

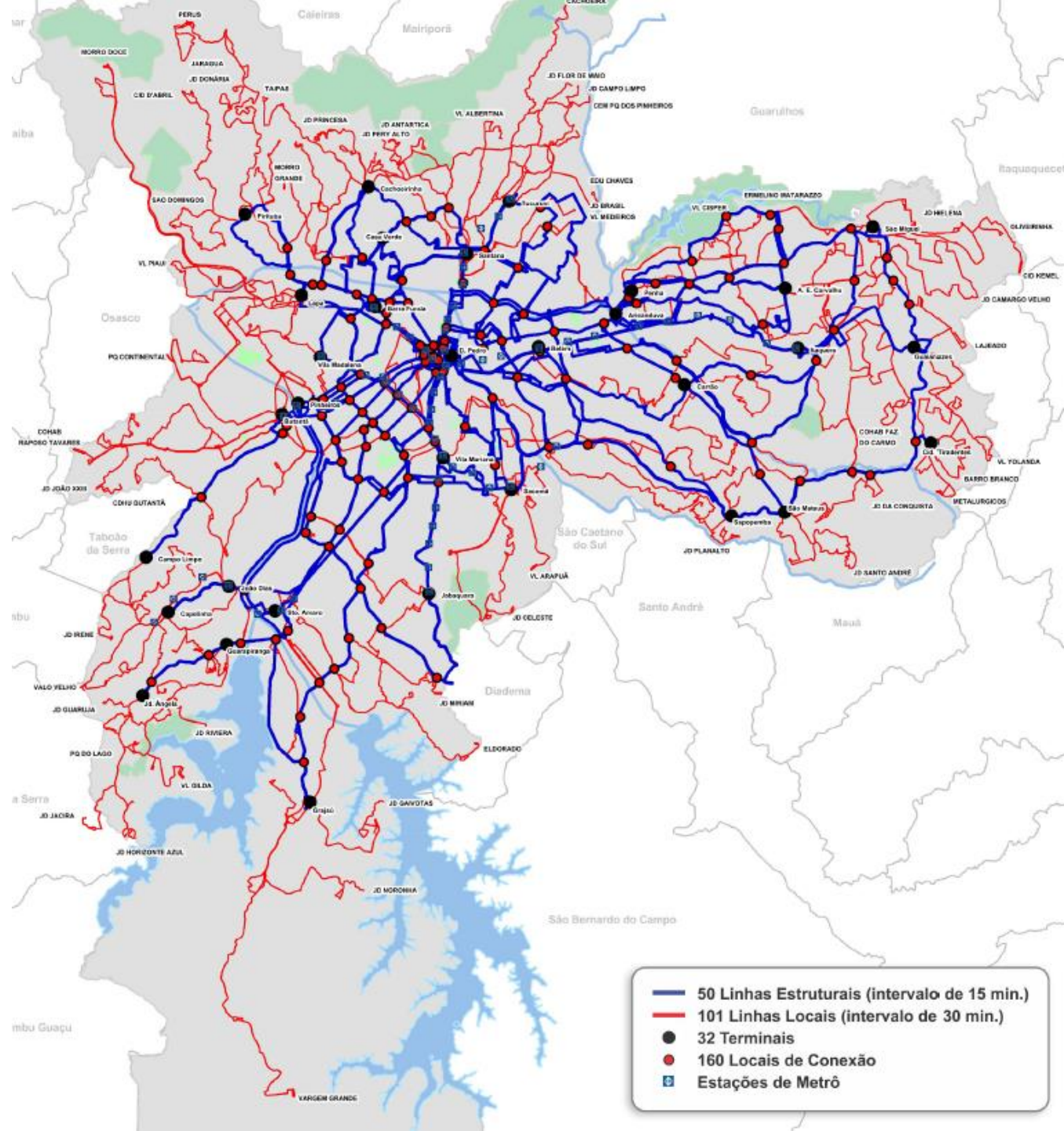
Oferta de Transportes: Ciclo Veicular, Dimensionamento de Frotas

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Transportes

Oferta de Transporte

- Estuda como se organizam e como se estruturam os serviços de transporte a serem oferecidos para atender a(s) demanda(s) (=necessidades) de transporte.
- A oferta é expressa em termos da
- Infraestrutura (capacidade)
- rede (cobertura)
- serviços oferecidos (frequência, horários)

Rede noturna de ônibus de São Paulo



Olimpíadas: Linhas do BRT para os Jogos Rio 2016 começam a operar

As duas novas linhas, Jardim Oceânico e BRT Transolímpica funcionarão 24 horas



Duas linhas do BRT (vias exclusivas de ônibus articulados) exclusivos para os Jogos Olímpicos e Paralímpicos Rio 2016 começaram a operar nesta segunda-feira (18). O serviço Jardim Oceânico – Terminal Olímpico (em frente ao Parque Olímpico da Barra) e o BRT Transolímpica (ligando o Recreio ao complexo esportivo de Deodoro) funcionarão 24 horas.

A linha Jardim Oceânico terá paradas no Bosque Marapendi e no Barra Shopping, antes de chegar ao Terminal Olímpico. Já o BRT Transolímpica servirá às seguintes estações: Paralímpica (Recreio), Olof Palme, Riocentro, Morro do Outeiro, Marechal Fontenelle, Magalhães Bastos e Vila Militar (próxima ao complexo esportivo de Deodoro).

Grande Recife reforça linhas de ônibus para o carnaval e altera itinerários

○ folião que vai brincar o Carnaval no Recife e Região Metropolitana vai contar com reforço nas linhas de ônibus e um esquema especial para ter acesso ao Centro do Recife. O Grande Recife Consórcio de Transporte reforçou 41 linhas que atendem ao centro da cidade. Ao todo, 544 coletivos farão 4.512 viagens neste Sábado de Zé Pereira (25). São mais de 200 veículos e quase 1.600 viagens a mais comparação aos finais sábados normais.

Para que o desfile do Galo da Madrugada, sábado (25), aconteça, algumas ruas do centro da cidade serão interditadas. Devido a isso, 109 linhas convencionais, 42 bacuraus e 5 BRT terão seus itinerários alterados a partir da 0h deste sábado (25) a 0h do domingo (26). Ainda serão desativadas 127 paradas de ônibus e 14 paradas provisórias serão implantadas em pontos estratégicos para atender aos novos trajetos das linhas.

Requisitos para o dimensionamento dos serviços

- Estimativa da Demanda
 - Número de passageiros por hora (por minuto)
 - Modelos de previsão de demanda (2ª parte do curso)
- Tecnologia Considerada
 - Tipo de veículo / capacidade
 - Desempenho operacional
- Programação dos serviços de ônibus
 - Carregamento da linha na hora-pico
 - Identificação do trecho/sentido crítico
 - Carregamento no trecho/sentido crítico
 - Oferta de viagens
 - Frota necessária

Ciclo veicular

- Veículos representam um papel importante em sistemas de transporte
- Serviços são ofertados de maneira cíclica
- Sequência de eventos e de deslocamentos que ocorre repetitivamente
- Necessário para o dimensionamento da frota requerida para operar um serviço

Exemplo 1 – Serviço de Ônibus para substituir Trecho de Linha do Metrô em Obras ou Manutenção.

