18)$$

Considerando constantes as relações:

$$\frac{n_i}{N_t} = P_i \text{ e } \frac{n'_i}{N_t} = P'_i \quad (19)$$

onde:

P_i é a relação entre número total de trens impares com o número total de trens e P'_i para pares.

t_i tempo para trens impares e t'_i para trens pares.

Logo a expressão de número máximo de trens possível de circular será a Equação (20) aplicada no trecho crítico.

$$N_T \leq \frac{T}{\sum_{i=1}^n (t_i + \tau_i) P_i + \sum_{i=1}^m (t'_i + \tau'_i) P'_i}$$

1.6. Método Brasileiro e seus parâmetros

A definição da capacidade de tráfego trabalha com o tempo disponível para o tráfego por dia de 24 horas ou 1440 minutos, o regime de licenciamento com intervalos de espaço onde um trem não pode sair de uma estação antes que seu precedente tenha atingido a estação ou sinal de bloqueio seguinte.

$$C_p = k \frac{1.440 - t_m}{(t_i + t_p + \theta)}$$

Onde:

t_i = tempo de percurso máximo em minutos entre duas estações num sentido;

t_p = tempo de percurso máximo em minutos entre duas estações num sentido oposto;

θ = tempo de licenciamento considerando as características no sistema adotado de licenciamento e controle;

t_m = tempo destinado a manutenção com interrupção da circulação;

K = coeficiente ou fator redutor, que varia conforme a eficiência de cada ferrovia. É sugerido considerá-lo de 60% a 80% conforme “eficiência” de cada ferrovia.

1.7. Método Italiano e seus parâmetros

Calcula a capacidade de tráfego teórica conforme a Equação (22).

$$C_t = N + \frac{T - t - n(p + i) - n'(p' + i)}{p' + i} \quad (22)$$

Onde:

P = capacidade em número de trens em 24 horas

N = numero total de trens regulares, de passageiros e carga que circulam

T = número de minutos do dia (1.440)

t = tempo necessário para trabalhos de manutenção na via

n = número de trens regulares de passageiro

p = tempo de circulação médio dos trens de passageiros

i = perda de tempo médio em minutos a cruzamentos / licenciamentos

n' = número regulares de trens de carga

p' = tempo de circulação médio dos trens de carga

A capacidade teórica que não será alcançada. A capacidade efetiva de tráfego ou real será obtida com a inserção do coeficiente de correção ou fator redutor “ k ”, ficando conforme Equação (23).

$$P' = k \times P \quad (23)$$

Onde P' = capacidade de tráfego

1.8. Método Russo e seus parâmetros

Método baseado exclusivamente na realização de planejamento ótimo de uma malha de trens

de mercadorias onde trafegam outros trens de prioridades e características diferentes. Os trens que tem preferência geram nos trens de mercadorias impactos em seu tempo de circulação denominado “tempo de supressão de trens de carga”.

A Equação (24) indica a quantidade de trens de carga que poderão circular considerando o intervalo de tempo correspondente a zona de adiantamento, menos o tempo de supressão ou espaço de tempo que não pode circular cargueiro em um determinado trecho, em função do trem de passageiro, dividido pelo intervalo de tempo dos trens de carga.

$$N_m = \frac{T_{ad} - t_c}{I_m} \quad (24)$$

A capacidade de tráfego diária é expressa pela relação de tempo do dia em minutos (1.440 minutos), menos tempo de supressão multiplicado pelo número de pares de trens de passageiro em determinada direção, dividido pelo período de tempo diário de circulação de trens planejada. Apresentada na Equação (25).

$$N_m = \frac{1.440 - t_c N_v}{T_{PER}}$$

Onde:

N_v = número de pares de trens de passageiros de direção definida;

T_{PER} = tempo de período de circulação planejada.

