



CAPACIDADE DE TRANSPORTE POR MODO

Antonio Maria Claret dos Reis Andrade
Brazil Itirou Atobe

28/09/2.014



INTRODUÇÃO

- A quantificação de capacidade máxima de cada modo de transporte e carregamento de cada modalidade de transporte será necessário definir as condições de cada modo. Para este trabalho serão considerado as seguintes aspectos:
- Ônibus;
- Trólebus;
- Veículo leve sobre trilho - VLT;
- Monotrilho;
- Metrô; e
- Trem Metropolitano.



MODO ÔNIBUS

- ▶ A capacidade de corredor de ônibus depende de vários parâmetros:
 - ▶ tempo de cruzamento;
 - ▶ tipo de ônibus;
 - ▶ tipo de paradas:
 - ▶ com ultra passagem;
 - ▶ múltiplas paradas;
 - ▶ altura do piso de embarque e desembarque; e
 - ▶ cobrança interna ou externa a ônibus, etc.
 - ▶ Frequência de serviço – HW.



TIPOS DE ÔNIBUS

ÔNIBUS	CAPACIDADES (passageiros)
Ônibus Básico	75
Ônibus Padron 12,5 m	86
Ônibus Padron 15 m	99
Ônibus Articulado 18,6 m	111
Ônibus Super articulado 23m	170
Ônibus Bi articulado 27 m	198

PARAMETROS ADOTADO

CARACTERISCAS	FATOR	UNIDADE
Fator de ocupação, horário de pico	0,85	-
Tempo de parada, horário de pico	20 a 40	segundos
Frequência de serviço - HW	60	segundos
Número de baias de paradas	1 a 4	baias

FORMULA

➤ CÁLCULO DE CAPACIDADE DO CORREDOR DE ÔNIBUS

➤ $C_{\text{Corredor Básica}} = C_{\text{Veículo}} \times \text{Fator de Ocupação} \times \text{Frequência Máxima de serviço em uma baia} \times \text{Número de baias de parada}$

➤ CÁLCULO DE CAPACIDADE DO CRUZAMENTO

➤ $C_{\text{apac}} C_{\text{cruz}} = Q_{\text{uant}} C_{\text{iclo}} * Q_{\text{uant}} O_{\text{nib}} V_{\text{mínimo}} \times C$

➤ CÁLCULO DE CAPACIDADE OPERACIONAL NAS PARADAS COM SUB-PARADAS E LINHAS EXPRESSAS

➤
$$Cap = \frac{N_{\text{par}} \times X \times 3600}{\frac{T_{\text{mor}} \times (1 - Dir)}{NP_{\text{bus}}} + F_{\text{ren}} \times T_{\text{pax}}} \text{ (passageiro/hora/sentido)}$$

CÁLCULO DE CAPACIDADE DO CORREDOR DE ÔNIBUS PARA UMA BAIA DE PARADA

ÔNIBUS	CAPACIDADE DOS VEÍCULOS	CAPACIDADE (passageiros por hora sentido)
Ônibus Básico	75	3.825
Ônibus Padron 12,5 m	86	4.386
Ônibus Padron 15 m	99	5.049
Ônibus Articulado 18,6 m	111	5.661
Ônibus Super-Articulado 23 m	170	8.670
Ônibus Bi-articulado 27 m	198	10.098
6 passageiros / m ²		

CÁLCULO DE CAPACIDADE DO CORREDOR DE ÔNIBUS PARA DUAS BAIA DE PARADAS

ÔNIBUS	CAPACIDADE DOS VEÍCULOS	CAPACIDADE (passageiros por hora sentido)
Ônibus Básico	75	7.650
Ônibus Padron 12,5 m	86	8.772
Ônibus Padron 15 m	99	10.098
Ônibus Articulado 18,6 m	111	11.322
Ônibus Super-Articulado 23 m	170	17.340
Ônibus Bi-articulado 27 m	198	20.196
6 passageiros / m ²		

CÁLCULO DE CAPACIDADE DO CORREDOR DE ÔNIBUS PARA TRÊS BAIA DE PARADAS

ÔNIBUS	CAPACIDADE DOS VEÍCULOS	CAPACIDADE (passageiros por hora sentido)
Ônibus Básico	75	11.475
Ônibus Padron 12,5 m	86	13.158
Ônibus Padron 15 m	99	15.147
Ônibus Articulado 18,6 m	111	16.983
Ônibus Super-Articulado 23 m	170	26.010
Ônibus Bi-articulado 27 m	198	30.294
6 passageiros / m ²		

