

# **CONTRIBUIÇÃO AO DIMENSIONAMENTO E À AVALIAÇÃO OPERACIONAL DE TERMINAIS METROVIÁRIOS E FERROVIÁRIOS URBANOS DE PASSAGEIROS**

**Cauê Sauter Guazzelli**

**Nicolau Dionísio Fares Gualda**

Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes

Escola Politécnica

Universidade de São Paulo

## **RESUMO**

Esta pesquisa objetivou contribuir para o dimensionamento e a avaliação operacional de terminais metroviários e ferroviários brasileiros associados a níveis de serviço aceitáveis. Para tal, foi desenvolvido um modelo computacional em Arena. A pesquisa bibliográfica e uma pesquisa em campo suportaram a concepção do modelo. A modelagem desenvolvida retrata os passageiros ao passarem pelos processos envolvidos no embarque e desembarque do terminal. Foi feita uma calibração do modelo com dados medidos em terminais metroviários da cidade de São Paulo. Os testes e aplicações mostraram que o modelo é adequado para dar suporte para planejamento e avaliação operacional desse tipo de terminal. Destaque-se a aplicação do modelo para avaliar os níveis de serviço oferecidos pelos modelos praticados pelo Metro-SP e pela CPTM para dimensionamento de componentes específicos, como plataforma, escadas rolantes, escadas e bloqueios.

## **ABSTRACT**

This research aimed to contribute to the operational design and evaluation of urban passenger rail and subway terminals in Brazil associated to acceptable service levels. A simulation model was developed in Arena. The literature and field research supported the construction of the model. The model developed represents passengers traversing the processes involved in loading and unloading throughout the terminal. A calibration of the model was performed with measured data at subway terminals at São Paulo. The tests and applications showed that the model is suitable to support decision-making during the planning and operational evaluation of this type of terminal. Stand out from the application of the model to assess the service levels offered by the models used by Metro-SP and CPTM to size specific components, such as platform, escalators, stairs and fare gates.

## **1 INTRODUÇÃO**

O trabalho objetivou a contribuição para a montagem de um modelo de simulação que desse suporte ao dimensionamento e à avaliação operacional de terminais metroviários e ferroviários no Brasil.

O modelo foi desenvolvido a partir da consolidação de informações disponíveis na literatura sobre terminais de passageiros, destacando-se os trabalhos de Fruin (1971), FTA (2003) e Daamen (2001). Foram utilizados os conceitos de enfoque sistêmico propostos por Churchman (1972) para caracterização sistêmica do terminal e conceituação de capacidade associada a níveis de serviço proposta por Gualda (1995).

Um terminal padrão, definido como uma estação de médio porte (para até 25.000 passageiros por dia), com apenas uma linha de metrô, plataforma central, área paga separada por bloqueios, área não paga onde há componentes de compra de bilhete e componentes de compra de amenidades, foi utilizado nas análises.

As medidas de desempenho utilizadas para comparação de resultados foram o tempo médio de permanência dos passageiros em componentes operacionais e a quantidade de pessoas por área, assim como as filas médias nos elementos.

## 2 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica, usada como base para o desenvolvimento do modelo de simulação.

### 2.1 Nível de Serviço

O *Transit Capacity and Quality of Service Manual* feito pela FTA (Federal Transit Administration, 2003), define o nível de serviço como sendo o desempenho total do serviço de trânsito medido ou percebido a partir do ponto de vista do passageiro. Fruin, em seu trabalho *Pedestrian Planning and Design*, de 1971, que constitui um marco nos estudos de pedestres, definiu alguns parâmetros de nível de serviço que foram utilizados como parâmetros para comparação entre modelos. As classificações dos níveis de serviço vão de A a F, e para locais para trânsito de pedestres seguem parâmetros mostrados na tabela 1.

**Tabela 1:** Nível de serviço para áreas de trânsito de pedestres  
Fonte: FTA (2003)

Nível de Serviço	Área por pass (m <sup>2</sup> /pass)
A	$\geq 3,3$
B	2,3 - 3,3
C	1,4 - 2,3
D	0,9 - 1,4
E	0,5 - 0,9
F	$< 0,5$