- O trecho da Linha 1 (amarela) do Metrô de Toronto entre as estações Sheppard-Yonge e Bloor-Yonge não irá funcionar nos próximos fins de semana
- A finalidade é permitir manutenção e obras de ampliação dos sistema de transporte na região de Eglinton.
- Será oferecido um serviço de ônibus que fará a ligação nesse trecho.



Eglinton Crosstown to open a year later than expected

Metrolinx, announcing new target of fall 2021, says its contractor needs more time to address community issues during construction.



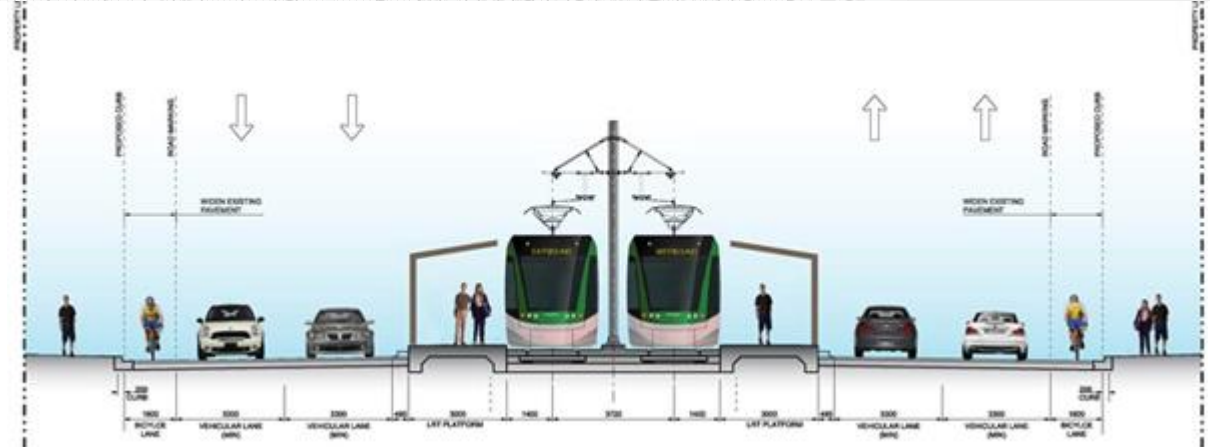
The Eglinton Line

Eglinton Crosstown LRT Project



- 2 Bloor-Danforth Line
- 3 Scarborough Line
- Stouffville Line

- UNDERGROUND ALIGNMENT
- ABOVEGROUND ALIGNMENT
- INTERMODAL LRT STOP
- MAINTENANCE & STORAGE FACILITY



Frota Necessária

- Quantos ônibus são necessários para operar com intervalo (headway) de 10 minutos?
 - O que é necessário conhecer?

De	Para	Distância (km)	Velocidade Média (km/h)	Tempo de Deslocamento (min)
Sheppard-Yonge	York Mills	2,0	20	6
York Mills	Lawrence	2,0	20	6
Lawrence	Eglinton	2,0	20	6
Eglinton	Davisville	0,8	12	4
Davisville	St. Clair	1,4	15	6
St. Clair	Summerhill	0,7	12	4
Summerhill	Rosedale	0,7	12	4
Rosedale	Bloor-Yonge	0,7	12	4
				40

- O que mais?

Frota Necessária (2)

- O que mais é necessário conhecer?

TEMPOS DE PARADA NAS ESTAÇÕES

Estação	Tempo de parada		Tempo em minutos	Tempo total na ida e na volta (min)
Sheppard-Yonge	5	min	5	5
York Mills	30	seg	0,5	1
Lawrence	30	seg	0,5	1
Eglinton	45	seg	0,75	1,5
Davisville	30	seg	0,5	1
St. Clair	30	seg	0,5	1
Summerhill	30	seg	0,5	1
Rosedale	30	seg	0,5	1
York Mills	5	min	5	5
TOTAL			13,75	17,5

Frota Necessária (3)

TEMPOS DE VIAGEM ENTRE ESTAÇÕES

De	Para	Distância (km)	Velocidade Média (km/h)	Tempo de Deslocamento (min)
Sheppard-Yonge	York Mills	2,0	20	6
York Mills	Lawrence	2,0	20	6
Lawrence	Eglinton	2,0	20	6
Eglinton	Davisville	0,8	12	4
Davisville	St. Clair	1,4	15	6
St. Clair	Summerhill	0,7	12	4
Summerhill	Rosedale	0,7	12	4
Rosedale	Bloor-Yonge	0,7	12	4
TOTAL				40

TEMPOS DE PARADA NAS ESTAÇÕES

Estação	Tempo de parada		Tempo em minutos	Tempo total na ida e na volta (min)
Sheppard-Yonge	5	min	5	5
York Mills	30	seg	0,5	1
Lawrence	30	seg	0,5	1
Eglinton	45	seg	0,75	1,5
Davisville	30	seg	0,5	1
St. Clair	30	seg	0,5	1
Summerhill	30	seg	0,5	1
Rosedale	30	seg	0,5	1
York Mills	5	min	5	5
TOTAL			13,75	17,5

- Tempo de Ciclo (viagem redonda)

$$TC = 2 \cdot 40 + 17,5 = 80 + 17,5 = 97,5 \text{ minutos}$$

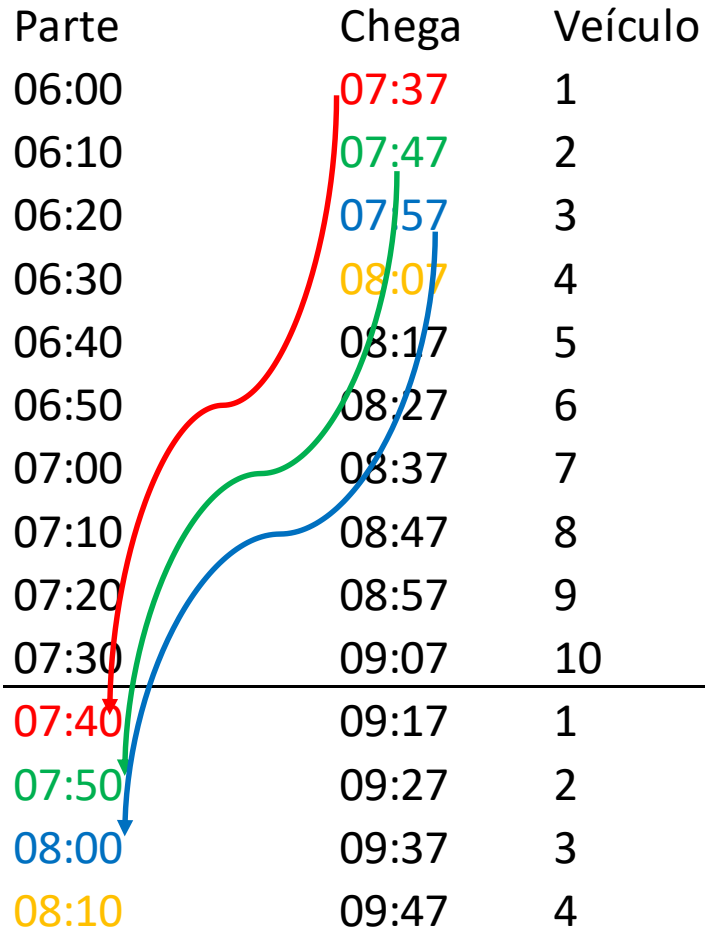
Quantos veículos são necessários para operar com intervalos de 10 min?