Definindo a razão do tempo de supressão pelo período de circulação definido no planejamento, obtém-se “ E_n ” que é o coeficiente de supressão de trens cargueiros por trens de passageiro, Equação (26).

$$E_n = \frac{t_c}{T_{PER}} \quad (26)$$

O número de trens cargueiros é igual ao tempo em minutos do dia disponível para circulação (1.440 minutos) dividido pelo tempo de intervalo entre os trens de carga, menos o coeficiente de supressão de trens cargueiros pelos trens de passageiros, multiplicados pelo número de pares de trens de passageiros de determinada direção, Equação (27).

$$N = \frac{1.440}{I_m} \quad (27)$$

Onde:

I_m = intervalo de tempo de sucessão de trens de carga

A capacidade de tráfego obtida pelo método Russo, determina o número de trens de carga que podem circular em uma linha conforme suas características de deslocamento, fixando os tipos de trens por velocidade e do número de trens de passageiros já programados previamente e com prioridade absoluta. Equação (28) abaixo.

$$N_m = N - (E_n \cdot N_v)$$

As condições que impactam a supressão dos trens de carga são definidas através de dois coeficientes denominados “coeficiente básico” que é o correspondente aos trens de passageiro e o “coeficiente complementar” que corresponde a desigualdade entre o trecho crítico e a média de todos os trechos da via férrea, só é aplicado para linha singela.

1.9. Método Americano e seus parâmetros

Calcula a capacidade teórica ou máxima em via singela, que será o número máximo de trens característicos que circulam por ela nos dois sentidos. Para a linha dupla será o número de trens que circulam por ela em uma só direção, são expressas pela Equação (29):

$$C_t = \frac{(a \times T)}{M_b} \quad (29)$$

Sendo:

a = constante de valor 1 para uma direção do trecho de via dupla e 2 para via única.

T = período de tempo para estudo da capacidade

M_b = é a soma dos tempos de percurso nos dois sentidos quando linha dupla e em uma só direção quando linha dupla.

A capacidade real ou efetiva C_r , equação 30, é igual à capacidade teórica multiplicada pelo fator de correção f que é definido em 0,9 para linhas com sistema de licenciamento automático “CTC” e 0,8 para linhas sem este sistema de licenciamento.

$$C_r = f \times C_t \quad (30)$$

Em caso de trecho de via dupla, para obter a capacidade total basta somar as capacidades de cada sentido.

O fator de correção f representa a margem de tolerância referente aos tempos mortos em relação à manutenção das infra e superestrutura.

1.10. Método Canadense e seus parâmetros

O método baseia-se na teoria das filas. A capacidade final de um trecho em números de trens é definida como a menor capacidade dos sub-trechos calculados em função de um coeficiente médio de fila.

Define-se:

$$C_t = \text{MIN}_{j=i, \dots, n} (C_p(j)) \quad (31)$$

Onde:

$$C_p(j) = \text{coef}(j) \times \frac{(T - T_n)}{\text{Den}(j)} \quad (32)$$

$j = i, \dots, n$

$$\text{Den}(j) = T_s(j) + \frac{(\text{coef}(j) + T_l)}{2} \quad (33)$$

$j = i, \dots, n$

$$\text{Coef}(j) = -1 + \sqrt{4 \times L_q(j)^2 + 8 \times L_q(j)} \quad (34)$$

$j = i, \dots, n$

Onde:

C_t = Capacidade física do trecho

$C_p(j)$ = capacidade de cada sub-trecho (j)

n = número de sub-trechos

$\text{coef}(j)$ = coeficiente de utilização do sub-trecho “ j ” em função de um coeficiente médio de fila

T_n = tempo médio de manutenção da linha

T = período de análise da capacidade

$\text{Den}(j)$ = fator de análise da distribuição das estações

T_s = tempo médio de serviço

T_l = tempo médio de licenciamento

L_q = coeficiente médio de fila.

A teoria de filas tem o processo de chegada de trens considerando o intervalo de tempo num determinado período do dia ou das 24 horas. Atribui-se no caso um valor médio de chegada de trens. Para o caso ferroviário, o tempo entre chegadas de dois trens consecutivos poderá ser descrito por uma função densidade de probabilidade do tipo exponencial. Tamanho da fila é uma condição que é mais considerada em ferrovia devido ao grande desdobramento causado. Tamanho máximo da fila esta condicionada a necessidade de demanda que por sua provoca crescimento ou ampliação do sistema. Tempo médio de

espera na fila no caso ferroviário será o transit time da singela multiplicado pelo tamanho da fila. Será o tempo de atendimento do cliente da frente. Isto ocorrerá pela aleatoriedade do processo ferroviário.