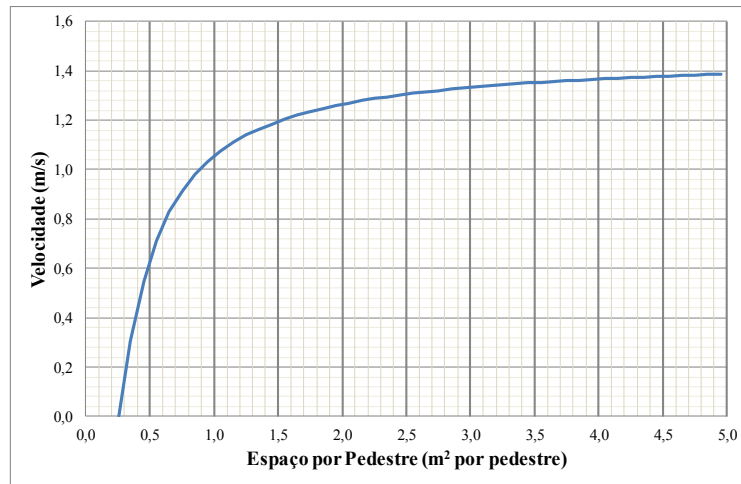
Deve ser avaliada a curva de nível de serviço de cada componente do terminal. O pior nível de serviço aceitável para a operação considerada normal do terminal é o do tipo C. Porém, para garantir a minimização de custos, pode-se aceitar, por exemplo, níveis de serviço do tipo D e E durante períodos de tempo curtos, para que os componentes não fiquem superdimensionados durante todo o resto do dia.

### 2.2 Comportamento de Pedestres

O comportamento de pedestres tem grande influência em como a operação do terminal se desenvolve, e por isso foram levantados estudos que abordaram esse tema. Os estudos foram levantados com base nos trabalhos disponíveis na literatura, para que o modelo desenvolvido represente com a maior aproximação possível ao comportamento real.

O comportamento de pedestres passou a ser mais estudado a partir da pesquisa de Fruin (1971), que desenvolveu um extenso trabalho que envolvia, entre outros temas, a análise do comportamento de pedestres em relação ao espaço e, na etapa de evitar conflito, o entendimento da relação entre a velocidade de caminhada de multidões e a concentração de pedestres, assim como a definição de padrões de níveis de serviço para pedestres em diversas situações.

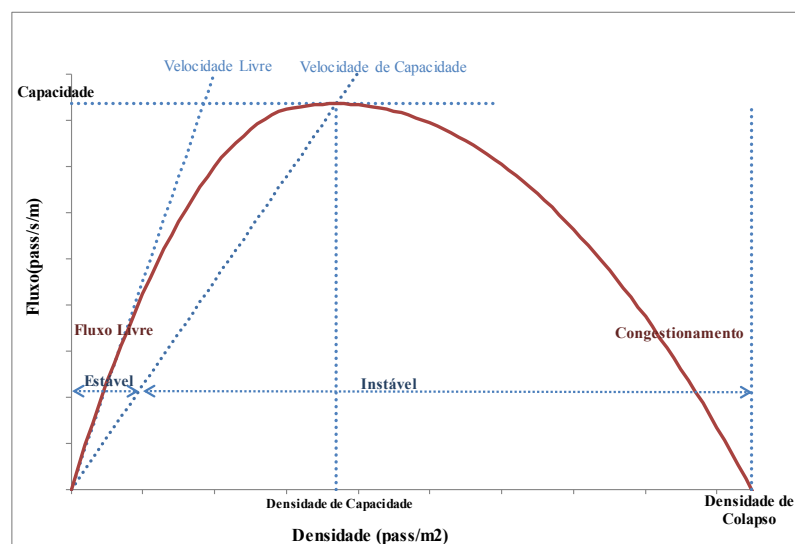
Uma de suas muitas contribuições foi a identificação de como a velocidade dos pedestres se comporta em relação à variação do espaço útil por usuário, dado em *área/passageiros* (inverso da densidade). O resultado está mostrado na figura 1, que representa a velocidade de caminhada em áreas de circulação de pedestres.



**Figura 1:** Velocidade x Espaço por pedestre  
Fonte: Fruin (1971)

Muitos outros estudos foram desenvolvidos e, dentre os mais recentes, há de se destacar a pesquisa de fluxos de pedestres em instalações de transporte público desenvolvida por Daamen (2004), que ampliou as áreas de pesquisa neste assunto abordando tópicos como o comportamento dos fluxos em gargalos, a definição de velocidade livre ou de desejo da seleção de rota etc.

A figura 2, baseada em Daamen (2004), apresenta a relação entre fluxo e densidade para o tráfego de pedestres, e os conceitos embutidos por trás dessa relação serão utilizados para que a curva de velocidade dos pedestres seja alterada quando as características de cada usuário forem levadas em consideração, na caracterização do problema.



**Figura 2:** Relação entre fluxo e densidade para tráfego de pedestres  
Fonte: Daamen (2004)

### 3 MODELO

Um modelo de simulação, desenvolvido em Arena (disponibilizado em versão para estudante pela *Rockwell Automation Technologies*), foi criado para permitir a análise de níveis de

serviço de um terminal metroviário de porte médio. Esse tipo de modelo possibilita ao planejador a análise de cenários antes da construção do terminal e pode ser uma poderosa ferramenta para suporte à tomada de decisões a respeito. Devido à versão disponível do aplicativo, que limitou a quantidade de variáveis, processos e entidades, algumas simplificações foram assumidas, mas estas não colocam em risco a qualidade das análises obtidas com o modelo.