$$NV = 6 \times \frac{97,5}{60} = 9,75 \quad \rightarrow \quad 10 \text{ veículos}$$

Componentes do Ciclo Operacional

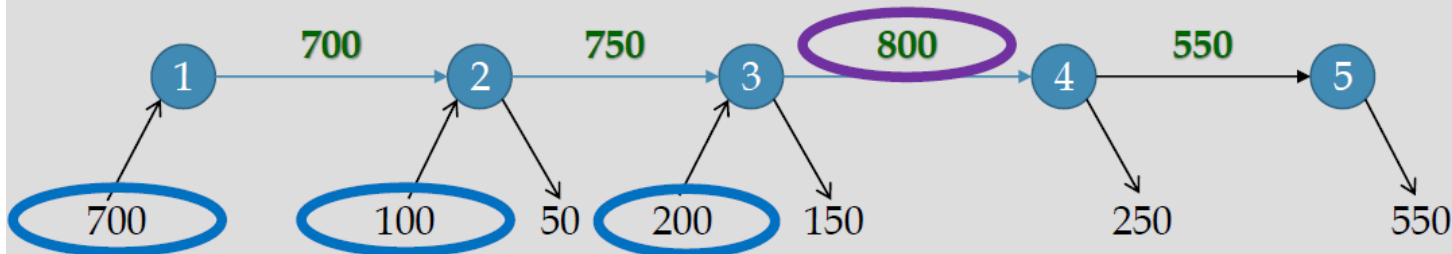
- Tempo de posicionamento para início da operação
- Tempo de viagem em serviço/carregado
- Tempo de viagem vazio/ocioso/d Descarregado
- Tempos de embarque/desembarque (carga/descarga)
- Tempo de serviço operacional (abastecimento, limpeza, mudanças de tripulação, etc.)
- Tempo de espera para atendimento de programação
- Tempo de reposicionamento

Por que 10 veículos?



Análise do Carregamento

• Movimento nos Pontos



• Índice de Renovação

$$IR = \frac{1000}{800} = 1,25$$

*maior IR:
maior "rotatividade"*

Cálculo da Frequência / Headway

- Calculando a Frequência no Pico

$$Freq = \frac{\text{Carregamento Horário no Trecho Crítico}}{\text{Ocupação de Projeto}} \left[\frac{pax/h}{pax/v} \right] = \left[\frac{veículos}{hora} \right]$$

$$Freq = \frac{800 \left[\frac{pax}{h} \right]}{50 \left[\frac{pax}{veíc} \right]} = 16 \left[\frac{veículos}{hora} \right]$$

- Ocupação de Projeto
 - f(tipo de veículo, qualidade de serviço)

- Headway = $h = \frac{1}{freq} = \frac{1}{16} h = \frac{60}{16} = 3.75 \text{ min}$

Carregamento na Linha na Hora Pico

EMBARQUES E DESEMBARQUES

Parada	In	Out
Sheppard-Yonge	300	
York Mills	150	25
Lawrence	120	60
Eglinton	180	85
Davisville	40	20
St. Clair	10	50
Summerhill	20	30
Rosedale	10	70
York Mills		490
TOTAL	830	830

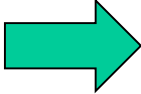
CARREGAMENTO

De	Para	Carregamento
Sheppard-Yonge	York Mills	300
York Mills	Lawrence	425
Lawrence	Eglinton	485
Eglinton	Davisville	580
Davisville	St. Clair	600
St. Clair	Summerhill	560
Summerhill	Rosedale	550
Rosedale	Bloor-Yonge	490
TOTAL		

- Trecho crítico: Davisville-St. Clair (600 passageiros)
- Índice de Renovação da Linha (IR)

$$IR = \frac{pax}{ocup} = \frac{830}{600} = 1.38$$

A frota programada dá conta de atender a demanda?

- Capacidade do ônibus = 85 pessoas
- Quantas partidas são necessárias na hora pico?
 - Carregamento no trecho crítico = 600 pax/h
 - Número de partidas = $\frac{600}{85} = 7.06$  7 partidas
 - Intervalo entre partidas (headway) = $\frac{60}{7} = 8.5$ min
- É realista?
 - As pessoas vão entrar num ônibus lotado no fim de semana, em substituição ao metrô?

Qual o tempo de viagem de um extremo a outro?

TEMPOS DE VIAGEM ENTRE ESTAÇÕES

De	Para	Distância (km)	Velocidade Média (km/h)	Tempo de Deslocamento (min)
Sheppard-Yonge	York Mills	2,0	20	6
York Mills	Lawrence	2,0	20	6
Lawrence	Eglinton	2,0	20	6
Eglinton	Davisville	0,8	12	4
Davisville	St. Clair	1,4	15	6
St. Clair	Summerhill	0,7	12	4
Summerhill	Rosedale	0,7	12	4
Rosedale	Bloor-Yonge	0,7	12	4
TOTAL				40

TEMPOS DE PARADA NAS ESTAÇÕES

Estação	Tempo de parada		Tempo em minutos	Tempo total na ida na volta (min)
Sheppard-Yonge	5	min	5	5
York Mills	30	seg	0,5	1
Lawrence	30	seg	0,5	1
Eglinton	45	seg	0,75	1,5
Davisville	30	seg	0,5	1
St. Clair	30	seg	0,5	1
Summerhill	30	seg	0,5	1
Rosedale	30	seg	0,5	1
York Mills	5	min	5	5
TOTAL			13,75	17,5

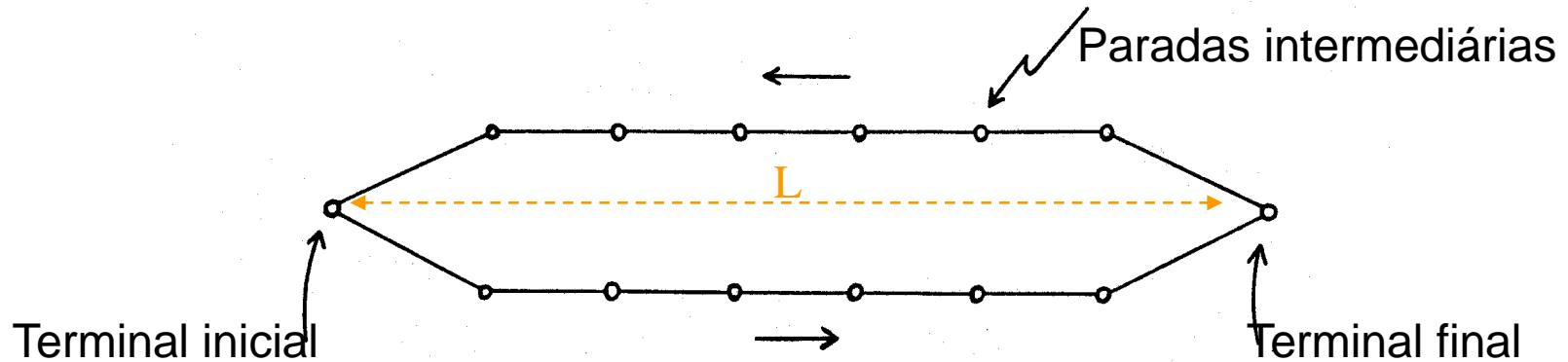
- Tempo de viagem entre Sheppard-Yonge e Bloor-Yong=

$$TV = 40 + 3.75 + \frac{10}{2} = 48.75 \text{ min}$$

Tempo médio de espera no ponto inicial (1/2 headway)

