



## Uma análise dos benefícios socioeconômicos gerados pela CPTM para a Região Metropolitana de São Paulo através do modelo de demanda de quatro etapas.

Rodrigo Sartoratto de Alencar<sup>1</sup>; Roberto Manolio Valladão Flores<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Companhia Paulista de Trens Metropolitanos – CPTM

<sup>1</sup> Rua Boa Vista, 175 – Bloco A – 8º andar – São Paulo – SP – Tel.: (11) 3293-4655

[rodrigo.sartoratto@cptm.sp.gov.br](mailto:rodrigo.sartoratto@cptm.sp.gov.br)

<sup>2</sup> Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA

<sup>2</sup> Quadra 103 Sul – Avenida Juscelino Kubitschek Cj 01 Lote 17 Térreo – Palmas – TO – Tel.: (63) 3218-2933

[roberto.valladao@embrapa.br](mailto:roberto.valladao@embrapa.br)

### RESENHA

Utilizando a modelagem de demanda de quatro etapas, foi estimado qual o benefício socioeconômico gerado pela CPTM para o ano de 2010. Comparando a rede atual de transportes da RMSP com a situação hipotética onde os serviços oferecidos pela CPTM não seriam mais prestados, foi obtido o valor de R\$ 5,73 bilhões.

**PALAVRAS-CHAVE:** modelagem de demanda, benefícios socioeconômicos, indicadores de transporte, modelo 4 etapas.

### INTRODUÇÃO

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) tem em seu sistema de transporte um dos temas centrais para o seu desenvolvimento e para o bem-estar de sua população. Os crescentes índices de congestionamento na região deixam a qualidade de vida dos habitantes cada vez pior, aumentando a poluição, o número de acidentes de trânsito, reduzindo o tempo de lazer da população, aumentando os custos operacionais dos sistemas de transporte e dificultando o fluxo de mão-de-obra e de mercadorias.

Uma das soluções que vem sendo apontadas para esta questão é o aumento do investimento em transporte público, especialmente nos modos sobre trilhos, como metrô e trem. Entretanto, o volume dos investimentos necessários para a ampliação e operação da malha metro-ferroviária é bastante elevado.

Embora o volume de recursos seja elevado, os benefícios socioeconômicos gerados podem justificar este investimento, trazendo vantagens financeiras e maior bem-estar para a população. Tendo em vista esta discussão, torna-se necessário mensurar monetariamente esses benefícios gerados pelos sistemas sobre trilhos, para serem comparados com os investimentos necessários pelo governo estadual e, assim, verificar se a realização dos mesmos é interessante para a população e ao desenvolvimento da RMSP.

O objetivo desse trabalho é “monetarizar” os benefícios gerados pelo sistema de trens da RMSP, atualmente operado pela Companhia Paulista de Trens Metropolitanos – CPTM, de acordo com indicadores de transporte.



## METODOLOGIA

Para obter os benefícios socioeconômicos gerados pela CPTM, será comparada a situação da rede de transporte coletivo da Região Metropolitana no ano de 2010 com a situação hipotética onde os serviços oferecidos pela CPTM não seriam mais prestados, utilizando a modelagem de demanda tradicional de quatro etapas para a obtenção dos dados de entrada para o modelo de benefícios socioeconômicos.

Para compreender melhor essa metodologia, será feita uma breve abordagem sobre a modelagem de demanda de quatro etapas.

### Modelagem Tradicional de Demanda de Quatro Etapas

O uso dos modelos tradicionais em planejamento de transportes é um assunto tratado extensamente na literatura técnica. Pretende-se nesse tópico apresentar alguns aspectos deste assunto baseado em textos de ORTÚZAR e WILLUMSEN (1994), CARDOSO (2005) e WARDROP (1952).

A teoria clássica dos modelos de transporte tem como base uma representação discreta do espaço, em que a área a ser modelada é dividida em zonas de tráfego e o sistema de transporte é representado através de uma rede de nós e ligações (CARDOSO, 2005).

As zonas de tráfego são definidas anteriormente ao processo de modelagem e passam a ser representadas por um único ponto na rede (centróide), funcionando como pólos de produção e atração de viagens das respectivas zonas, que utilizam a rede de transporte representada para realizarem seus deslocamentos.

Nessa representação da rede, apenas as viagens interzonais são simuladas na metodologia tradicional, o que torna fundamental que as zonas de tráfego sejam as menores possíveis no modelo.

Os centróides são ligados à rede através de conectores, que representam os pontos de acesso ou egresso ao sistema de transporte para as viagens com origem ou destino naquela zona.

O conjunto de segmentos da rede viária do sistema de transporte existente é representado por uma complexa rede de nós e ligações (links), representando as regras de circulação, que permitem definir ligações unidirecionais ou bidirecionais e proibições ou penalidades de conversão. Também são identificados quais modos de transporte individual representados (auto, taxi etc.) ou coletivo (ônibus, metrô, trem etc.), podem percorrer essas ligações.

A oferta de transporte público é representada através de rotas (transit lines) que representam o trajeto realizado por linhas de ônibus no sistema viário ou em via segregada (no caso dos sistemas sobre trilhos). Além do trajeto realizado, as *transit lines* também armazenam informações básicas das linhas como velocidade comercial, tipo de veículo (ônibus padron ou articulado, trens de 4, 6 ou 8 carros) e intervalo entre eles.

A **Figura 1** ilustra a rede de transporte utilizada para esse trabalho, implementada no software de modelagem de demanda EMME®.