A metodologia proposta previu a definição de cenários, sua aplicação no modelo, análises em relação às medidas de desempenho definidas, e a escolha do cenário que apresente a solução que melhor se encaixe na necessidade do planejador. Para sua modelagem, o terminal foi dividido nos subsistemas Acesso, Egresso e Ferroviário.

Os Subsistemas de Acesso e Egresso compartilham muitos recursos, pois seus fluxos de passageiros se influenciam mutuamente quando se misturam na estação. O Subsistema Ferroviário é formado pelo local de estacionamento do trem na estação. Por meio dele o terminal estará sujeito a restrições que o sistema ferroviário impõe e que afetarão a operação dos demais subsistemas.

### **3.1 Caracterização do Usuário**

Foram consideradas *Idade*, *Gênero* e *Existência de bagagens* como características que impactam a forma de comportamento dos usuários representado no modelo.

Foram utilizados dados reais referentes à população da Região Metropolitana de São Paulo para os dados de proporção de gênero e curva de idade. A proporção entre homens e mulheres utilizada de 52,66% de mulheres foi encontrada na pesquisa Origem Destino de 2007 (SECRETARIA DOS TRANSPORTES METROPOLITANOS, 2008). Para a proporção de passageiros com bagagens não foram utilizados dados reais, e o valor definido foi de 15%.

Para cada passageiro foram criados atributos que representam seu gênero, idade e presença de bagagens. Por meio da identificação desses atributos, o modelo define qual é o tipo de comportamento que o usuário tem no terminal, como velocidade de caminhada livre ou espaço ocupado no componente considerado. Os valores utilizados na definição desses atributos foram baseados nos dados contidos em Daamen (2001), FTA (2003) e em Fruin (1971), que por meio de pesquisas em campo puderam quantificar a influência que essas características têm no comportamento dos pedestres.

### **3.2 Elementos de Circulação**

Os elementos de circulação são os mais complexos para a modelagem. Há muita interação entre as entidades presentes, com grande variedade de comportamento. Além disso, a maioria dos componentes não operacionais está localizada nessa região.

### **3.3 Decisões de Percurso**

Quando estão nos elementos de circulação, os usuários tomam decisões de percurso, dentre as quais foram consideradas no modelo as relacionadas a elementos operacionais, como é o caso da compra de bilhetes, da escolha entre a utilização da escada e da escada rolante e o lado da plataforma em que o usuário esperará o trem.

Dentre as decisões de percurso, a escolha entre a utilização da escada ou da escada rolante foi a de tratamento mais complexo. Os parâmetros foram levantados com base em observações da utilização do terminal da cidade de São Paulo e depois validadas e calibradas.

Para a modelagem desse padrão de comportamento, foram criados processos do tipo “decide”. Os critérios utilizados para a escolha do percurso consideram tanto fatores do ambiente quanto do usuário, além de um fator de aleatoriedade, os quais foram alterados na etapa de validação e calibração do modelo.

### 3.4 Tempo de Circulação

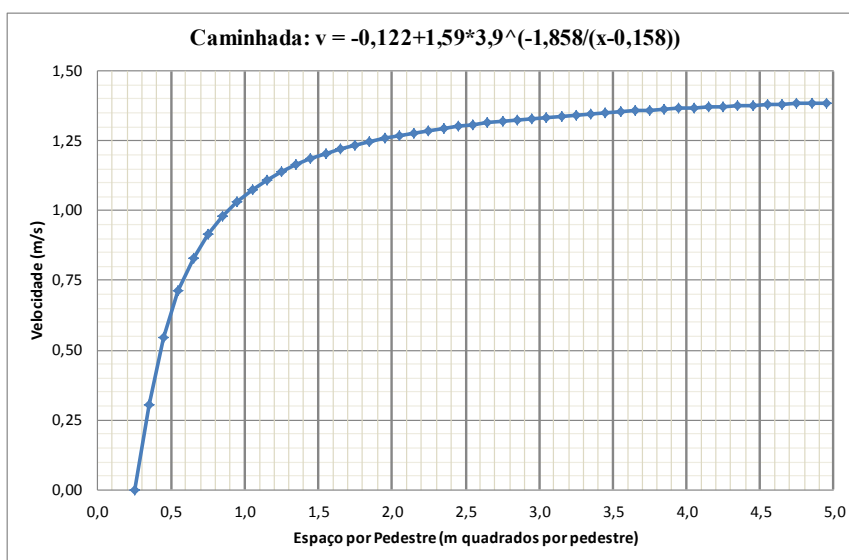
O tempo gasto na circulação entre os elementos depende da velocidade média do pedestre. Fruin (1971) identificou que, por mais que o perfil dos usuários impactasse na velocidade de caminhada, o fator primordial que deveria ser levado em consideração para a definição da velocidade média dos passageiros era a quantidade de espaço disponível para cada passageiro, que equivale ao inverso da densidade de passageiros no ambiente de circulação.