Tempo de parada nos pontos intermediários

Ciclo Veicular Operacional



$$TC = TI + TP * NP + TD * ND + TR * 2L + TF$$

TC = tempo de ciclo, em segundos

TI = tempo de parada no terminal inicial, em segundos

TP = tempo médio de parada em cada parada intermediária, em segundos

TD = tempo de deslocamento entre paradas sucessivas, em segundos

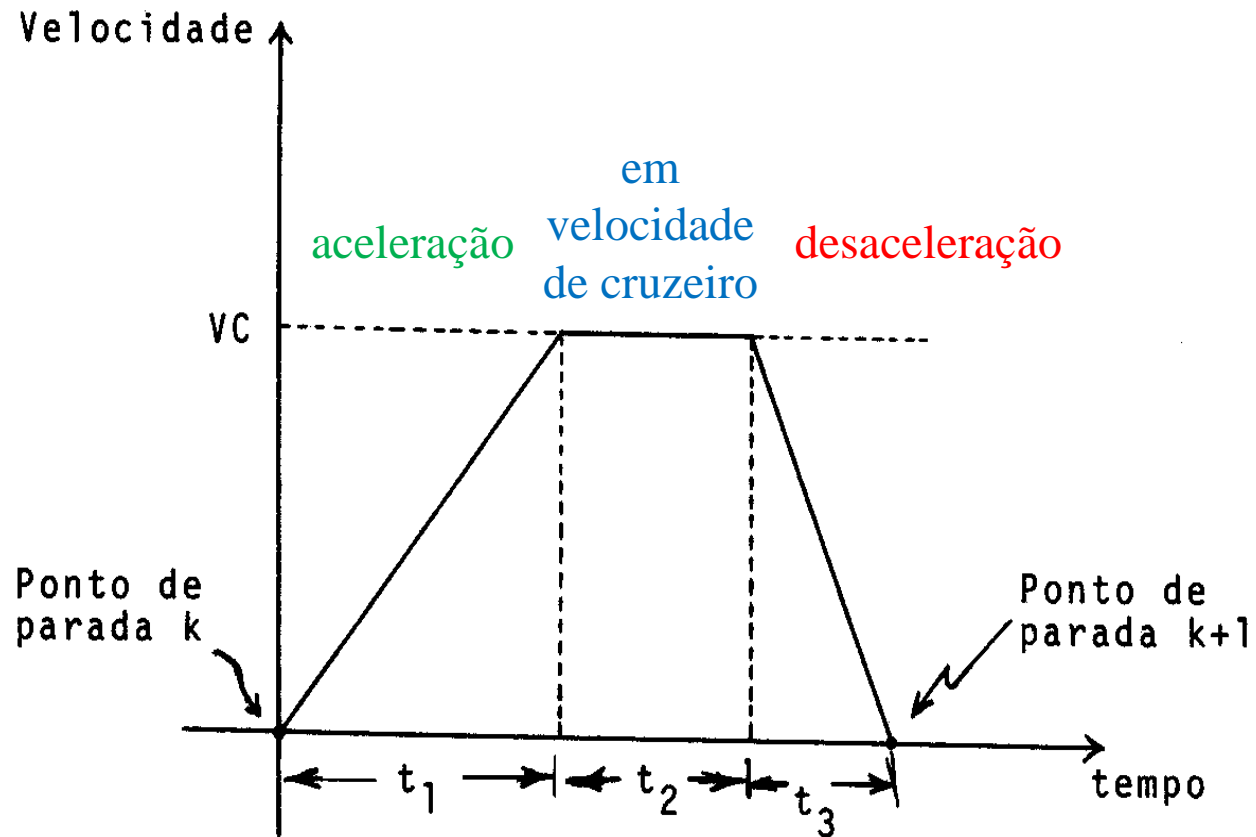
TR = tempo de retardamento, em segundos por quilômetro de percurso
(para considerar efeitos do trânsito)

TF = tempo de parada no terminal final

E como considerar um sistema sobre trilhos?

- Como metrô ou trem metropolitano?
- Que trafega em via dedicada e não enfrenta trânsito.
- Qual o diagrama de marcha do veículo?