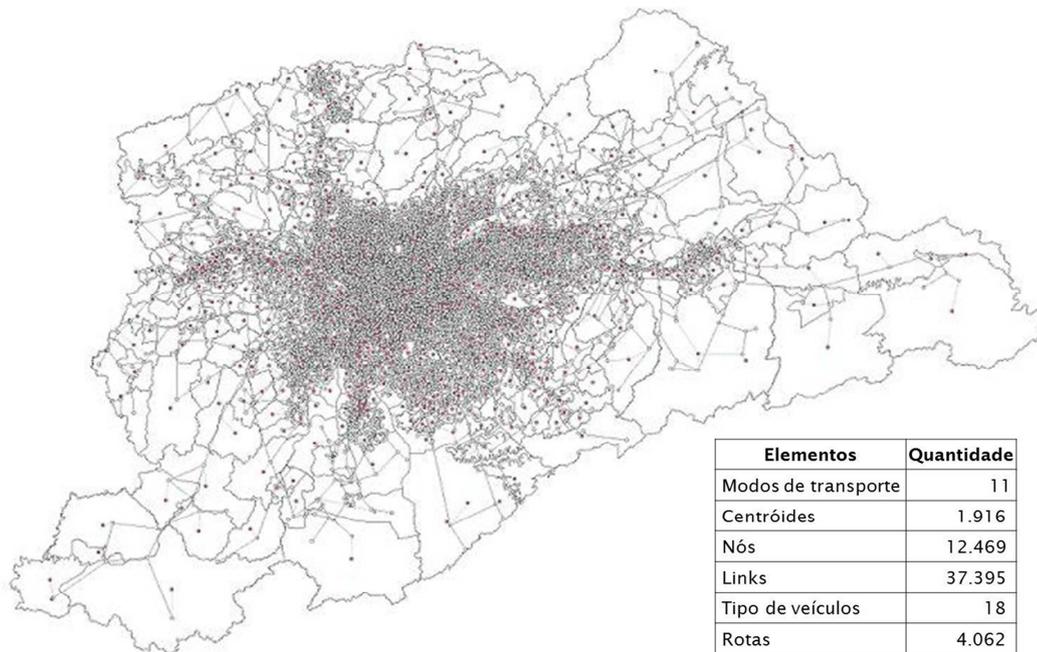


Figura 1 – Rede de Transporte da RMSP representada no software EMME®.

O processo de modelagem de demanda, na metodologia clássica, divide-se em quatro etapas distintas, porém interligadas, que são:

- 1- Geração de Viagens, na qual as quantidades de viagens produzidas e atraídas em cada zona de tráfego são estimadas;
- 2- Distribuição de Viagens, onde ocorre a determinação dos intercâmbios de viagens e dos deslocamentos correspondentes entre as zonas de tráfego;
- 3- Divisão Modal, na qual se determina o modo de transporte (individual ou coletivo) pelo qual as viagens serão realizadas;
- 4- Alocação, que representa a etapa de escolha do caminho, por um dado modo, entre os pares de zonas de tráfego.

A Geração de Viagens é estimada em função das características das zonas, através de regressões lineares de variáveis socioeconômicas das zonas de tráfego (população residente, total de empregos e matrículas escolares, renda média familiar, posse de automóveis etc.). São determinadas relações distintas para produção e atração de viagens, eventualmente desagregadas por motivo de viagem (trabalho, estudo, negócios, lazer etc.).

A Distribuição de Viagens é tipicamente realizada após a geração das viagens e consiste em distribuir entre os vários destinos os totais de viagens obtidos para cada zona na fase de geração (CARDOSO, 2005). Um dos modelos mais usados nessa etapa é o modelo gravitacional, que é uma analogia com a lei da gravidade de Newton. Este modelo baseia-se na suposição de que as viagens entre zonas são diretamente proporcionais à geração de viagem (respectivamente produção e atração) das zonas e inversamente proporcionais a uma função de separação espacial entre elas, normalmente conhecido como *custo generalizado da viagem* (isto é, atributos como custos, tempo de espera, tempo embarcado e nível de serviço oferecido pelo modo de transporte), pertencendo à categoria dos modelos



sintéticos (ORTÚZAR e WILLUMSEN, 1994). Na distribuição de viagens, a imposição dos valores obtidos na etapa de geração de viagem leva a utilizar procedimentos iterativos de balanceamento por origem ou por destino (unidimensionais) ou por origem e destino (bidimensionais).

A terceira etapa da modelagem, a Divisão Modal, é realizada tipicamente após a distribuição de viagens e consiste em distribuir o total de viagens, para cada par origem/destino (par O/D), entre os modos coletivo e individual de transporte. O modelo normalmente usado nesta etapa é o Logit Binomial, que representa a probabilidade das viagens serem realizadas por transporte coletivo, em relação ao transporte individual. Relaciona-se a utilidade dos modos em função do custo generalizado da viagem e dados dos viajantes, como renda e propriedade de automóvel.

A Alocação de Viagens, a última etapa na modelagem clássica, busca definir para cada modo as rotas utilizadas entre cada par O/D (CARDOSO, 2005). Esta alocação realiza-se na rede representativa do sistema de transporte existente. Um dos métodos usados para essa alocação é o do equilíbrio (WARDROP, 1952), onde os tempos entre todos os caminhos utilizados para um dado par O/D devem ser iguais (ou *em equilíbrio*), não permitindo ganho de tempo caso o usuário queira mudar de rota.

É de fundamental importância destacar que nesse trabalho em particular, quando retirada a CPTM da rede de transporte da RMSP, não foi realizada a etapa de Distribuição de Viagens. Isso se justifica porque partir da premissa que a CPTM não existiria na rede de transporte aumentaria muito o custo generalizado das viagens, mudando completamente o padrão de viagens existente no modelo de demanda, pois com o custo generalizado mais alto, as viagens realizadas no modelo gravitacional tendem a ser mais curtas (i.e., entre zonas de tráfego mais próximas), o que não corresponderia à realidade.

Optou-se então por utilizar o modelo de demanda a partir de sua terceira etapa, a Divisão Modal. Isto feito, não parte-se da premissa que a CPTM nunca existiu, e sim que seus serviços foram interrompidos por algum motivo. Com isso, a distribuição das viagens entre as zonas de tráfego não seriam afetadas, obtendo-se apenas o impacto que a falta do serviço ofertado pela CPTM teria na divisão das viagens entre os modos existentes na rede de simulação, com seus respectivos impactos na alocação dessas viagens no modelo.