A informação de densidade pode ser conhecida por meio da definição de uma área útil por componente, utilizada na circulação dos pedestres, e da quantidade de passageiros presentes. Em posse desses dados e com uma equação que represente a curva de velocidade dos pedestres em função da densidade do ambiente, será possível a identificação da velocidade de um usuário com determinadas características.

Partindo das curvas do Manual da FTA, que se baseou no levantamento feito por Fruin (1971), foi feita uma interpolação nos dados para que o cálculo da velocidade em função da densidade (ou do inverso dela) fosse possível. Foi identificada uma função que segue o formato da curva da FTA (2003), que pode ser escrita da seguinte forma:

$$f(x) = a + b \cdot c^{\frac{-d}{x-f}} \quad (1)$$

Em posse dos dados do Manual da FTA, por meio da ferramenta Solver do aplicativo Microsoft Excel, foi definido um modelo matemático para a calibração dos parâmetros  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  e  $f$  que minimizasse a diferença entre a amostra e os resultados da função, conforme pode ser visto na figura 3.



**Figura 3:** Velocidade de caminhada x espaço por pedestre

### 3.5 Elementos de Espera

O componente considerado como elemento de espera no modelo foi a plataforma de embarque. Foi utilizado na modelagem o processo “Hold”, que mantém o passageiro na fila

enquanto determinada condição é verdadeira. Essa condição no modelo é que o espaço suficiente para um passageiro ficar no trem, representada pela variável *disponibilidade*, é maior que um.

Quando um trem chega à estação, uma variável definida como *disponibilidade* recebe um valor correspondente à quantidade de pessoas que poderiam ocupar seu espaço disponível mais o valor da quantidade de passageiros que desembarcarão no terminal.

Enquanto o trem está parado na plataforma, por meio do processo do tipo *Seize Delay Release* que representa o espaço ocupado pelos trens, o valor da variável vai sendo debitado conforme os usuários embarcam. Quando a porta fecha e o trem parte, o valor de *disponibilidade* é zerado, e quando outro chega um novo valor para a disponibilidade de embarque é definido.

#### 4 CALIBRAÇÃO

Para certos componentes, a modelagem foi feita com base em dados medidos em campo, o que equivale à calibração. Este foi o caso, por exemplo, do tempo de atendimento da bilheteria, do intervalo entre trens e da velocidade da escada rolante.

A calibração de outros elementos, em que as variáveis não são medidas de forma direta, foi feita com o ajuste dos parâmetros que influenciam no comportamento dos usuários. Assim foi calibrado o comportamento dos usuários no desembarque dos trens, durante seu caminho até o conjunto de escada e escada rolante, e na escolha da forma de acesso ao outro piso.

Foram feitas filmagens em uma estação do Metrô, que permitiram a medição dos tempos gastos entre a abertura das portas e o gasto pelos 10º, 20º e 30º passageiros para chegar à fila da escada rolante (TAF) e adentrar a escada rolante (TAE). Foi medido também o percentual de passageiros que utilizam as escadas. As medições são apresentadas na tabela 2.

**Tabela 2:** Variáveis medidas em campo

Amostra	N Pass	TAF 10	TAF 20	TAF 30	TAE 10	TAE 20	TAE 30	N Pass Escada	Percentual
1	36	6,0	10,0	16,0	8,5	13,0	20,0	6,0	17%
2	37	8,0	12,0	14,0	10,0	15,0	22,0	5,0	14%
3	38	10,0	16,0	19,0	12,0	19,0	26,0	7,0	18%
4	40	8,0	11,0	15,0	10,0	14,0	25,0	3,0	8%
5	27	8,0	13,0	-	13,0	20,0	-	-	-
Total	151	8,0	12,4	16,0	10,7	16,2	23,3	21,0	14%
Desv Pad	4,50	1,3	2,1	1,9	1,6	2,8	2,4	1,5	4%