Esquema de Movimentação de um Veículo entre Parada Sucessivas



Cálculos de tempos e distâncias

Aceleração

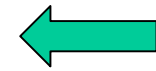
$$t_1 = \frac{VC}{a_1}$$

$$d_1 = \frac{VC^2}{2a_1}$$

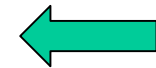
Desaceleração

$$t_3 = \frac{VC}{a_3}$$

$$d_3 = \frac{VC^2}{2a_3}$$



tempos



distâncias

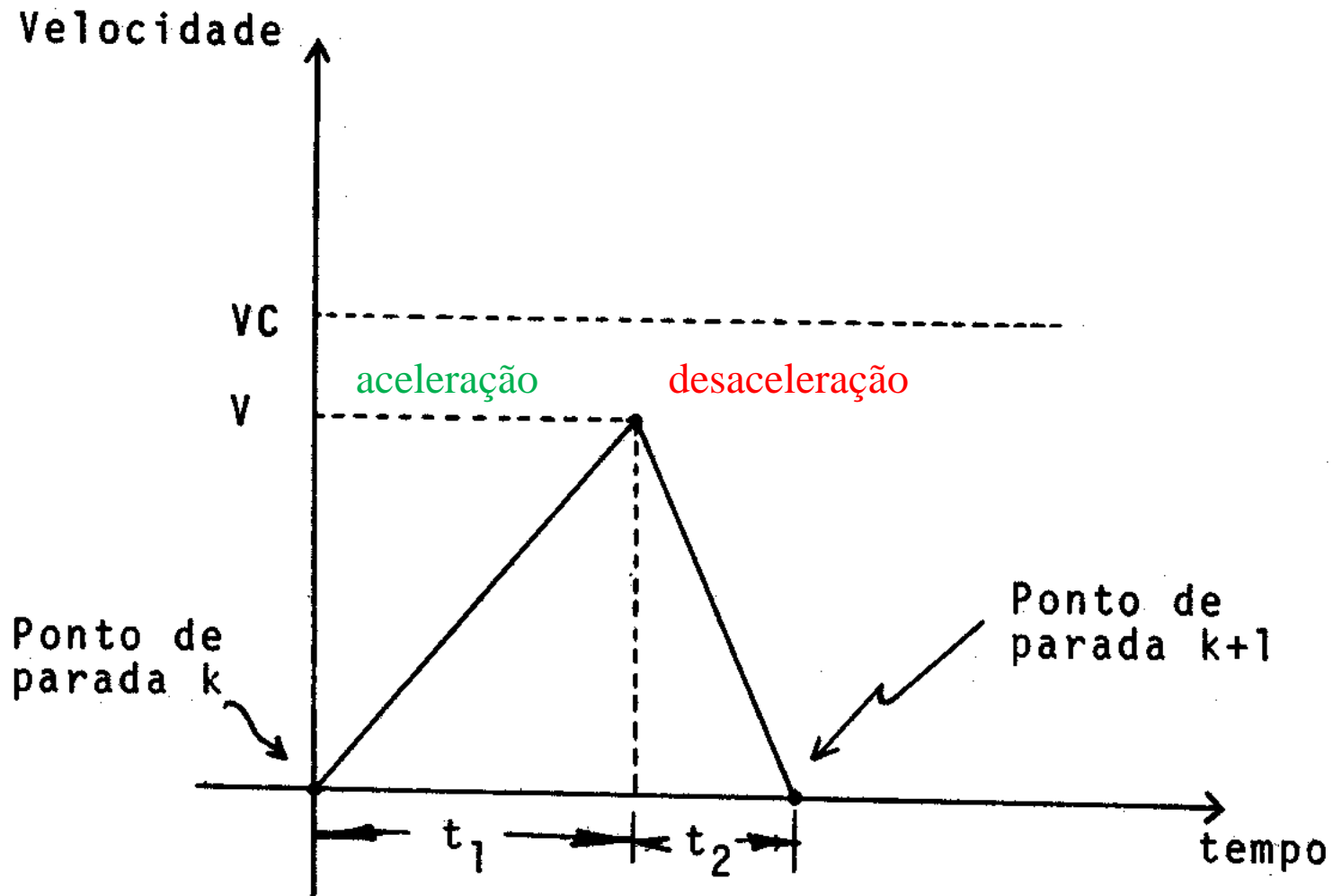
Percurso em velocidade de cruzeiro

$$d_2 = D - (d_1 + d_3)$$

$$t_2 = \frac{d_2}{VC}$$

Tempo total de deslocamento entre paradas

$$t_D = t_1 + t_2 + t_3$$



Distância muito curta entre paradas
Não atinge velocidade de cruzeiro

Neste caso, quando distância entre paradas é muito curta

Caso $d_1 + d_2 > D$ a velocidade de cruzeiro VC não é atingida

A **velocidade máxima V** é dada por:

$$V = \sqrt{\frac{2a_1a_2D}{(a_1 + a_2)}}$$

Os novos **tempos de aceleração e desaceleração** são:

$$t_1 = \frac{V}{a_1}$$

$$t_2 = \frac{V}{a_2}$$

O novo **tempo total de deslocamento** entre pontos de parada é :

$$t_D = t_1 + t_2$$

Voltando ao caso do metrô de Toronto

- Qual o tempo de viagem entre Sheppard-Young e Bloor-Yonge?
- Características da composição:

Parâmetros de Desempenho dos Trens

Velocidade máxima de Cruzeiro	80 km/h
Aceleração	0,6 m/s ²
Desaceleração	0,9 m/s ²

- Número de carros por composição: 6
- Capacidade de cada carro: 180 pax



Distâncias de aceleração e desaceleração

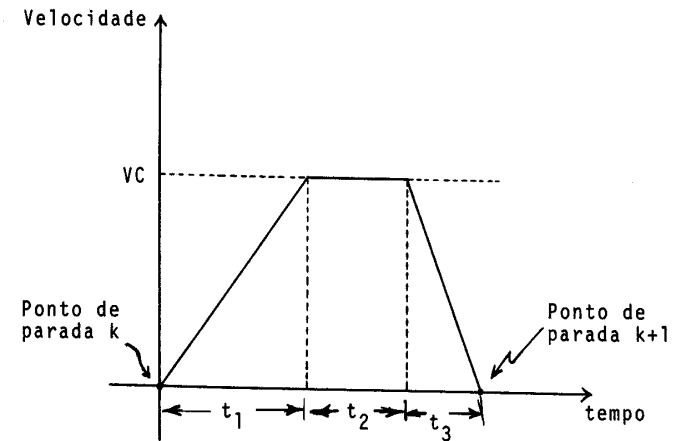
Sheppard-Yonge ► York Mills

$$d_1 = \frac{VC^2}{2a_1} = \frac{\left(\frac{80}{3.6}\right)^2}{2 \times 0.6} = 411.5 \text{ m}$$

$$d_3 = \frac{VC^2}{2a_3} = \frac{\left(\frac{80}{3.6}\right)^2}{2 \times 0.9} = 274.3 \text{ m}$$

$$d_1 + d_3 = 411.5 + 274.3 = 685.9 \text{ m}$$

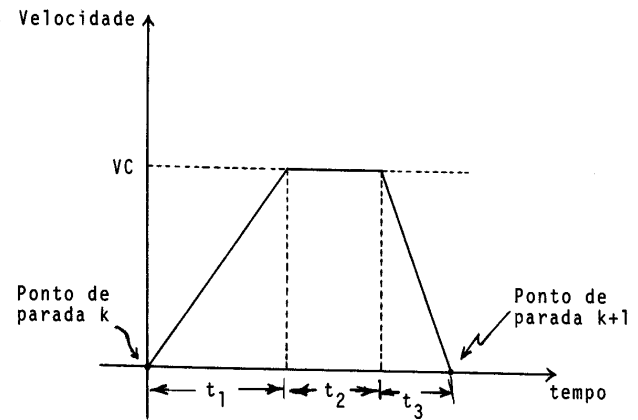
$$d_2 = 2000 - 685.9 = 1314.1 \text{ m}$$



Tempos de aceleração, desaceleração e velocidade de cruzeiro

$$t_1 = \frac{VC}{a_1} = \frac{80/3.6}{0.60} = 37 \text{ seg}$$

$$t_3 = \frac{VC}{a_3} = \frac{80/3.6}{0.90} = 24.7 \text{ seg}$$



$$d_2 = D - (d_1 + d_3) = 2000 - (411.5 + 274.3) = 1314.1 \text{ m}$$

$$t_2 = \frac{d_2}{VC} = \frac{1314.1}{80/3.6} = 59.1 \text{ seg}$$

$$t_D = t_1 + t_2 + t_3 = 37 + 59.1 + 24.7 = 120.9 \text{ seg}$$

Tempo de deslocamento A-B = $16 \times 57.8 = 924.4 \text{ seg} = 15.4 \text{ min}$

Quadro resumo distâncias e tempos

Parâmetros de Desempenho dos Trens

Velocidade máxima de Cruzeiro	80
Aceleração (m/s ²)	0,6
Desaceleração (m/s ²)	0,9

Trecho	Extensão (km)	Distâncias (m)			Veloc Cruz Efet (km/h)	Tempos (seg)				
		Aceler	Vel Cruz	Desacel		Aceler	Vel Cruz	Desacel	Total	
Sheppard-Yonge	York Mills	2,0	411,5	1314,1	274,3	80,0	37,0	59,1	24,7	120,9
York Mills	Lawrence	2,0	411,5	1314,1	274,3	80,0	37,0	59,1	24,7	120,9
Lawrence	Eglinton	2,0	411,5	1314,1	274,3	80,0	37,0	59,1	24,7	120,9
Eglinton	Davisville	0,8	411,5	114,1	274,3	80,0	37,0	5,1	24,7	66,9
Davisville	St. Clair	1,4	411,5	714,1	274,3	80,0	37,0	32,1	24,7	93,9
St. Clair	Summerhill	0,7	411,5	14,1	274,3	80,0	37,0	0,6	24,7	62,4
Summerhill	Rosedale	0,7	411,5	14,1	274,3	80,0	37,0	0,6	24,7	62,4
Rosedale	Bloor-Yonge	0,7	411,5	14,1	274,3	80,0	37,0	0,6	24,7	62,4