#### Dados de Entrada

Com o processo de modelagem de demanda descrito anteriormente, o software EMME<sup>®</sup> disponibiliza os resultados tradicionais de alocação, sendo alguns utilizados como dados de entrada no modelo de benefícios socioeconômicos. São eles:

- passageiro\*km: corresponde ao somatório da quilometragem total percorrida por cada usuário do sistema de transporte da RMSP;
- passageiro\*hora: corresponde ao somatório do tempo de viagem gasto por cada usuário do sistema de transporte da RMSP;
- veículo\*km: corresponde ao somatório da quilometragem total percorrida por cada veículo (ônibus, trem etc.);
- velocidade média: corresponde à velocidade média, em km/h, de certo modo de transporte.

Esses quatro resultados foram estimados para as situações “com” e “sem” CPTM, na hora pico da manhã e expandidos, quando necessários, para valores anuais que são apresentados nas *Tabelas 1 a 4*.

Tabela 1 – Valores de passageiro\*km nas situações “com” e “sem” CPTM

Modo	Situação <b>com</b> CPTM		Situação <b>sem</b> CPTM	
	Hora pico da manhã	Valores Anuais	Hora pico da manhã	Valores Anuais
SPTrans	7.178.792	16.218.752.296	8.382.726	18.938.751.333
EMTU	3.975.273	8.981.172.333	6.095.489	13.771.290.189
Corredor ABD	489.438	1.105.767.333	601.709	1.359.417.533
Demais ônibus municipais	3.747.508	8.466.591.922	3.589.820	8.110.335.204
Metrô	2.636.375	5.956.254.630	2.845.451	6.428.610.841
Automóvel	19.463.312	43.972.668.846	20.902.919	47.225.113.057
CPTM	3.813.210	8.615.030.000	-	-

Tabela 2 – Valores de passageiro\*hora nas situações “com” e “sem” CPTM

Modo	Situação <b>com</b> CPTM		Situação <b>sem</b> CPTM	
	Hora pico da manhã	Valores Anuais	Hora pico da manhã	Valores Anuais
SPTrans	692.926	1.565.499.481	789.585	1.783.876.770
EMTU	271.303	612.943.815	474.064	1.071.034.385
Corredor ABD	31.970	72.228.519	45.939	103.786.981
Demais ônibus municipais	234.727	530.309.600	241.324	545.213.256
Metrô	82.797	187.059.889	89.336	201.832.281
Automóvel	943.450	2.131.497.357	1.143.098	2.582.555.611
CPTM	94.845	214.279.444	-	-

Tabela 3 – Valores de veículo\*km nas situações “com” e “sem” CPTM

Modo	Situação <b>com</b> CPTM		Situação <b>sem</b> CPTM	
	Hora pico da manhã	Valores Anuais	Hora pico da manhã	Valores Anuais
SPTrans	217.785	492.032.778	235.810	532.755.740
EMTU	114.980	259.769.630	167.588	378.624.719
Corredor ABD	8.970	20.265.556	10.121	22.866.393
Demais ônibus municipais	110.285	249.162.200	103.607	234.074.866
Metrô	9.299	21.009.946	9.299	21.009.946
Automóvel	13.610.708	30.750.118.074	14.617.426	33.024.554.585
CPTM	7.279	16.445.148	-	-



Tabela 4 – Valores de velocidades médias, em km/h, nas situações “com” e “sem” CPTM

Modo	Situação <b>com</b> CPTM	Situação <b>sem</b> CPTM
	Hora pico da manhã	Hora pico da manhã
SPTrans	10,15	10,26
EMTU	14,01	12,87
Corredor ABD	13,74	13,47
Demais ônibus municipais	16,68	15,68
Metrô	31,85	31,85
Automóvel	20,63	18,29
CPTM	40,15	-

A Tabela 5 mostra como estava representada a rede de transportes na rede de simulação, para o ano de 2010.

Tabela 5 – Caracterização da rede de simulação utilizada no EMME – Ano Base 2010

Intervenções viárias		Referência
Alargamento do Viaduto Moffarej e Av. Gastão Vidigal		2010
Nova Marginal Tietê		2010
Corredores SPTrans		Referência
Expresso Tiradentes		Em operação
Cachoeirinha		Em operação
Pirituba / São João		Em operação
Santo Amaro		Em operação
Rebouças/ Consolação		Em operação
Guarapiranga		Em operação
Paes de Barros		Em operação
Teotônio Vilela		Em operação
Ibirapuera/ João Dias		Em operação
Rio Bonito		Em operação
Itapecerica		Em operação
Corredores EMTU		Referência
Corredor ABD		Em operação
Metrô	Trecho	Intervalo – Pico Manhã
1 – Azul	Jabaquara – Tucuruvi	2 min
2 – Verde	Vila Prudente – Vila Madalena	2 min
3 – Vermelha	Corinthians-Itaquera – Palmeiras-Barra Funda	2 min
4 – Amarela	Faria Lima – Paulista	4 min
5 – Lilás	Largo 13 – Capão Redondo	3 min
CPTM	Trecho	Intervalo – Pico Manhã
Linha 7	Luz – Francisco Morato	7 min
Linha 8	Júlio Prestes – Itapevi	7 min
Linha 9	Osasco – Grajaú	6 min
Linha 10	Luz – Rio Grande da Serra	7 min
Linha 11	Guaianazes – Estudantes	9 min
Exp. Leste	Luz – Guaianazes	5 min
Linha 12	Brás – Calmon Vianna	6 min

Caracterizados os dados de entrada e a rede de simulação, a seguir será descrito o modelo de benefícios socioeconômicos utilizado.