CÁLCULO DE CAPACIDADE DO CORREDOR DE ÔNIBUS PARA QUATRO BAIA DE PARADAS

ÔNIBUS	CAPACIDADE DOS VEÍCULOS	CAPACIDADE (passageiros por hora sentido)
Ônibus Básico	75	15.300
Ônibus Padron 12,5 m	86	17.544
Ônibus Padron 15 m	99	20.196
Ônibus Articulado 18,6 m	111	22.644
Ônibus Super-Articulado 23 m	170	34.680
Ônibus Bi-articulado 27 m	198	40.392
6 passageiros / m ²		

CÁLCULO DE CAPACIDADE DO CRUZAMENTO

PARAMETROS UTILIZADOS

- ▶ Tempo de ciclo dos semáforos: $T_c = 60$ segundos = Headway
- ▶ $T_{VA} = 26$ segundos (verde mínimo);
- ▶ $T_{EVA} = 4$ segundos (amarelo + vermelho geral);
- ▶ $T_{VB} = 26$ segundos;
- ▶ $T_{EVB} = 4$ segundos (amarelo + vermelho geral);
- ▶ T_{VX} – tempo verde
- ▶ T_{EVX} – tempo entreverdes
- ▶ X – estágio de passagem na via A ou na via B de um cruzamento.

CÁLCULO DE CAPACIDADE DO CRUZAMENTO

EQUAÇÃO DE GREENSHIELDS

- Os atrasos iniciais dos veículos sucessivos de uma fila que inicia o movimento são determinados pela equação de Greenshields:

$$TV = a + b \times n \times k$$

- TV – Tempo Verde necessário para escoar a fila de n veículos em segundo;
- a = 3,7 para veículos de passageiro leve;
- b = 2,1 para veículo de passageiro leve;
- k – coeficiente de equivalência, que transformam os veículos que não sejam “leves” em um número equivalente de veículos de passageiros.
- Ônibus = 2,25;
- Ônibus conjugado = 2,5.

CÁLCULO DE CAPACIDADE DO CRUZAMENTO

CÁLCULO DE QUANTIDADE DE ÔNIBUS

- Cálculo de quantidade de ônibus “conjugado” que passa no verde mínimo $Q_{uant} O_{nib} V_{mínimo}$
- $Q_{uantOnib} V_{mínimo} = T_{VA mín.} - a / b \times k$
- $Q_{uantOnib} V_{mínimo} = 4,24 \rightarrow 4 \text{ ônibus}$

- Cálculo de quantidade de ciclo do semáforo em 1 hora – $QuantCiclo$
- $Q_{uant} C_{iclo} = 1 \text{ hora} / t_c$
- $Q_{uant} C_{iclo} = 3600 / 60 = 60$

CÁLCULO DE CAPACIDADE DO CRUZAMENTO

CAPACIDADE DO CRUZAMENTO

- Cálculo de capacidade do cruzamento - $C_{apac} C_{cruz}$
- $C_{apac} C_{cruz} = Q_{uant} C_{iclo} * Q_{uant} O_{nib} V_{mínimo} \times C$
- ÔNIBUS ARTICULADO
 - $C_{apac} C_{cruz} = 60 * 4 * 110 = \mathbf{26.640 \text{ pass./h.}}$
- ÔNIBUS SUPER-ARTICULADO
 - $C_{apac} C_{cruz} = 60 * 4 * 170 = \mathbf{40.800 \text{ pass./h.}}$
- ÔNIBUS BI-ARTICULADO
 - $C_{apac} C_{cruz} = 60 * 4 * 190 = \mathbf{47.520 \text{ pass./h.}}$

CÁLCULO DE CAPACIDADE OPERACIONAL NAS PARADAS COM SUB-PARADAS E LINHAS EXPRESSAS

$$\text{Cap} = \frac{N_{\text{par}} \times X \times 3600}{\frac{T_{\text{mor}} \times (1 - \text{Dir})}{NP_{\text{bus}}} + F_{\text{ren}} \times T_{\text{pax}}} \text{ (passageiro/hora/sentido)}$$

- C_{ap} – Capacidade operacional (passageiros/hora/sentido);
- N_{par} – Número de baias de paradas na estação;
- X – Nível de saturação;
- 3.600 – Número de segundos em uma hora;
- T_{mor} – Tempo morto de parada na estação;
- Dir – Porcentagem de veículos que passam direto pela estação;
- NP_{bus} – Capacidade do Veículo;
- F_{ren} – Fator de renovação de passageiros na estação;
- T_{pax} – Tempo médio de embarque e desembarque por passageiro