10,3

710,4

11,8 min

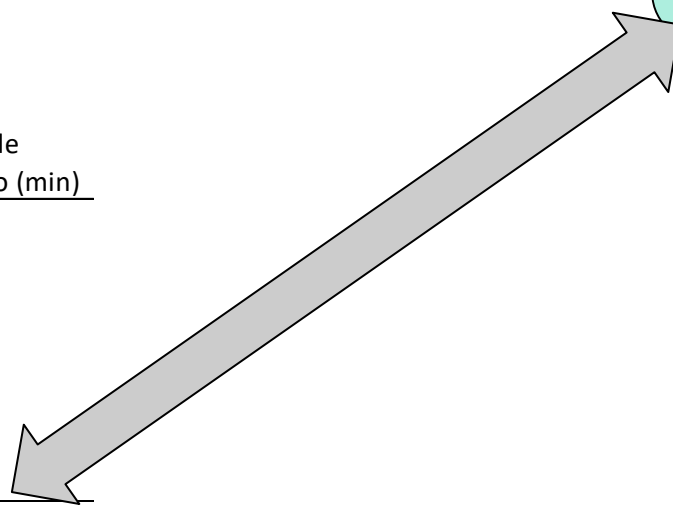
Ônibus

TEMPOS DE VIAGEM ENTRE ESTAÇÕES

De	Para	Distância (km)	Velocidade Média (km/h)	Tempo de Deslocamento (min)
Sheppard-Yonge	York Mills	2,0	20	6
York Mills	Lawrence	2,0	20	6
Lawrence	Eglinton	2,0	20	6
Eglinton	Davisville	0,8	12	4
Davisville	St. Clair	1,4	15	6
St. Clair	Summerhill	0,7	12	4
Summerhill	Rosedale	0,7	12	4
Rosedale	Bloor-Yonge	0,7	12	4

TOTAL

40



Modernizando a composição

- que pode atingir VC=100km ao invés de 80km/h

Parâmetros de Desempenho dos Trens

Velocidade máxima de Cruzeiro	100
Aceleração (m/s ²)	0,6
Desaceleração (m/s ²)	0,9

Trecho	Extensão (km)	Distâncias (m)			Veloc Cruz Efet (km/h)	Tempos (seg)			Total	
		Aceler	Vel Cruz	Desacel		Aceler	Vel Cruz	Desacel		
Sheppard-Yonge	York Mills	2,0	643,0	928,3	428,7	100,0	46,3	33,4	30,9	110,6
York Mills	Lawrence	2,0	643,0	928,3	428,7	100,0	46,3	33,4	30,9	110,6
Lawrence	Eglinton	2,0	643,0	928,3	428,7	100,0	46,3	33,4	30,9	110,6
Eglinton	Davisville	0,8	643,0	0,0	428,7	86,4	40,0	0,0	26,7	66,7
Davisville	St. Clair	1,4	643,0	328,3	428,7	100,0	46,3	11,8	30,9	89,0
St. Clair	Summerhill	0,7	643,0	0,0	428,7	80,8	37,4	0,0	24,9	62,4
Summerhill	Rosedale	0,7	643,0	0,0	428,7	80,8	37,4	0,0	24,9	62,4
Rosedale	Bloor-Yonge	0,7	643,0	0,0	428,7	80,8	37,4	0,0	24,9	62,4

10,3

674,5

11,2

min

VC=80km/h

Rosedale	Bloor-Yonge	0,7	411,5	14,1	274,3	80,0	37,0	0,6	24,7	62,4
----------	-------------	-----	-------	------	-------	------	------	-----	------	------

10,3

710,4

11,8

min

Tempo de viagem via Trem

- Considerando tempo de parada em cada estação de 30 seg:
- Tempo de viagem entre Sheppard-Yonge e Bloor-Yong:
 - São 7 estações intermediárias

$$TV = 11.8 + 7 \times 0.5 + \frac{4}{2} = 17.3 \text{ min}$$

- Contra 48.8 min do ônibus!!!!

<u>Estação</u>
Sheppard-Yonge
York Mills
Lawrence
Eglinton
Davisville
St. Clair
Summerhill
Rosedale
York Mills
<hr/>
TOTAL

Na prática

- O metrô de Toronto não atinge 80 km/h

Parâmetros de Desempenho dos Trens

Velocidade máxima de Cruzeiro: 60

Aceleração (m/s²): 0,5

Desaceleração (m/s²): 0,8

Trecho	Extensão (km)	Distâncias (m)			Veloc Cruz	Tempos (seg)				
		Aceler	Vel Cruz	Desacel	Efet (km/h)	Aceler	Vel Cruz	Desacel	Total	
Sheppard-Yonge	York Mills	2,0	277,8	1548,6	173,6	60,0	33,3	92,9	20,8	147,1
York Mills	Lawrence	2,0	277,8	1548,6	173,6	60,0	33,3	92,9	20,8	147,1
Lawrence	Eglinton	2,0	277,8	1548,6	173,6	60,0	33,3	92,9	20,8	147,1
Eglinton	Davisville	0,8	277,8	348,6	173,6	60,0	33,3	20,9	20,8	75,1
Davisville	St. Clair	1,4	277,8	948,6	173,6	60,0	33,3	56,9	20,8	111,1
St. Clair	Summerhill	0,7	277,8	248,6	173,6	60,0	33,3	14,9	20,8	69,1
Summerhill	Rosedale	0,7	277,8	248,6	173,6	60,0	33,3	14,9	20,8	69,1
Rosedale	Bloor-Yonge	0,7	277,8	248,6	173,6	60,0	33,3	14,9	20,8	69,1

10,3

834,7

13,9 min

- Faz diferença?

Summerhill	Rosedale	0,7	411,5	14,1	274,3	80,0	37,0	0,6	24,7	62,4
Rosedale	Bloor-Yonge	0,7	411,5	14,1	274,3	80,0	37,0	0,6	24,7	62,4

10,3

Ônibus

3

3

710,4

11,8

min

Velocidade comercial:

quociente da distância total percorrida pelo tempo de ciclo:

$$V_{Com} = \frac{2L}{TC}$$

Velocidade média de tráfego:

do tempo de ciclo excluem-se os tempos de parada

$$V_{Traf} = \frac{2L}{TD * ND + TR * 2L}$$

No caso de Toronto.....