2. Análise qualitativa da tratativa dos métodos analíticos aos eventos não programados

Os métodos utilizados para cálculo da capacidade de tráfego da Alemanha, Inglaterra, Espanha, Rússia e Canadá, os eventos não programados ou incertezas inerentes ao processo ferroviário, não são previstos ou considerados. É como se em suas linhas não ocorrerá seguramente manutenção corretiva de via permanente, de material rodante (locomotivas e vagões) em linha de circulação, do sistema de licenciamento e controle, de acidentes ferroviários, atraso na devolução dos vagões, vazios ou carregados pelos clientes, falta de operador de trens e outros vários eventos não programáveis ou indesejáveis. Isto é irreal. Seguramente, não existe processo operacional ferroviário que esteja imune a eventos não programados ou indesejáveis.

Nos métodos utilizados pelo Japão, União Internacional de Caminhos de Ferro, Estados Unidos, Itália e Brasil, não são sistematicamente e criteriosamente definidos as incertezas operacionais inerentes à operação ferroviária. Em linhas gerais utilizam um “fator redutor ou de correção” que varia de 0% a 40% dependendo da ferrovia. Mas em que condições devem-se utilizar o percentual de 0%? E quando é recomendado utilizar 40% ou valores intermediários? Não está claro, nem detalhado quais são as bases para esta definição. Quais são os princípios que indicam o valor mais adequado? A tabela 1 apresenta a tratativa dos métodos aos eventos não programados.

Tabela 1- Tratamento aos eventos não programados ou indesejáveis pelos métodos

Método - País	Tratamento aos eventos não programados ou indesejáveis dos métodos analíticos pesquisados
Alemanha	desconsidera
Inglaterra	desconsidera
Espanha	desconsidera
Rússia	desconsidera
Canadá	desconsidera
Japão	valores fixos de 90 minutos por dia para manutenção programada e 70 minutos por dia para eventos não programados, valores considerados na composição do fator de correção que multiplica o resultado da capacidade teórica definindo a capacidade real
UIC	compõe o método como tempo suplementar em minutos - é definido multiplicando-se a quantidades de seções ou trechos de linha existentes em estudo por 0,25 - não tem definição clara da composição deste critério
Itália	compõe o método como fator de correção que multiplica o resultado da equação de capacidade teórica, definindo a capacidade real - varia 0% a 100%, sem critério claro de definição do valor a ser utilizado
Brasil	compõe o método como fator de correção, multiplicando o resultado da equação de capacidade teórica obtendo-se a capacidade real - varia de 60% a 80%, conforme eficiência da ferrovia, sem critério claro de definição do valor a ser utilizado
Estados Unidos	compõe o método como fator de correção, multiplicando o resultado da equação de capacidade teórica obtendo a capacidade real, tem valor de 80% para licenciamento não automático e 90% para automático, sem sustentação técnica desta definição

Em linhas gerais, os métodos pesquisados não tratam os eventos não programados de forma clara e tecnicamente sustentável, possivelmente parte do motivo se deve a complexidade da construção deste parâmetro, considerando que várias são as condições que concorrem à circulação de trens, indiferente ao sistema operacional e a modernidade tecnológica da instalação. Vale destacar que para a obtenção de um resultado mais próximo da realidade, a consideração deste parâmetro é mais recomendada que a desconsideração. O entendimento da existência no sistema operacional ferroviário dos eventos não programados ou indesejáveis e a sua consideração no método, mesmo que de forma empírica, já provoca um diferencial no resultado que leva aos gestores ferroviários ou aos órgãos governamentais elementos para tomada de decisões mais precisas.

Conclusão

O presente trabalho teve como resultado principal a identificação do tratamento inadequado dado aos eventos não programados ou indesejáveis pelos principais métodos analíticos de cálculo de capacidade de tráfego, que são os amplamente utilizados, dos principais países onde o modo de ferroviário tem significativa participação na matriz de transporte.