## BENEFÍCIOS SOCIOECONÔMICOS DO SISTEMA SOBRE TRILHOS

Para o cálculo dos benefícios econômicos, utilizam-se os valores apresentados nas *Tabelas 1 a 4*. Além deles, outros valores serão utilizados, para que permitam a monetarização dos benefícios socioeconômicos. Nesse trabalho, considerou-se um fator de hora pico de 13,5% para todos os modos de transporte e um total de 305 dias úteis equivalentes para obter os valores anuais. Esses números são os utilizados pela CPTM em seus estudos de demanda.

Os benefícios associados aos sistemas de transporte podem ser caracterizados entre benefícios diretos e indiretos. Os benefícios diretos se referem aos benefícios econômicos gerados internamente aos sistemas de transportes e os indiretos estão relacionados aos impactos produzidos sobre o meio ambiente urbano.

### Benefícios Diretos

#### - Tempo de Viagem

Para calcular este benefício considera-se o resultado líquido da variação da quantidade total de horas gastas nas viagens entre as situações “com” e “sem” a presença da CPTM na rede de transportes da RMSP, com base em um valor dado para o tempo. Formalmente temos:

$$RTV_{mt} = \left[ \frac{\Delta Pass.h_{mt}}{FP_m} \times DA \right] \times VT \quad (1a)$$

onde  $RTV_{mt}$  é o benefício monetário referente à redução do tempo de viagem no ano  $t$ , para o modo de transporte  $m$ ;  $\Delta Pass.h_{mt}$  é a variação do produto passageiros\*hora referente às situações “com” e “sem” CPTM no período de pico do ano  $t$  para o modo  $m$ ;  $FP_m$  é o fator de pico do modo  $m$  referente à demanda total;  $DA$  é o total de dias referentes ao período de um ano e  $VT$  é o valor monetário (em reais) referente a uma hora de um passageiro do sistema de transporte público.

Para calcular o benefício total da redução do tempo de viagem gerado em certo ano, devemos realizar a soma dos benefícios de todos os modos de transporte  $m$ . Então:

$$RTVT_t = \sum_{m=1}^M RTV_{mt} \quad (1b)$$

onde  $RTVT_t$  é o benefício referente à redução do tempo de viagem no ano  $t$ ;  $M$  é o total de modos de transporte considerados na modelagem;  $m$  e  $RTV_{mt}$  seguem a mesma descrição da equação (1a).

Nesse trabalho, como já citado, temos os valores de  $FP_m = 13,5\%$  e  $DA = 305$  para todos os benefícios. Em relação ao valor do tempo,  $VT$ , foi considerada a renda média mensal dos

usuários de todos os modos de transporte da RMSP. Os valores foram retirados da Pesquisa Origem e Destino realizada em 2007. Para trabalhar com valores correspondentes a 2010, utilizou-se o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), produzido pelo IBGE. A *Tabela 6* apresenta os valores encontrados na Pesquisa O/D, a respectiva atualização monetária e a demanda estimada pelo software EMME para 2010 na hora pico da manhã.

*Tabela 6 – Renda média mensal dos usuários de todos os modos de transporte da RMSP segundo a Pesquisa O/D*

Modo	Renda Média Mensal para RMSP em 2007	Valores Corrigidos para 2010	Demanda - Hora Pico da Manhã
SPTrans	R\$ 867,73	R\$ 1.008,88	922.208
EMTU	R\$ 896,50	R\$ 1.042,33	299.794
Demais ônibus municipais	R\$ 787,38	R\$ 915,46	640.635
Metrô	R\$ 1.168,21	R\$ 1.358,24	396.167
CPTM	R\$ 963,45	R\$ 1.120,17	225.058
Automóvel	R\$ 1.987,90	R\$ 2.311,26	1.291.196

Fonte: CPTM – Pesquisa O/D 2007 – IBGE

Utilizando-se de uma ponderação entre a renda média mensal de cada modo e a demanda estimada, o valor da renda média mensal da RMSP para usuários de transporte encontrado foi de R\$ 1.484,44, referente ao ano de 2010. Como a metodologia apresentada utiliza valores monetários para o valor da hora dos usuários, precisamos transformar o valor mensal encontrado em horário. Desta forma, considerou-se o total de 160 horas trabalhadas em um mês. Além disso, utilizou-se também o fator de redução indicado pela metodologia do BNDES de 30%. Este fator corresponde ao produto do percentual de viagens a trabalho, 50%, com o percentual de utilização econômica do tempo economizado, 60%. A *Tabela 7* resume o valor do tempo, VT.

*Tabela 7 – Cálculo do valor do tempo horário para a RMSP*

Valor do tempo	
Renda média mensal - RMSP (todos os modos)	R\$ 1.484,44
Horas trabalhadas no mês	160
Fator de correção	30,00%
<i>VT (horário)</i>	R\$ 2,78

Fonte: BNDES

#### - Custos Operacionais

A multiplicação do produto veículos\*km pelo custo unitário de operação produz o custo total de operação para certo modo de transporte e, a partir disso, pode ser determinado o benefício líquido anual pela redução dos custos de operação do sistema.

Vale lembrar que a redução de custo referente à menor quantidade de combustível consumida não é considerada neste benefício, dado que o próximo item trata especificamente deste ganho. Posto isto, a formulação da redução do custo operacional de um modo é:

$$RCO_{mt} = \left[ \frac{\Delta Veic.km_{mt}}{FP_m} \times DA \right] \times Cop_m \quad , \quad (2a)$$

onde  $RCO_{mt}$  é a redução do custo operacional gerada entre as situações “com” e “sem” a presença da CPTM na rede de transportes da RMSP no ano  $t$  para o modo de transporte  $m$ ;  $\Delta Veic.km_{mt}$  é a variação do produto veículos\*km no período de pico do ano  $t$  para o modo  $m$ ;  $Cop_m$  é o custo unitário de operação de um quilômetro do modo de transporte  $m$  e  $FP_m$  e  $DA$  seguem mesma definição anterior.