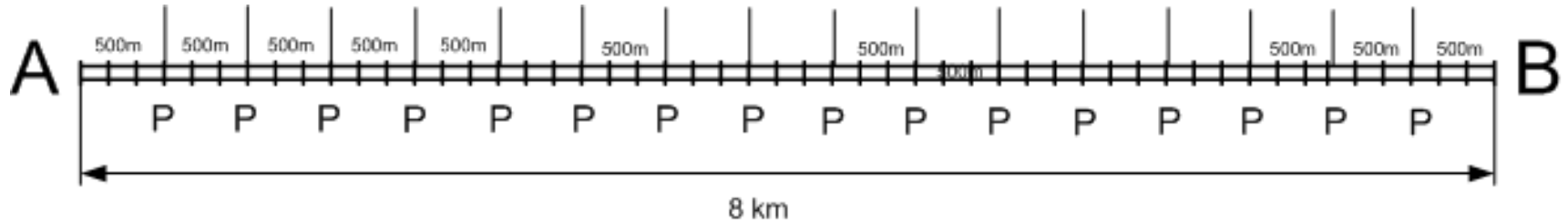
	Ônibus	Metrô
Distância (km)	10,3	10,3
Tempo total de viagem	48,75	17,3
Tempo de deslocamento (min)	40	11,8
Velocidade comercial (km/h)	12,7	35,7
Velocidade média de tráfego	15,5	52,2

Exemplo

- Linha de VLT ligando terminais A e B distantes 8 km entre si
- Paradas intermediárias a cada 500 m
- Tempo de parada nos terminais A e B: 3 min em cada
- Tempo de parada nas estações intermediárias: 40 seg
- Velocidade de cruzeiro: 60 km/h
- Aceleração: $0,45 \text{ m/s}^2$
- Desaceleração (frenagem): $0,9 \text{ m/s}^2$
- Qual o tempo de ciclo?



Composição do tempo de ciclo - 1



Tempo de Ciclo (TC) = Tempo Terminal A + Tempo Viagem A-B
+ Tempo Terminal B + Tempo Viagem B-A

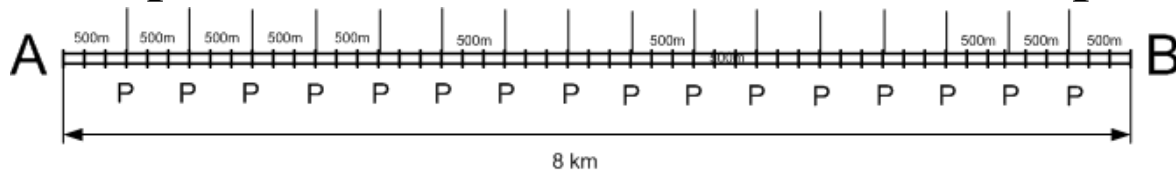
Tempo Terminal A = Tempo Terminal B = 3 minutos

Tempo de Viagem A-B = Tempo de paradas + Tempo de desloc.

Tempo de paradas A-B = $15 \times 40 \text{ seg} = 600 \text{ seg} = 10 \text{ min}$

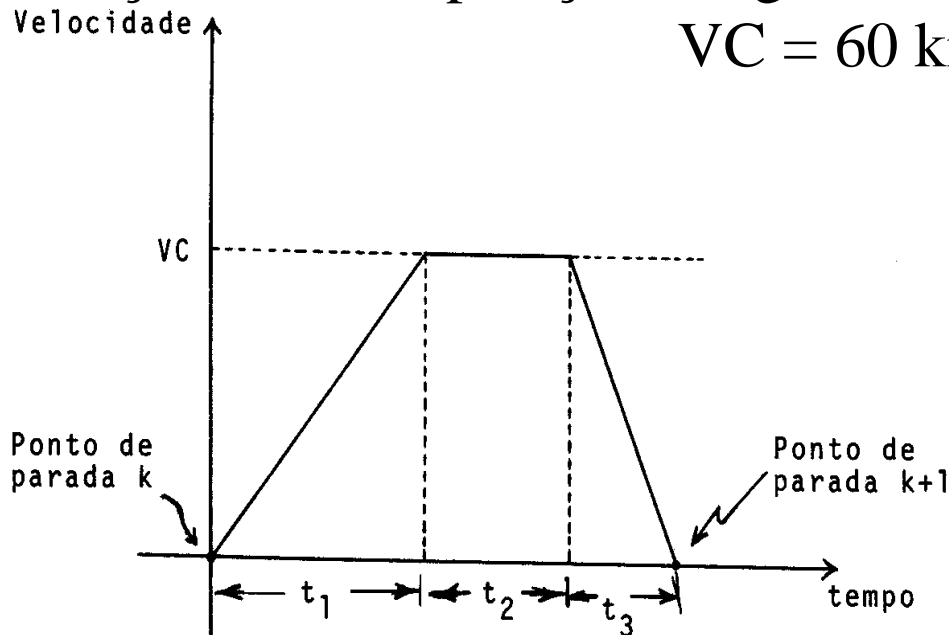
Composição do tempo de ciclo - 2

Tempo de deslocamento A-B = 16 * tempo trecho entre estações



Tempo entre estações = tempo de aceleração + tempo em velocidade de cruzeiro + tempo em desaceleração (frenagem)

Verificação se a composição atinge a velocidade de cruzeiro



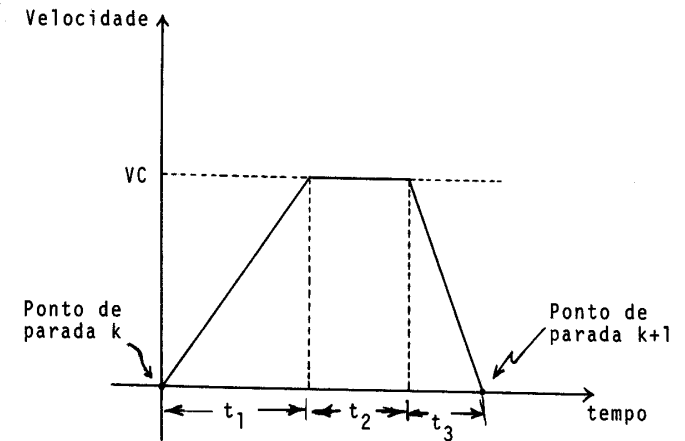
Distâncias de aceleração e desaceleração

$$d_1 = \frac{VC^2}{2a_1} = \frac{(16.7)^2}{2 \times 0,45} = 308.6 \text{ m}$$

$$d_3 = \frac{VC^2}{2a_3} = \frac{(16.7)^2}{2 \times 0,9} = 154.3 \text{ m}$$

$$d_1 + d_3 = 308.6 + 154.3 = 463.0 \text{ m}$$

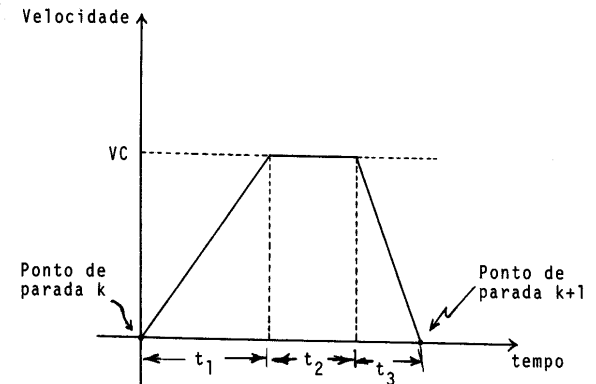
$$d_2 = 500 - 463 = 37 \text{ m}$$



Tempos de aceleração, desaceleração e velocidade de cruzeiro

$$t_1 = \frac{VC}{a_1} = \frac{16.7}{0.45} = 37 \text{seg}$$

$$t_3 = \frac{VC}{a_3} = \frac{16.7}{0.90} = 18.5 \text{seg}$$



$$d_2 = D - (d_1 + d_3) = 500 - (308.6 + 154.3) = 37 \text{m}$$

$$t_2 = \frac{d_2}{VC} = \frac{37}{16,7} = 2.2 \text{seg}$$

$$t_D = t_1 + t_2 + t_3 = 37 + 2.2 + 18.5 = 57.8 \text{seg}$$

$$\text{Tempo de deslocamento A-B} = 16 \times 57.8 = 924.4 \text{ seg} = 15.4 \text{ min}$$