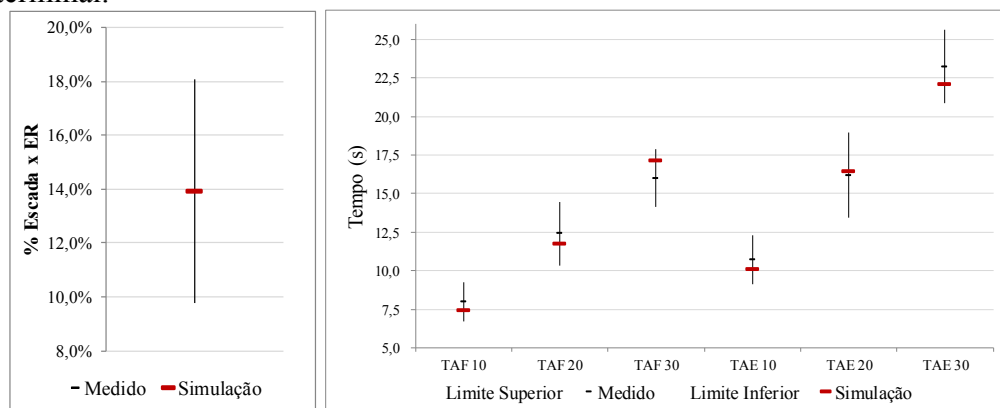
Os ajustes dos parâmetros foram feitos iterativamente, a fim de que as variáveis representassem os valores medidos. Sua validação final foi feita por meio de quinhentas simulações de chegada de trens, e seus resultados são apresentados na tabela 3.

**Tabela 3:** Resultados da simulação para calibração

	TAF 10	TAF 20	TAF 30	TAE 10	TAE 20	TAE 30	% Escada
Simulação	7,4	11,7	17,1	10,1	16,4	22,1	13,9%
Medido	8	12,4	16	10,7	16,2	23,25	13,9%

Os resultados de tempo até a fila, tempo até o embarque e percentual de utilização da escada ficaram todos dentro do intervalo definido como a média mais ou menos um desvio padrão dos valores medidos, conforme mostra a figura 4.

O modelo de simulação que representa o processo citado foi utilizado para a calibração dos parâmetros do processo em questão, que foram inseridos no modelo completo, que representa todo o terminal.



**Figura 4:** Valores medidos x valores da simulação

#### 4.1 Aplicação e Resultados

As medidas de desempenho comparadas em função de cada cenário são: a área média por passageiro em cada nível da estação, o tempo total médio de passageiros em acesso e o tempo total médio de passageiros em egresso. Os tempos em fila em cada elemento também são considerados para identificação de pontos de gargalo do terminal. Os parâmetros que caracterizam cada cenário utilizado são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4:** Parâmetros por cenário

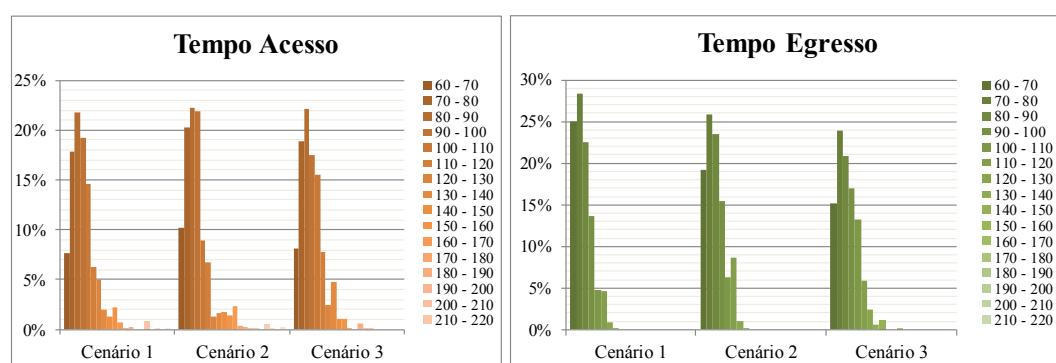
Elemento	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Área Útil do Acesso (m2)	20	20	9
Área Útil do Piso Intermediário (m2)	200	200	200
Área Útil da Plataforma (m2)	1150	1150	1150
Número de Bloqueios Acesso	3	3	3
Número de Bloqueios Egresso	3	3	3
Número de Bilheterias	2	1	3
Número de Escadas Rolantes	1	1	1

A área útil do acesso e o número de bilheterias foram escolhidos como os parâmetros de variação entre os cenários, por permitirem uma visualização dos resultados sem que o número total de entidades excedesse o limite que a versão do aplicativo possuía.

Para os três cenários, os resultados de tempo de percurso no terminal são apresentados na tabela 5 e figura 5, com a distinção de passageiros em acesso e egresso, pois, como os processos de compra de bilhetes e espera do trem na plataforma não ocorrem no egresso, eram esperados valores maiores de tempos totais para passageiros em acesso.