Mais uma vez, para calcular o benefício total gerado pelo projeto referente à redução dos custos de operação, devemos realizar o somatório de todos os modos de transporte  $m$ :

$$RCOT_t = \sum_{m=1}^M RCO_{mt} \quad , \quad (2b)$$

onde  $RCOT_t$  é a redução do custo de operação gerado de todo o sistema de transporte no ano  $t$ ;  $M$  é o total de modos de transporte  $m$ , de todo o sistema e  $RCO_{mt}$  segue a mesma descrição da equação (2a).

Para o cálculo deste benefício, considerou-se apenas o custo operacional dos ônibus e dos automóveis, pois para o metrô não houve variação na quilometragem rodada.

Desta forma, é necessário apresentar o valor do quilômetro rodado para os ônibus e para o automóvel. Para os ônibus, utilizou-se o valor apresentado pela Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos – EMTU, onde um quilômetro rodado de um ônibus custa em média **R\$ 3,00**, sem considerar gastos com combustíveis. Este valor foi encontrado considerando gastos como depreciação, pessoal, impostos, entre outros. Já para o automóvel, utilizou-se o valor de **R\$ 0,43** por quilômetro rodado, retirado da média de valores cobrados pelas empresas de aluguel de veículos no município de São Paulo.

#### - Custos com combustíveis

No caso de custos com combustíveis, a metodologia é praticamente idêntica à adotada para os custos operacionais. O que vai diferir é apenas o valor do custo do quilômetro rodado para cada modo. Assim, os modos sobre trilhos apresentam custo igual à zero, pelo fato de não se utilizarem combustíveis.

Para os ônibus, segundo dados fornecidos pela EMTU, o custo médio com combustíveis para um quilômetro rodado é de **R\$ 0,70**. Para os automóveis, o valor apresentado pelas empresas de aluguel de veículos foi de **R\$ 0,25**. Sendo assim, para realizar o cálculo do benefício com redução dos custos com combustíveis basta utilizar as fórmulas (2a) e (2b), mas substituindo  $Cop_m$  quando o modo for ônibus ou automóvel.

#### Benefícios Indiretos

##### - Redução do número de acidentes

A fonte deste benefício consiste na variação da quilometragem percorrida pelos usuários do sistema de transporte referente às situações “com” e “sem” a presença da CPTM na rede de transportes da RMSP.



O procedimento de cálculo adotado para este tipo de benefício considera os custos específicos de acidentes para cada modo de transporte. Os produtos destes custos específicos pelo diferencial do total de passageiros\*km em um ano determinam os benefícios.

A formulação matemática da redução do custo de acidentes para cada modo de transporte considerado é dada por:

$$RAcid_{mt} = \left[ \frac{\Delta Pass.km_{mt}}{FP_m} \times DA \right] \times CAcid_m, \quad (3a)$$

onde  $RAcid_{mt}$  é o benefício monetário gerado referente à redução dos acidentes no modo de transporte  $m$  para o ano  $t$ ;  $\Delta Pass.km_{mt}$  é a variação do produto passageiros\*km entre as situações “com” e “sem” a presença da CPTM na rede de transportes da RMSP no período de pico do ano  $t$  para o modo  $m$ ;  $CAcid_m$  é o valor monetário (em reais) de um acidente por quilômetro para o modo de transporte  $m$  e  $FP_m$  e  $DA$  seguem mesma definição anterior.

Então, para calcular o benefício total do sistema de transporte, utiliza-se a soma dos benefícios dos  $m$  modos de transporte:

$$RAcidT_t = \sum_{m=1}^M RAcid_{mt}, \quad (3b)$$

onde  $RAcidT_t$  é o benefício gerado pelo projeto referente à redução dos acidentes para todo sistema de transporte no ano  $t$ ,  $M$  é o total de modos de transporte  $m$ , de todo o sistema e  $RAcid_{mt}$  segue a mesma descrição da equação (3a).

Os valores utilizados para  $CAcid_m$  são apresentados na Tabela 8. A fonte para estes valores é o Banco Mundial.

Tabela 8 – Valores monetários do acidente por modo

Modo	Valor do acidente
Ônibus	R\$ 6,30 por 1000 pass*km
Automóvel	R\$ 66,90 por 1000 pass*km
Metrô	R\$ 0,00 por 1000 pass*km
Trem	R\$ 0,00 por 1000 pass*km

Fonte: Banco Mundial

#### - Redução da poluição

Este benefício é gerado em função da redução da quantidade de poluentes emitida por cada modo de transporte entre as situações “com” e “sem” a presença da CPTM na rede de transportes da RMSP. A diferença da quantidade de poluentes emitida, medida em tonelada/km, de cada tipo de poluente, multiplicada pelo valor monetário de uma tonelada/km deste poluente determina o benefício gerado pela redução da poluição.

Agora, a formulação matemática do benefício ganha um novo subscrito,  $p$ , que se refere ao tipo de poluente que é gerado por certo modo de transporte. A adição deste termo, além dos subscritos  $m$  e  $t$  que já apareceram nas formulações anteriores, é necessária devido ao fato dos valores monetários serem, agora, referentes a uma tonelada/km para cada tipo de poluente. Assim, temos:

$$RPol_{mtp} = \left[ \frac{\Delta Pol_{mtp}}{FP_m} \times DA \right] \times VPol_p, \quad (4a)$$

onde  $RPol_{mtp}$  é o benefício monetário gerado referente à redução da emissão do poluente  $p$  pelo modo de transporte  $m$  no ano  $t$ ;  $\Delta Pol_{mtp}$  é a variação entre as situações “com” e “sem” a presença da CPTM na rede de transportes da RMSP da quantidade de tonelada/km do poluente  $p$  no período de pico do ano  $t$  realizada pelo modo  $m$ ;  $VPol_p$  é o valor monetário (em reais) de uma tonelada do poluente  $p$  e  $FP_m$  e  $DA$  seguem mesma definição anterior.