CÁLCULO DE CAPACIDADE OPERACIONAL NAS PARADAS COM SUB-PARADAS E LINHAS EXPRESSAS

	Tempo de embarque e desembarque	Quant. de Paradas por estação	Porcentagem de linha Expressa (%)	Número de linhas	Capacidade Operacional (pass./h./sentido)	Capacidade Operacional (pass./h./sentido)	Capacidade Operacional (pass./h./sentido)	Capacidade Operacional (pass./h./sentido)
	T_{pax}	N_{par}	Dir		15 m	18 m	23m	27m
Convencional	2	1	0%	1	2.736	2.785	2.991	3.043
Plataforma em nível	1	1	0%	1	1.160	4.541	5.118	5.270
Pagamento externo	0,33	1	0%	1	7.490	7.864	9.771	10.342
Comboio	0,33	4	0%	1	29.959	31.455	39.085	41.370
Múltipla paradas	0,33	3	0%	2	22.469	23.591	29.313	31.027
Linhas expressas	0,33	3	40%	2	30.475	31.702	37.623	39.294
Linhas expressas	0,33	3	60%	2	37.080	38.282	43.836	45.334
Nº de passageiros por ônibus					99	111	170	198

6 passageiros / m²

MODO ÔNIBUS

- ▶ As condições da capacidade máxima do ônibus - CAPACIDADE - 45.334 passageiros / hora / sentido:
 - ▶ T_{pax} - Tempo médio de embarque e desembarque por passageiro - 0,33
 - ▶ N_{par} - Número de baias de paradas na estação - 3
 - ▶ Dir - Porcentagem de veículos que passam direto pela estação - 60%
 - ▶ X - Nível de saturação - 0,4
 - ▶ $Fren$ - Fator de renovação de passageiros na estação - 0,2
 - ▶ NP_{bus} - Capacidade do Veículo - 192
 - ▶ T_{mor} - Tempo morto de parada na estação - 14,5

MODO TRÓLEBUS

➤ Os cálculos são as mesmas do MODO ÔNIBUS

➤ TIPOS DE TRÓLEBUS

ÔNIBUS	CAPACIDADES (passageiros)
Trólebus Padron	100
Trólebus Articulado	120

CÁLCULO DE CAPACIDADE DO CORREDOR DE TRÓLEBUS PARA POR BAIA DE PARADAS

ONIBUS	CAPACIDADE DE VEÍCULOS	NÚMERO DE BAIAS	CAPACIDADE (passageiros por hora sentido)
Trólebus Padron	100	1	5.100
Trólebus Articulado	120	1	6.120
Trólebus Padron	100	2	10.200
Trólebus Articulado	120	2	12.240
Trólebus Padron	100	4	20.400
Trólebus Articulado	120	4	24.480
6 passageiros / m ²			

CÁLCULO DE CAPACIDADE DO CRUZAMENTO TRÓLEBUS

CAPACIDADE DO CRUZAMENTO

➤ Cálculo de capacidade do cruzamento - $C_{apac} C_{cruz}$

➤ $C_{apac} C_{cruz} = Q_{uant} C_{iclo} * Q_{uant} O_{nib} V_{mínimo} \times C$

➤ TRÓLEBUS PADRON

➤ $C_{apac} C_{cruz} = 60 * 4 * 100 = \mathbf{24.000 \text{ pass./h.}}$

➤ TRÓLEBUS ARTICULADO

➤ $C_{apac} C_{cruz} = 60 * 4 * 120 = \mathbf{28.800 \text{ pass./h.}}$

MODO TRÓLEBUS

CÁLCULO DE CAPACIDADE OPERACIONAL NAS PARADAS COM SUB-PARADAS E LINHAS EXPRESSAS

Melhoria	Tempo de embarque e desembarque	Quant. de Paradas por estação	Porcentagem de linha Expressa (%)	Número de linhas	Capacidade Operacional (pass./h./sentido)	Capacidade Operacional (pass./h./sentido)
	T_{pax}	N_{par}	Dir		15 m	18 m
Convencional	2	1	0%	1	2.743	2.833
Plataforma em nível	1	1	0%	1	4.431	4.670
Pagamento externo	0,33	1	0%	1	7.539	8.260
Comboio	0,33	4	0%	1	30.157	33.040
Múltipla paradas	0,33	3	0%	2	22.618	24.780
Linhas expressas	0,33	3	40%	2	30.638	32.977
Linhas expressas	0,33	3	60%	2	37.241	39.512
Nº de passageiros por ônibus					100	120