**Tabela 5:** Tempos totais médios

Faixa (s)	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3		Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
	%	Acum	%	Acum	%	Acum	%	Acum	%	Acum	%	Acum
60 - 70	7,68%	7,68%	10,17%	10,17%	8,07%	8,07%	25,05%	25,05%	19,21%	19,21%	15,17%	15,17%
70 - 80	17,81%	25,49%	20,29%	30,45%	18,92%	26,99%	28,40%	53,45%	25,89%	45,10%	23,89%	39,06%
80 - 90	21,83%	47,32%	22,19%	52,64%	22,13%	49,11%	22,55%	76,00%	23,43%	68,53%	20,88%	59,93%
90 - 100	19,23%	66,55%	21,86%	74,50%	17,48%	66,59%	13,57%	89,58%	15,50%	84,03%	17,01%	76,94%
100 - 110	14,62%	81,18%	8,90%	83,40%	15,57%	82,16%	4,72%	94,29%	6,28%	90,31%	13,16%	90,10%
110 - 120	6,23%	87,41%	6,75%	90,15%	7,83%	89,99%	4,64%	98,93%	8,61%	98,92%	5,82%	95,92%
120 - 130	5,02%	92,43%	1,26%	91,41%	2,47%	92,46%	0,93%	99,86%	0,98%	99,90%	2,36%	98,28%
130 - 140	1,98%	94,41%	1,60%	93,01%	4,74%	97,21%	0,14%	100,00%	0,10%	100,00%	0,56%	98,84%
140 - 150	1,29%	95,70%	1,79%	94,80%	1,06%	98,26%	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	1,11%	99,96%
150 - 200	3,39%	99,08%	4,39%	99,20%	1,72%	99,98%	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	0,04%	100,00%
200 - 250	0,90%	99,98%	0,60%	99,80%	0,02%	100,00%	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%
250 - 500	0,02%	100,00%	0,20%	100,00%	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%

**Figura 5:** Histogramas do tempo total médio

Conforme esperado, o cenário 1 apresentou um tempo total médio menor do que os cenários 2 e 3. Em função das especificações dos sistemas de transporte, os tempos de acesso devem ser classificados em níveis de serviço, para a adequação do terminal às suas necessidades específicas.

Os percentuais de tempo em que cada piso do terminal operou com base nas faixas de níveis de serviço definidas pela área por pedestre são apresentados na tabela 6.

**Tabela 6:** Níveis de serviço por piso por cenário

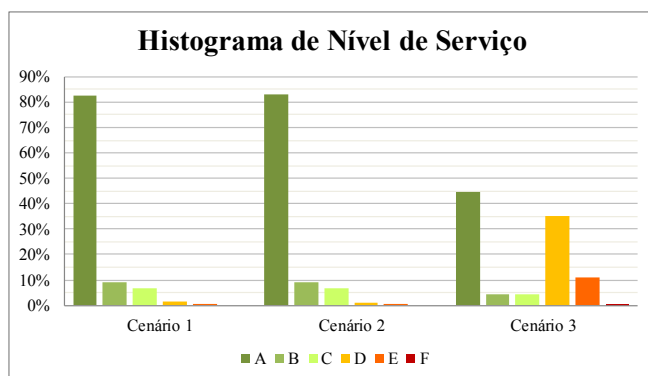
NS	Cenário 1				Cenário 2				Cenário 3			
	Acesso	Piso Int - Não Pago	Piso Int - Pago	Plataforma	Acesso	Piso Int - Não Pago	Piso Int - Pago	Plataforma	Acesso	Piso Int - Não Pago	Piso Int - Pago	Plataforma
A	83%	100%	100%	100%	83%	100%	100%	100%	45%	100%	100%	100%
B	9%	0%	0%	0%	9%	0%	0%	0%	5%	0%	0%	0%
C	7%	0%	0%	0%	7%	0%	0%	0%	4%	0%	0%	0%
D	1%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	35%	0%	0%	0%
E	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	11%	0%	0%	0%
F	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Com exceção do piso Acesso, o nível de serviço em que os pisos operaram nas simulações foi basicamente o A, o que aponta para a possibilidade de estarem superdimensionados.



É possível identificar uma pequena melhora do nível de serviço do cenário 2 em relação ao 1. Esse efeito foi notado em outros cenários, quando uma piora em um determinado componente causava uma linearização no carregamento do componente seguinte, que respondia com uma melhora em seu nível de serviço.

Com a redução significativa da área do piso Acesso, no cenário 3, foram identificadas grandes alterações na operação, com o nível de serviço chegando inclusive ao Nível E, o que caracteriza uma instabilidade na operação, conforme apresentado na figura 6.



**Figura 6:** Histograma de nível de serviço – piso acesso

Para os tempos de espera em filas, as bilheterias e a plataforma foram os únicos elementos que, com a demanda aplicada, apresentaram valores significativos de espera. Os resultados de tempos em fila para cada cenário são apresentados na tabela 7.