Diferentemente dos benefícios descritos anteriormente, no caso da redução da poluição, o benefício total do sistema de transporte deve, além de somar os benefícios de cada modo de transporte, somar os benefícios de cada tipo de poluente. Formalmente temos:

$$RPolT_t = \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P RAcid_{mt}, \quad (4b)$$

onde  $RPolT_t$  é o benefício gerado referente à redução da poluição para todo sistema de transporte no ano  $t$ ;  $M$  é o total de modos de transporte,  $m$ , de todo o sistema;  $P$  é o total de poluentes  $p$ , emitidos pelos diversos modos de transporte e  $RPol_{mtp}$  segue a mesma descrição da equação (4a).

Os modos sobre trilhos são considerados como não poluentes, ou seja, apenas a redução da quilometragem dos ônibus e do automóvel gera o benefício.

Como pode ser notado nos indicadores, não é conhecida a quantidade de tonelada/km, necessária para o cálculo de  $\Delta Pol_{mtp}$  presente na fórmula (4a). Sendo assim, a Tabela 9 apresenta as fórmulas das quantidades emitidas de poluentes por quilômetro rodado em função da velocidade do veículo, baseada no estudo realizado pela Associação Nacional de Transportes Públicos – ANTP em parceria com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, de 1998.

Tabela 9 – Quantidade de poluentes emitidos por quilômetro rodado em função da velocidade

Poluente	Função matemática
CO (g/km)	CO = 43,34 - 8,98 ln(V)
HC (g/km)	HC = 14,14 - 3,67 ln(V)
NO <sub>x</sub> (g/km)	NO <sub>x</sub> = 37,21 - 6,46 ln(V)
SO <sub>x</sub> (g/km)	SO <sub>x</sub> = 3,127 - 0,7858 ln(V)
MP (g/km)	MP = 1,74 - 0,32 ln(V)
CO <sub>2</sub> (g/km)	CO <sub>2</sub> = 3002,8 - 582,9 ln(V)

Fonte: ANTP – IPEA

Na *Tabela 9*,  $\ln(\ )$  representa o logaritmo natural, isso é, cuja base é  $e$ , sendo  $e$  um número irracional que vale aproximadamente 2,718 (número de Euler), e  $V$  representa a velocidade em km/h dos ônibus e do automóvel.

É importante destacar que não é calculada a emissão de Material Particulado (MP) para o automóvel.

Assim, com as velocidades médias dos ônibus e do automóvel, pode-se calcular a tonelada/km necessária para o cálculo de  $\Delta Pol_{mp}$ . Resta agora apresentar os valores monetários da tonelada de cada tipo de poluente. Segundo valores utilizados no estudo da ANTP – IPEA, a *Tabela 10* apresenta o custo de uma tonelada emitida por poluente. Os valores estão em dólares relativos ao ano de 2006.

*Tabela 10 – Custo da tonelada emitida por poluente*

US\$/t em 2006	
CO	\$517,94
HC	\$2.292,62
NO <sub>x</sub>	\$2.650,06
SO <sub>x</sub>	\$10.086,83
MP	\$13.554,21
CO <sub>2</sub>	\$83,24

Fonte: ANTP – IPEA

O próximo passo é corrigir os valores apresentados na *Tabela 10* para que depois possa ser realizada a conversão para a moeda brasileira, o Real. Por se tratar de valores em dólar, o índice de inflação utilizado nesse caso foi o Consumer Price Index (CPI) calculado pelo U.S. Bureau of Labor Statistics (BLS). Para converter em valores brasileiros, além da taxa de câmbio, foi considerada também a paridade do poder de compra entre Brasil e Estados Unidos. Segundo o Banco Mundial, o fator de conversão a ser utilizado entre esses dois países é de 0,8. Já a taxa de câmbio aproximada observada para o mês de Outubro de 2010 é de R\$ 1,75. A *Tabela 11* resume os índices discutidos.

*Tabela 11 – Índices utilizados para conversão*

Inflação US\$ - 2006 / 2010 (CPI)	8,14%
Fator de conversão da paridade de poder de compra (BR - EUA)	0,8
Taxa de câmbio R\$/US\$	R\$ 1,75

Fonte: U.S. Bureau of Labor Statistics (BLS) – Banco Mundial

Por fim, conforme os resultados apresentados na *Tabela 10* e os índices da *Tabela 11*, a *Tabela 12* apresenta os valores de  $VPol_p$  a serem utilizados na fórmula (4a).

Tabela 12 - Custo da tonelada emitida por poluente em valores de 2010 convertidos em Reais para o Brasil

Poluente	US\$/t em 2006	US\$/t em 2010	R\$/t em 2010
CO	\$517,94	\$560,10	R\$ 784,14
HC	\$2.292,62	\$2.479,24	R\$ 3.470,93
NO <sub>x</sub>	\$2.650,06	\$2.865,77	R\$ 4.012,08
SO <sub>x</sub>	\$10.086,83	\$10.907,90	R\$ 15.271,06
MP	\$13.554,21	\$14.657,52	R\$ 20.520,53
CO <sub>2</sub>	\$83,24	\$90,02	R\$ 126,02

## RESULTADOS

As Tabelas 13 a 20 mostram os resultados, já “monetarizados”, dos benefícios diretos e indiretos gerados pela presença da CPTM na rede de transportes da Região Metropolitana de São Paulo.