MODOS VEÍCULO LEVE SOBRE TRILHO - VLT

- A concepção do VLT foi desenvolvida para circular em vias compartilhado com tráfego geral.
- No Brasil esta sendo proposto o VLT com a mesma concepção do Metrô – vias com segregação total.
- A capacidade do VLT depende de vários parâmetros:
 - Da escolha do veículo e sua composição;
 - tempo de cruzamento;
 - tipo de paradas:
 - cobrança interna ou externa a ônibus, etc.
- Os cálculos foram baseadas em trens existentes e em operação

MODOS VLT

FORMULA

- CÁLCULO DE CAPACIDADE DOS MODOS

$$C_{VLT} = \frac{1h}{HW_{VLT}} \times C_{Comp. VLT}$$

- C_{VLT} = CAPACIDADE DA COMPOSIÇÃO;
- 1 h = 1 HORA;
- HW_{VLT} = INTERVALO ENTRE TRENS – mínimo possível de 3 minutos;
- $C_{comp VLT}$ = CAPACIDADE DA COMPOSIÇÃO DO VLT

TIPOS DE VLT SIEMENS

Composição N° de carro	Comprimento da composição (m)	Capacidade por composição (passageiros)	Headway (seg.)	Quantidade de trem por hora	Capacidade do VLT (pass./h/sentido)
2	18	180	90	40	7.200
3	27	270	90	40	10.800
4	36	375	90	40	15.000
5	45	465	90	40	18.600
6	54	570	90	40	22.800
7	63	675	90	40	27.000
8	72	765	90	40	30.600

6 passageiros/m²

Fonte: Siemens

TIPOS DE VLT

Alston

Composição N° de carro	Comprimento da composição (m)	Largura da composição (m)	Capacidade por composição (passageiros)	Headway (seg.)	Quantidade de trem por hora	Capacidade do VLT (pass./h/sentido)
3	30	2,35	250	180	20	5.000
3	30	2,45	264	180	20	5.280
3	30	2,65	274	180	20	5.480
5	42	2,35	366	180	20	7.320
5	42	2,45	386	180	20	7.720
5	42	2,65	396	180	20	7.920
6	60	2,35	500	180	20	10.000
6	60	2,45	528	180	20	10.560
6	60	2,65	548	180	20	10.960
10	84	2,35	732	180	20	14.640
10	84	2,45	772	180	20	15.440
10	84	2,65	792	180	20	15.840
9	90	2,35	750	180	20	15.000
9	90	2,45	792	180	20	15.840
9	90	2,65	822	180	20	16.440
6 passageiros / m ²						



TIPOS DE VLT SANTOS

Composição N° de carro	Comprimento da composição (m)	Capacidade por composição (passageiros)	Headway (seg.)	Quantidade de trem por hora	Capacidade do VLT (pass./h/sentido)
7	41	400	210	17	6.800
6 passageiros / m ²					

fonte: EMTU



MODOS MONOTRILHO

- A concepção do MONOTRILHO e a circulação totalmente segregada.
- A capacidade do MONOTRILHO depende de vários parâmetros:
 - Da escolha da composição do trem.
 - tipo de veículo.

MODO MONOTRILHO

FORMULA

- CÁLCULO DE CAPACIDADE DO MODO MONOTRILHO

$$C_{\text{MONOTRILHO}} = \frac{1h}{HW_{\text{MONOTRILHO}}} \times C_{\text{Comp. MONOTRILHO}}$$

- $C_{\text{MONOTRILHO}}$ = CAPACIDADE DO MONOTRILHO;
- 1 h = 1 HORA;
- $HW_{\text{MONOTRILHO}}$ = INTERVALO ENTRE TRENS;
- $C_{\text{comp MONOTRILHO}}$ = CAPACIDADE DA COMPOSIÇÃO DO MONOTRILHO

TIPOS DE MONOTRILHO

Composição N° de carro	Comprimento da composição (m)	Capacidade por composição (passageiros)	Headway (seg.)	Quantidade de trem por hora	Capacidade do MONOTRILHO (pass./h/sentido)
---------------------------	--	--	-------------------	--------------------------------	--


Hitachi	6	91	994	90	40	39.760
	8	122	1.333	90	40	53.320
Bombardier	7	86	1.000	90	40	40.000
SCOMI	3	33,5	400	90	40	16.000
	5	54,1	600	90	40	24.000