**Tabela 7:** Tempo em fila (s) por cenário

Elemento	Medida	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Bilheteria	Média	2,08	32,1	0,25
	Mediana	0,76	13,2	0,16
	Máximo	70,7	374,5	29,1
Plataforma A	Média	48,46	46,8	47,1
	Mediana	1,4	2,3	2,4
	Máximo	243,24	185,1	205,4
Plataforma B	Média	47,17	46,9	47,4
	Mediana	2,36	2	2
	Máximo	235,8	253,4	198,14

## 5 APLICAÇÃO DO MODELO PARA DIRETRIZES DO METRO-SP E DA CPTM

Por meio do modelo, foram testadas diretrizes utilizadas pelo Metro-SP e CPTM. Para isso, os parâmetros de dimensionamento foram utilizados para a especificação das características de alguns elementos, como área, largura e quantidade dos elementos da estação padrão.

### 5.1 Plataforma

Para a definição das dimensões da plataforma, foi considerado o comprimento padrão, de 136 metros. A largura útil é definida em função da demanda, de acordo com a fórmula (2), preconizada pelo Metro (2005).

$$L = 0,60 + 0,25 + \frac{N1 + N2}{(C - 2 \cdot 0,25) \cdot 3,0} \quad (2)$$

Onde:

L: largura da plataforma (m)

0,60: faixa de segurança (m)

0,25: afastamento das paredes (m)

C: comprimento da plataforma (m)

N1: número de embarques previstos durante o intervalo entre trens

N2: 2/3 da capacidade de um trem (pass). Quando a plataforma for central, esse valor será multiplicado por 2

3,0: densidade máxima admitida (pass/m<sup>2</sup>)

Foram feitas rodadas do modelo com quatro valores, que representam as diretrizes do Metrô para plataforma central, para plataforma lateral, largura mínima de plataforma central e largura necessária para acomodar, a 3 passageiros/m<sup>2</sup>, a demanda do pico da manhã (1.650 pass/h). Os resultados dos níveis de serviço obtidos por meio do modelo de simulação são apresentados na tabela 8.

**Tabela 8 – Resultados de simulação de plataforma**

Area (m2)	Largura (m)	Nível de serviço			Observação
		A	B	C, D, E e F	
4.143	30,5	100,0%	0,00%	0,00%	Especificação, considerando a acomodação de 2/3 da capacidade de dois trens (plataforma central)
2.137	15,7	100,0%	0,00%	0,00%	Especificação, considerando a acomodação de 2/3 da capacidade de um trem
544	4,0	100,0%	0,00%	0,00%	Especificação de largura mínima de plataforma central
192	1,4	99,7%	0,28%	0,00%	Largura necessária para acomodar, a 3 pass/m2 a demanda da hora pico

Os resultados mostram que essas plataformas dimensionadas com as diretrizes recomendadas pelo Metro-SP apresentaram nível de serviço A em 100% do tempo, para condições normais de operação.

## 5.2 Escada e escada rolante

Para o conjunto escada e escada rolante foi considerado que haveria um elemento de cada tipo para passageiros em acesso e em egresso. Posteriormente, a largura da escada dos dois sentidos foi somada, e o modelo foi adequado a esse dimensionamento.

A tabela 9 apresenta os resultados do dimensionamento das escadas e escadas rolantes a partir da aplicação das diretrizes do Metro-SP e da CPTM.

**Tabela 9 – Dimensões das diretrizes para escada (m) e escada rolante (quantidade)**

ER - Acesso	ER - Egresso	Escada Acesso	Escada Egresso	Escada Total
1,00	1,00	0,92	0,45	1,38

Em termos de área disponível por passageiro nas escadas, o nível de serviço A foi obtido por meio das simulações em 100% do tempo para as condições de operação consideradas.

## 5.3 Bloqueios

A quantidade dos bloqueios também foi definida por meio da demanda horária do pico e dos fluxos de referência utilizados nas diretrizes do Metro-SP e da CPTM. A quantidade obtida

foi de menos que um bloqueio tanto para o fluxo de acesso quanto para o de egresso. Dessa forma, a quantidade de bloqueios estipulada foi de 1 bloqueio para cada sentido, conforme apresentado na tabela 10.