Tabela 13 – Valores finais do benefício socioeconômico direto pela redução do tempo de viagem

Modo	Situação <b>com</b> CPTM		Situação <b>sem</b> CPTM	
	Pass*hora Anual	Pass*hora em R\$	Pass*hora Anual	Pass*hora em R\$
Ônibus	2.780.981.415	7.740.371.075,29	3.503.911.393	9.752.519.110,86
Automóvel	2.131.497.357	5.932.646.798,78	2.582.555.611	7.188.087.861,31
Metrô	187.059.889	520.648.195,04	201.832.281	561.764.541,64
CPTM	214.279.444	596.409.023,60	-	-
<b>Total</b>	<b>5.313.818.105</b>	<b>14.790.075.092,71</b>	<b>6.288.299.285</b>	<b>17.502.371.513,82</b>
<b>Benefício Produzido (R\$)</b>		<b>2.712.296.421,11</b>		

Tabela 14 – Valores finais do benefício socioeconômico direto pela redução do custo operacional de viagem

Modo	Situação <b>com</b> CPTM		Situação <b>sem</b> CPTM	
	Veículo*km Anual	Veículo*km em R\$	Veículo*km Anual	Veículo*km em R\$
Ônibus	1.021.230.163	3.063.690.489	1.168.321.717	3.504.965.152,32
Automóvel	30.750.118.074	13.068.800.181	33.024.554.585	14.035.435.698,70
Metrô	21.009.946	-	21.009.946	-
CPTM	16.445.148	-	-	-
<b>Total</b>	<b>31.808.803.332</b>	<b>16.132.490.670,01</b>	<b>6.288.299.285</b>	<b>17.540.400.851,02</b>
<b>Benefício Produzido (R\$)</b>		<b>1.407.910.181,01</b>		



Tabela 15 – Valores finais do benefício socioeconômico direto pela redução do custo do combustível na viagem

Modo	Situação <b>com</b> CPTM		Situação <b>sem</b> CPTM	
	Veículo*km Anual	Veículo*km em R\$	Veículo*km Anual	Veículo*km em R\$
Ônibus	1.021.230.163	755.710.321	1.168.321.717	864.558.070,91
Automóvel	30.750.118.074	7.687.529.519	33.024.554.585	8.256.138.646,30
Metrô	21.009.946	-	21.009.946	-
CPTM	16.445.148	-	-	-
<b>Total</b>	<b>31.808.803.332</b>	<b>8.443.239.839,02</b>	<b>6.288.299.285</b>	<b>9.120.696.717,20</b>
<b>Benefício Produzido (R\$)</b>		<b>677.456.878,18</b>		

Tabela 16 – Valores finais do benefício socioeconômico indireto pela redução do número de acidentes

Modo	Situação <b>com</b> CPTM		Situação <b>sem</b> CPTM	
	Pass*km Anual	Pass*km em R\$	Veículo*km Anual	Veículo*km em R\$
Ônibus	34.772.283.885	219.065.388,48	42.179.794.259	265.732.703,83
Automóvel	43.972.668.846	2.941.771.545,79	47.225.113.057	3.159.360.063,50
Metrô	5.956.254.630	-	6.428.610.841	-
CPTM	8.615.030.000	-	-	-
<b>Total</b>	<b>93.316.237.361</b>	<b>3.160.836.934,27</b>	<b>6.288.299.285</b>	<b>3.425.092.767,33</b>
<b>Benefício Produzido (R\$)</b>		<b>264.255.833,06</b>		

Tabela 17 – Total de poluentes emitidos por modo de transporte no ano de 2010 **com** a presença da CPTM na rede de transporte da RMSP

Modo	CO (ton./ano)	HC (ton./ano)	NO <sub>x</sub> (ton./ano)	SO <sub>x</sub> (ton./ano)	MP (ton./ano)	CO <sub>2</sub> (ton./ano)
SPTans	11.085,05	2.772,54	10.942,38	642,56	491,25	812.810,88
EMTU	5.100,54	1.156,50	5.236,20	273,45	232,56	380.322,81
Corredor ABD	401,45	91,67	411,04	21,64	18,27	29.900,22
Demais ônibus municipais	4.501,96	949,77	4.741,61	228,13	209,16	339.457,77
Metrô	-	-	-	-	-	-
Automóvel	962.486,13	84.519,75	32.651,15	4.920,02	-	13.821.792,45
CPTM	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>983.575,13</b>	<b>89.490,23</b>	<b>53.982,37</b>	<b>6.085,80</b>	<b>951,24</b>	<b>15.384.284,13</b>

Tabela 18 – Total de poluentes emitidos por modo de transporte no ano de 2010 *sem* a presença da CPTM na rede de transporte da RMSP

Modo	CO (ton./ano)	HC (ton./ano)	NO <sub>x</sub> (ton./ano)	SO <sub>x</sub> (ton./ano)	MP (ton./ano)	CO <sub>2</sub> (ton./ano)
SPTrans	11.950,93	2.980,93	11.810,92	691,23	530,07	876.735,57
EMTU	7.722,81	1.803,59	7.839,56	423,82	349,26	573.067,20
Corredor ABD	457,05	105,10	466,73	24,78	20,76	34.002,07
Demais ônibus municipais	4.359,31	945,37	4.547,98	225,69	201,13	327.338,30
Metrô	-	-	-	-	-	-
Automóvel	1.178.539,31	103.567,46	34.841,31	5.283,93	-	16.715.065,15
<b>Total</b>	<b>1.203.029,41</b>	<b>109.402,45</b>	<b>59.506,50</b>	<b>6.649,44</b>	<b>1.101,21</b>	<b>18.526.208,29</b>

Tabela 19 – Valores finais do benefício socioeconômico indireto pela redução de gases poluentes emitidos na atmosfera

Poluente	Situação <b>com</b> CPTM		Situação <b>sem</b> CPTM	
	ton./ano (2010)	Custo em R\$	ton./ano (2010)	Custo em R\$
CO	983.575	771.261.035,47	1.203.029	943.344.016,81
HC	89.490	310.614.777,96	109.402	379.728.786,71
NO <sub>x</sub>	53.982	216.581.845,10	59.506	238.745.112,91
SO <sub>x</sub>	6.086	92.936.660,79	6.649	101.543.994,31
MP	951	19.520.027,08	1.101	22.597.430,94
CO <sub>2</sub>	15.384.284	1.938.758.722,88	18.526.208	2.334.710.383,95
<b>Total</b>	<b>16.518.369</b>	<b>3.349.673.069,28</b>	<b>19.905.897</b>	<b>4.020.669.725,62</b>
<b>Benefício Produzido (R\$)</b>		<b>670.996.656,34</b>		