A base destas decisões é inevitavelmente o resultado do cálculo de capacidade de tráfego das ferrovias, que podem não estar em consonância com a realidade, considerando que os eventos não programados ou

indesejáveis, de grande impacto, são definidos empiricamente nos métodos. Em alguns métodos não são ao menos mencionados.

A relevância deste artigo esta na busca à reflexão dos gestores públicos e privados quanto a decisões que são tomadas de investimentos ferroviários de significativo valor e de grande repercussão social e econômico, que tem o modo de transporte ferroviário para o país, em uma base de dados que pode estar imprecisa.

A precisão das informações que subsidiam as tomadas destas decisões pode e deve ser mais refinada a partir do momento que se tenha mais parâmetros que impactam no desempenho operacional melhor identificado e mensurado. A definição inadequada da capacidade de tráfego pode levar a decisões equivocadas, considerando que não se terá de fato o conhecimento real de sua capacidade de tráfego e conseqüentemente definições de investimentos serão tomadas com baixo nível de exatidão. Além disto, com o novo marco regulatório das ferrovias brasileiras, a capacidade de tráfego ociosa da ferrovia deve ser disponibilizada a possíveis interessados através da ANTT.

Recomenda-se uma atenção especial da necessidade do desenvolvimento de definição sustentável e tecnicamente criteriosa, para o tratamento e mensuração do parâmetro referente aos eventos não programados ou indesejáveis dos métodos analíticos de cálculo de capacidade de tráfego ferroviário. Isto resultará em tomada de decisão mais precisa, promovendo investimentos mais responsivos.

Referências

- Abril, M. (2008) An assessment of railway capacity. *Transportation Research*, vol. 44, pp. 774-806.
- ANTT – Agência Nacional do Transporte Terrestre (2011) *Evolução Recente do Transporte Ferroviário*. Brasil: ANTT. Disponível em www.antt.gov.br.
- Assad, A. A. (1980) Models for rail transportation. *Transportation Research*, vol. 14, pp. 205–220.
- Associação Nacional Dos Transportadores Ferroviários - ANTF (2011) *Agenda Estratégica*. Brasil: ANTF. Disponível em www.antf.org.br.
- Association of American Railroads - AAR (2012). Disponível em www.aar.org.
- Brina, H. L. (1998). *Estradas de Ferro*. Belo Horizonte: Editora UFMG.
- Castro, N. (2002) *Estrutura, desempenho e perspectivas do transporte ferroviário de carga. Pesquisa e Planejamento Econômico*, vol. 32, n. 2.
- Castro, N. e Lamy, P. (1994) *A Reforma e a Modernização do Setor de Transporte Ferroviário de Carga*. IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Rio de Janeiro.
- Elbrond, J. (1978) A method for the calculation of the capacity of a single track railroad system. *Conference Paper of Institution of Engineers*, Australia.
- Harrod, S. (2009) Capacity of a mixed speed railway network. *Transportation Research*, vol. 45, pp. 830-841.
- International Union of Railways - UIC (2012) UIC leaflet 405. Disponível em www.uic.org.
- Pachl, J. (2009) *Railway Operation and Control*. Washington: Editora Centralia
- Petersen, E. R. e A. J. Taylor (1982) A Structured model for rail line simulation and optimization. *Transportation Science*, vol. 16, n. 2, pp. 192–206.
- Rives, F. O., Mendez, M. R. e Puente, M. M. (1977) *Tratado de Exploracion de Ferrocarriles – Planificacion*. Madrid: Editora Alcorcon.
- Vidal, J. S. (1991) Aumento da capacidade de transporte de uma ferrovia em linha singela. *Dissertação (Mestrado em Ciência em Sistema e Computação)*, Instituto Militar de Engenharia, São Paulo.
- Vilaça, R. (2012) Cresce importância da ferrovia no País. *Jornal do Comércio*. Disponível em www.antf.org.br.
- Krueger, H. et al. *Simulation within the railroad environment*. In: Winter Simulation Conference, Orlando. Proceedings ... [S.L.: son.], 2000. P. 1191-1200, 2000.