6 passageiros/m²

Fonte: HITACHI/BOMBARDIER/METRÔ



MODO METRÔ

- A concepção do METRÔ e a circulação totalmente segregada.
 - A capacidade do METRÔ depende de vários variáveis:
 - Da escolha da composição do trem.
- 

MODULO METRÔ

FORMULA

- CÁLCULO DE CAPACIDADE DO MODULO METRÔ

$$C_{\text{METRÔ}} = \frac{1h}{HW_{\text{METRÔ}}} \times C_{\text{Comp. METRÔ}}$$

- $C_{\text{METRÔ}}$ = CAPACIDADE DO MODULO METRÔ;
- 1 h = 1 HORA;
- $HW_{\text{METRÔ}}$ = INTERVALO ENTRE TRENS;
- $C_{\text{comp METRÔ}}$ = CAPACIDADE DA COMPOSIÇÃO DO MODULO METRÔ

MODO METRÔ

TIPOS DE METRÔ

Composição N° de carro	Comprimento da composição (m)	Capacidade por composição (passageiros)	Headway (seg.)	Quantidade de trem por hora	Capacidade do METRÔ (pass./h/sentido)
trens da linha azul, vermelho e verde Metro São Paulo					
6	126	2.160	90	40	86.400
6	126	2.160	80	45	97.200
trem da linha liras					
6	136,72	1.502	90	40	60.080
6	136,72	1.502	80	45	67.590

6 passageiros/m²

Fonte: Alston/Metrô

MODO METRÔ

TIPOS DE METRÔ

	Passageiro/m ²	Comprimento da composição (m)	Capacidade por composição (passageiros)	Headway (seg.)	Quantidade de trem por hora	Capacidade do METRÔ (pass./h/sentido)
	trens da linha azul, vermelho e verde Metro São Paulo					
Frota A linha 1 - Azul	6	126	1.476	90	40	59.040
	8	126	1.848	80	45	83.160
Frota C, E e D linha 3 - Vermelha	6	126	1.622	90	40	64.880
	8	126	2.042	80	45	91.890
Frota E linha 2 - Verde	6	126	1.514	90	40	60.560
	8	126	2.072	80	45	93.240
Frota F linha 5 - Lilás	6	126	1.512	90	40	60.480
	8	126	1.926	80	45	86.670
Frota G linha 2 - Verde	6	126	1.856	90	40	74.240
	8	126	1.926	80	45	86.670
Frota H linha 1 - Azul e Linha 3 Vermelha	6	126	1.600	90	40	64.000
	8	126	2.042	80	45	91.890
Frota I linha 1 - Azul	6	126	1.628	90	40	65.120
	8	126	2.082	80	45	93.690

6 passageiros/m²

Fonte: Alston/Metrô

MODOS TREM METROPOLITANO

FORMULA

- CÁLCULO DE CAPACIDADE DO MODO TREM METROPOLITANO

$$C_{\text{Trem Metrop.}} = \frac{1h}{HW_{\text{Trem Metrop.}}} \times C_{\text{Comp. Trem Merop.}}$$

- $C_{\text{METRÔ}}$ = CAPACIDADE DO TREM METROPOLITANO;
- 1 h = 1 HORA;
- $HW_{\text{Trem Metrop.}}$ = INTERVALO ENTRE TRENS;
- $C_{\text{comp Trem Metrop.}}$ = CAPACIDADE DA COMPOSIÇÃO DO TREM METROPOLITANO

MODOS DE TREM METROPOLITANO

TIPOS DE TREM METROPOLITANO

Composição Nº de carro	Comprimento da composição (m)	Capacidade por composição (passageiros)	Headway (seg.)	Quantidade de trem por hora	Capacidade do Trem Metropolitano (pass./h/sentido)
8	-	2.600	90	40	104.000
12	-	3.900	90	40	156.000
8	-	2.600	180	20	52.000
12	-	3.900	180	20	78.000

6 passageiros/m²

Fonte: CPTM

RESUMO

Modo	Capacidade Pass./hora/sentido
Corredor de ônibus simples	4.300
Corredor de ônibus segregados	20.300
BRT	45.300
Trólebus	24.480
VLT (60 metros)	21.900
VLT (72 metros)	27.000
Monotrilho (6 módulos)	40.000
Monotrilho (8 módulos)	53.300
Metrô (headway 80s)	97.200
Metrô (headway 90s)	86.400
Trem Metropolitano (headway 180s)	52.000
Trem Metropolitano (headway 90s)	104.000