Tabela 20 – Resumo do total de benefícios socioeconômicos produzidos pela CPTM no ano de 2010 em reais

Benefício	Valor (R\$)	%
Redução do tempo de viagens	2.712.296.421,11	47,3%
Redução de custo operacional de ônibus e automóveis	1.407.910.181,02	24,6%
Redução do consumo de combustível	677.456.878,18	11,8%
<b>Total de Benefícios Diretos (A)</b>	<b>4.797.663.480,31</b>	<b>83,7%</b>
Redução do número de acidentes	264.255.833,07	4,6%
Redução da emissão de poluentes na atmosfera	670.996.656,34	11,7%
<b>Total de Benefícios Indiretos (B)</b>	<b>935.252.489,40</b>	<b>16,3%</b>
<b>TOTAL GERAL (A+B)</b>	<b>5.732.915.969,72</b>	<b>100,0%</b>



## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesse trabalho evidenciam a relevância econômica e social do serviço prestado pela CPTM para a RMSP.

Do total de benefícios gerados, mais de 80% refere-se a ganhos diretos no sistema de transporte, sendo que mais de 50% deles é referente ao ganho de tempo nos deslocamentos realizados pela população.

Ainda que componha a menor parte dos benefícios gerados, os ganhos com a redução de acidentes e com a diminuição de emissão de poluentes na atmosfera comprovam que a CPTM colabora não só para o desenvolvimento econômico da RMSP, mas sim para a qualidade de vida de sua população.

Os benefícios gerados pela CPTM para o ano de 2010 equivalem a mais de 13 vezes o valor da subvenção dada à empresa pelo Governo do Estado de São Paulo no mesmo período, informação que se torna extremamente útil na obtenção de novos recursos e investimentos.

O valor de R\$ 5,73 bilhões para o exercício de 2010 equivale, ainda, a 48,6% dos valores previstos de investimento no sistema de trens da CPTM no último Plano Plurianual de Investimentos do Governo do Estado de São Paulo (PPA 2008 – 2011), mostrando que todo investimento realizado na CPTM tem um elevado retorno para a sociedade, mesmo com a subvenção dada à empresa.

Por fim, a metodologia aqui apresentada representa a aquisição de um novo instrumento de avaliação do desempenho, incorporando técnicas claras, seguras e de imediata aplicação para a CPTM, sendo o ponto de partida para a empresa apresentar o seu Balanço Social.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARTHOLOMEU, D. B. e CAIXETA FILHO, J. V., 2008. *Impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação da rodovias brasileiras: um estudo de caso*. Revista de economia e sociologia rural, vol. 46, n. 3. Brasília.

CAMPOS, V. B. G., 2006. *Uma visão da mobilidade urbana sustentável*. Revista dos Transportes Públicos. Rio de Janeiro.

CARDOSO, C. E. P., 2005, *Modelagem em Tráfego e Transporte*, Documento para Discussão. Disponível em [www.sinaldetransito.com.br/artigos/modelagem\\_de\\_viagens.pdf](http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/modelagem_de_viagens.pdf).

CMSP. *Pesquisa Origem e Destino 2007*: Região Metropolitana de São Paulo. Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô. São Paulo, Brasil.

COSTA, M. S., 2003. *Mobilidade urbana sustentável: um estudo comparativo e as bases de um sistema de gestão para Brasil e Portugal*. Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

DANIEL, C., 1996. *Uma estratégia econômica pra o Grande ABC*. São Paulo em perspectiva. São Paulo.

DAVID, A. R., 2003. *Balanço Social: Uma análise das informações evidenciadas pelas empresas*. IX convenção de contabilidade do Rio Grande do Sul. Gramado.

FARIA, W. F., 2009. *Efeitos regionais de investimentos em infra-estrutura de transporte rodoviário*. Dissertação apresentada ao curso de mestrado em economia do centro de desenvolvimento e planejamento regional da faculdade de ciências econômicas da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.

HADDAD, E. A., 2006. *Transporte, eficiência e desigualdade regional: avaliação com um modelo CGE para o Brasil*. Pesquisa e planejamento econômico, vol. 36, num. 3. Rio de Janeiro.

HOTTA, L. H., 2007. *Avaliação comparativa de tecnologia de transporte público urbano: ônibus x transporte individualizado*. Dissertação apresentada ao Departamento de transportes, da escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos.

LACERDA, S. M., 2006. *Precificação de congestionamento e transporte coletivo urbano*. BNDES Setorial, n. 23, p. 85-100. Rio de Janeiro.



LUCENA, L. F. L., 2010. *A análise multicriterial na avaliação de impactos ambientais*. Disponível em [www.nepam.unicamp.br/ecoeco/artigos/encontros/downloads/mesa3/7.pdf](http://www.nepam.unicamp.br/ecoeco/artigos/encontros/downloads/mesa3/7.pdf).

MARTINS, R. S. e CAIXETA FILHO, J. V. C., 1998. *O desenvolvimento dos sistemas de transporte: auge abandono e reativação recente das ferrovias*. Teoria e Evidência Econômica, v.6, n. 11, p. 69-91. Passo Fundo.

ORTÚZAR, J. de D.; WILLUMSEN, L. G., 1994. *Modelling Transport - Second Edition*, Chischester, England.

RIGOLON, F. J. Z., 1998. *O investimento em infra-estrutura e a retomada do crescimento econômico sustentado*. Pesquisa e Planejamento Econômico, vol. 28, n. 1. Rio de Janeiro.

VASCONCELLOS, E. A., 2000. *Transporte urbano nos países em desenvolvimento: reflexões e propostas*. Annablume, 3ª ed. São Paulo.

WARDROP, J. G., 1952. *Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research, Proceedings, Institution of Civil Engineers, PART II, Vol.1.*