Composição do tempo de ciclo - 3

Tempo de Ciclo (TC) = Tempo Terminal A + Tempo Viagem A-B
+ Tempo Terminal B + Tempo Viagem B-A

Tempo de Ciclo (TC) = 3 + 15.4 + 10 + 3 + 15.4 + 10 = 56.8 min

- Se o intervalo entre composições (*headway*) for de 15 minutos, serão necessárias 4 composições
- O tempo de viagem de um usuário que sai de A para B é:
- $T_{\text{viag}} (A-B) = 15/2 + 15.4 + 10 = 32.9 \text{ min}$

Análise da influência do espaçamento entre paradas num ciclo

Extensão da linha (L): 11 km
Extensão total do ciclo (2L): 22 km
Velocidade de cruzeiro (VC): 60 km/h
Aceleração: 0,40 m/s²
Desaceleração: 0,90 m/s²
Tempo de retardamento (TR): 40 s/km

Distância entre pontos: 500 m
Tempo de ciclo (TC): 76,2 min
Tempos de parada:
ponto inicial (TI): 5 min
ponto final (TF): 2 min
pontos intermediários (TP): 15 s

Distância entre pontos = 500 m \Rightarrow 23 pontos em 11 km (1 inicial + 1 final + 21 intermediários)
Pontos intermediários em todo o ciclo (ida e volta): 2 * 21 = 42
Tempo de parada total em pontos intermediários: 42 * 15 s = 10,5 min
Tempo total em paradas: 5 + 2 + 10,5 = 17,5 min
Tempo em movimento no ciclo: 76,2 – 17,5 = 58,7 min

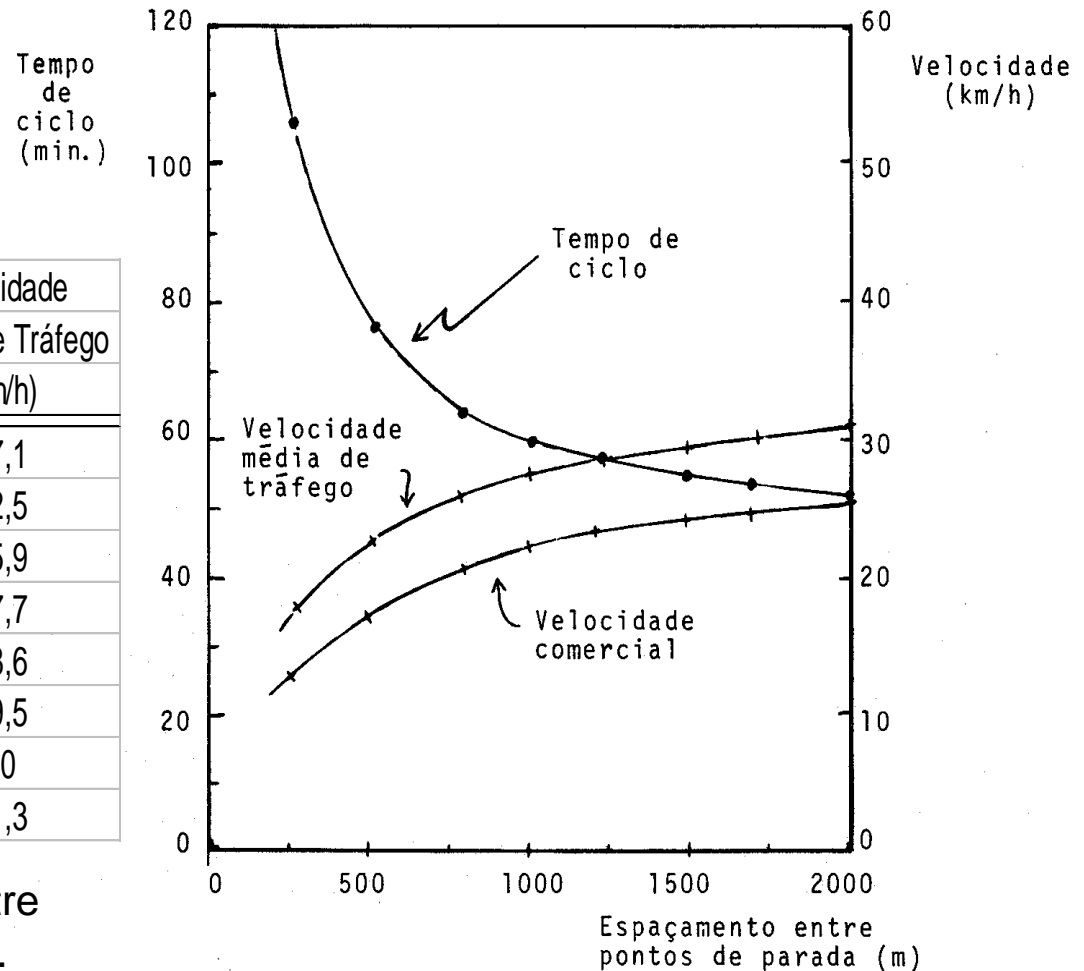
Velocidade comercial: $V_{COM} = 22 \text{ km} / 76,2 \text{ min} \Rightarrow V_{COM} = 17,32 \text{ km/h}$

Velocidade média de tráfego: $V_{MT} = 22 \text{ km} / 58,7 \text{ min} \Rightarrow V_{MT} = 22,49 \text{ km/h}$

VARIAÇÃO PARAMÉTRICA DOS RESULTADOS

Espaçamentos entre Pontos de Parada (metros)	Tempo de Ciclo (min)	Velocidade Comercial (km/h)	Velocidade Média de Tráfego (km/h)
250	105,5	12,5	17,1
500	76,2	17,3	22,5
759	64,7	20,4	25,9
1000	59,7	22,1	27,7
1222	57,2	23,1	28,6
1467	54,9	24	29,5
1692	53,7	24,6	30
2000	51,4	25,7	31,3

Quanto maior o espaçamento entre pontos, menor o tempo de ciclo.



CONSEQÜÊNCIAS DA REDUÇÃO DO TEMPO DE CICLO

- na Frequência do serviço ou no intervalo entre viagens:

$$\lambda = \frac{N}{T_C}$$

λ = intervalo entre viagens

N = número de veículos na frota

T_C = tempo de ciclo

Caso seja mantida a frota (isto é, mesmo número de veículos):

↓ *tempo de ciclo* ⇒ ↑ frequência de passagem ⇒ ↑ *nível de serviço*

- Número médio de ciclos diários:

$$m = \frac{H}{T_C}$$

m = número médio de ciclos diários

H = número de horas de trabalho por dia

T_C = tempo de ciclo (em horas)

Com a manutenção das horas de trabalho diárias:

↓ *tempo de ciclo* ⇒ ↑ média de ciclos diários ⇒ ↑ *produtividade*