**Tabela 10 – Cálculo de quantidade de bloqueios**

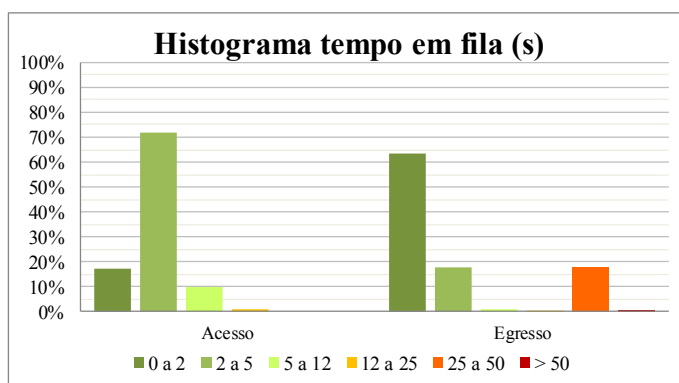
Sentido	Demanda (pass/h)	Capacidade (pass/h)	Necessidade (quantidade)	N Bloqueios (quantidade)
Acesso	1108	1500	0,74	1
Egresso	545	2000	0,27	1

Como não foram encontradas definições para classificação de níveis de serviço em bloqueios, os resultados foram gerados a partir das faixas apresentadas na tabela 11, o que permite a comparação dos resultados e cenários.

**Tabela 11 – Faixas de tempo em fila em bloqueios**

Faixa de tempo em fila (s)
0 a 2
2 a 5
5 a 12
12 a 25
25 a 50
> 50

Os resultados obtidos para os tempos em fila para o acesso e egresso nos bloqueios são apresentados na figura 7.



**Figura 7 – Histograma de tempo em fila – bloqueios**

Os resultados indicam que a quantidade de bloqueios para acesso recomendado nas diretrizes do Metro-SP e da CPTM pode estar adequada, porém os tempos em fila nos bloqueios para egresso são maiores, com uma pequena quantidade de pessoas esperando até mais que 50s e com isso podem indicar uma necessidade de mais bloqueios do que o recomendado.

## 6 CONCLUSÃO

Este trabalho buscou contribuir para o planejamento de terminais urbanos de passageiros metroviários e ferroviários. Cabe ressaltar a carência de estudos sobre dimensionamento e

avaliação operacional de terminais ferroviários e metroviários de passageiros, se comparada aos estudos existentes sobre outros modais.

Pesquisas sobre terminais de passageiros, sobre processos de dimensionamento e sobre comportamento de pedestres foram levantadas com este fim, dentre as quais se destacam os trabalhos de FTA (2003), Daamen (2001), Fruin (1971) e Gualda (1995), todos eles usados como base para o desenvolvimento do modelo proposto neste trabalho.

Por meio dos testes e aplicações realizados, foi possível verificar que o método utilizado e o modelo proposto são adequados para dar suporte para dimensionamento e avaliação operacional de terminais de passageiros metroviários e ferroviários.

Mostra-se latente a necessidade de levantamentos e análises de dados operacionais que contribuam para a modelagem de terminais de passageiros metroviários e ferroviários brasileiros.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHURCHMAN, Charles W. **Introdução à teoria dos sistemas**. Petrópolis: Editora Vozes, 1972.
- DAAMEN, Winnie et. al. **Modelling Pedestrians in Transfer Stations**. Delft: Delft University of Technology, 2001.
- \_\_\_\_\_. **Experimental Research of Pedestrian Walking Behavior**. Delft: Delft University of Technology, 2003.
- DAAMEN, Winnie. **Modelling Passenger Flows in Public Transport Facilities**. Delft: Delft University Press, 2004.
- \_\_\_\_\_. **Free Speed Distributions for Pedestrian Traffic**. Delft: Delft University of Technology, 2006.
- FRUIN, John J. **Pedestrian Planning and Design**. Nova York: Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, 1971.
- FTA (Federal Transit Administration). **Transit Capacity and Quality of Service Manual**. 2 ed. Washington: Transportation Research Board, 2003.
- GUALDA, Nicolau D. F. **Terminais de transportes: contribuição ao planejamento e ao dimensionamento operacional**. 1995. Tese de livre docência – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- GUZZELLI, Cauê S. **Contribuição ao Dimensionamento e à Avaliação Operacional de Terminais Urbanos de Passageiros Metroviários e Ferroviários**. 2011. Dissertação de mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- METRO (Companhia do Metropolitano de São Paulo). **Capacidade do transporte urbano de passageiros sobre trilhos**. 2005. Documento técnico, São Paulo.
- SECRETARIA DOS TRANSPORTES METROPOLITANOS. **Pesquisa origem e destino 2007 - Região Metropolitana de São Paulo: síntese das informações da pesquisa domiciliar**. São Paulo, 2008.
- YA, Wen et. al. **Level of Service Standards for Pedestrian Facilities in Shanghai Metro Stations**. Shangai: International Conference on Transportation Engineering, 2007.

---

Cauê Sauter Guazzelli (caue\_guazzelli@yahoo.com.br)

Nicolau Dionísio Fares Gualda (ngualda@usp.br)

Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Av. Prof. Almeida Prado, trav.2 nº. 83 – São Paulo, SP, Brasil