

Sistemas “Inteligentes” de
Transportes (ITS)
[Intelligent Transport Systems]

Desafios dos sistemas de transportes

- Como introduzir mudanças eficientes nos sistemas de transportes ?
- Como fazer para que os acertos nessas mudanças sejam mais imediatos e não necessitem de muita experimentação de campo ?

Simulação de Tráfego

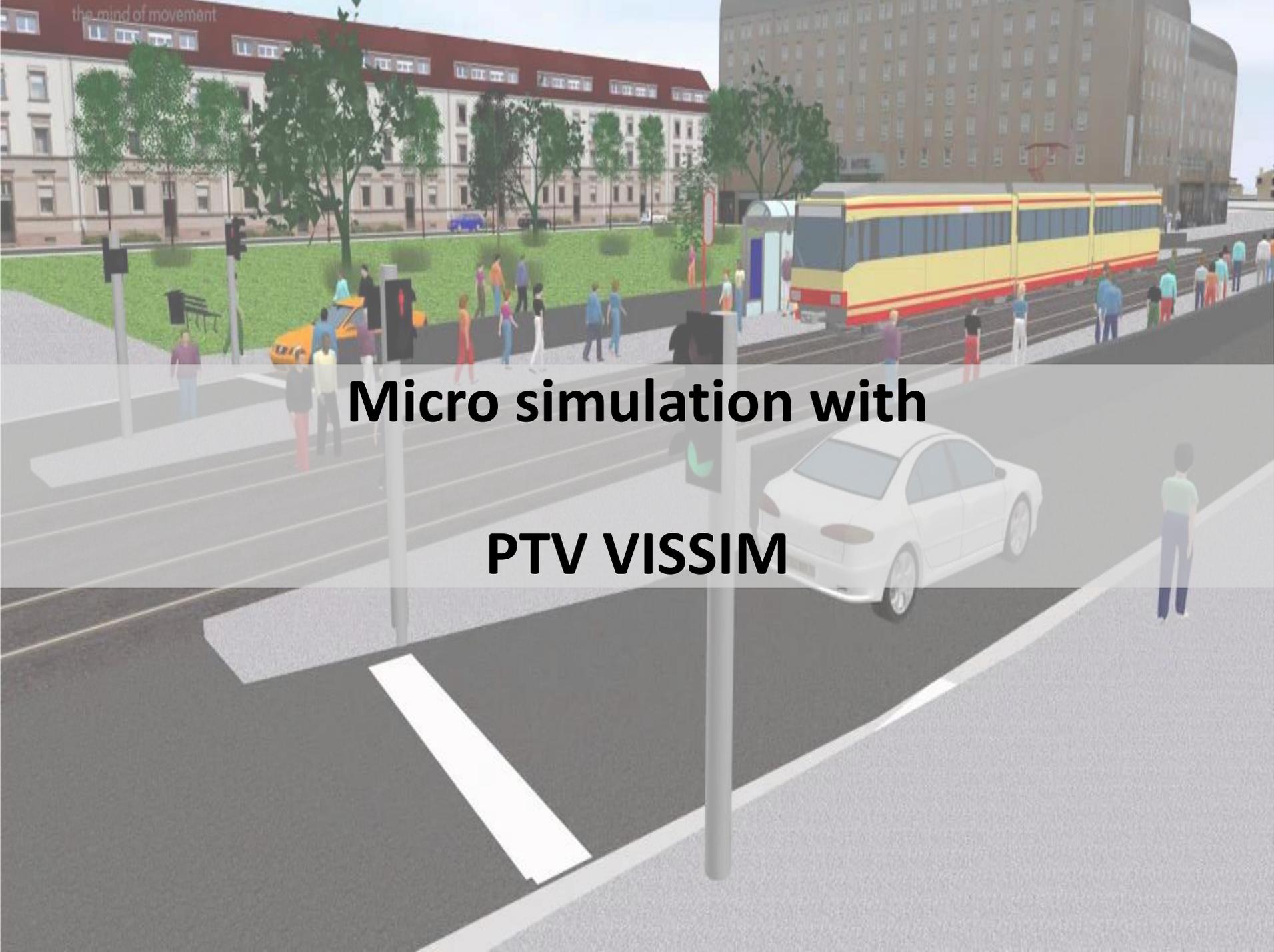
- Os Simuladores de Tráfego começaram a ser desenvolvidos na década de 1950
 - buscam representar a utilização das vias pelos veículos e demais usuários
 - possibilitam o planejamento de situações futuras e análises de novos projetos e soluções de controle de tráfego. (PORTUGAL, 2005)
- Os Modelos de Simulação de Tráfego podem ser classificados de diversas formas
 - A principal classificação está relacionada com sua abordagem e resolução.
 - Quanto maior a resolução - maior a complexidade do modelo.(BURGHOUT; KOUTSOPOULOS; ANDREASSON, 2006a; PORTUGAL, 2005; SLOBODEN et al., 2012)

Bibliografia de referência (1)

- PORTUGAL, L. DA S. **Simulação de Tráfego: Conceitos e Técnicas de Modelagem**. Editora Interciência Ltda., 2005.
- BURGHOUT, W.; KOUTSOPOULOS, H. N.; ANDREASSON, I. A Discrete-Event Mesoscopic Traffic Simulation Model for Hybrid Traffic simulation. **Proceedings of the IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC)**, n. September 2014, p. 1102–1107, 2006a.
- SLOBODEN, J. et al. **Guidebook on the Utilization of Dynamic Traffic Assignment in Modeling**. Disponível em: <https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop13015/fhwahop13015.pdf> >. Acesso em: 14 jan. 2018.

Modelos de Simulação de Tráfego: Micromodelos

- De resolução detalhada, tanto quanto necessário à análise pretendida
- Baseia-se no **comportamento individual dos usuários**
 - especialmente no tocante à interação entre os mesmos (carro seguidor e mudança de faixas)
- Utilizado nas análises de trechos de via e pequenas áreas
- Simula o **comportamento dos usuários com relação às alterações nos sistemas de controle como semáforos e rotatórias**



Micro simulation with

PTV VISSIM

Actual situation



BRT /Bus corridor



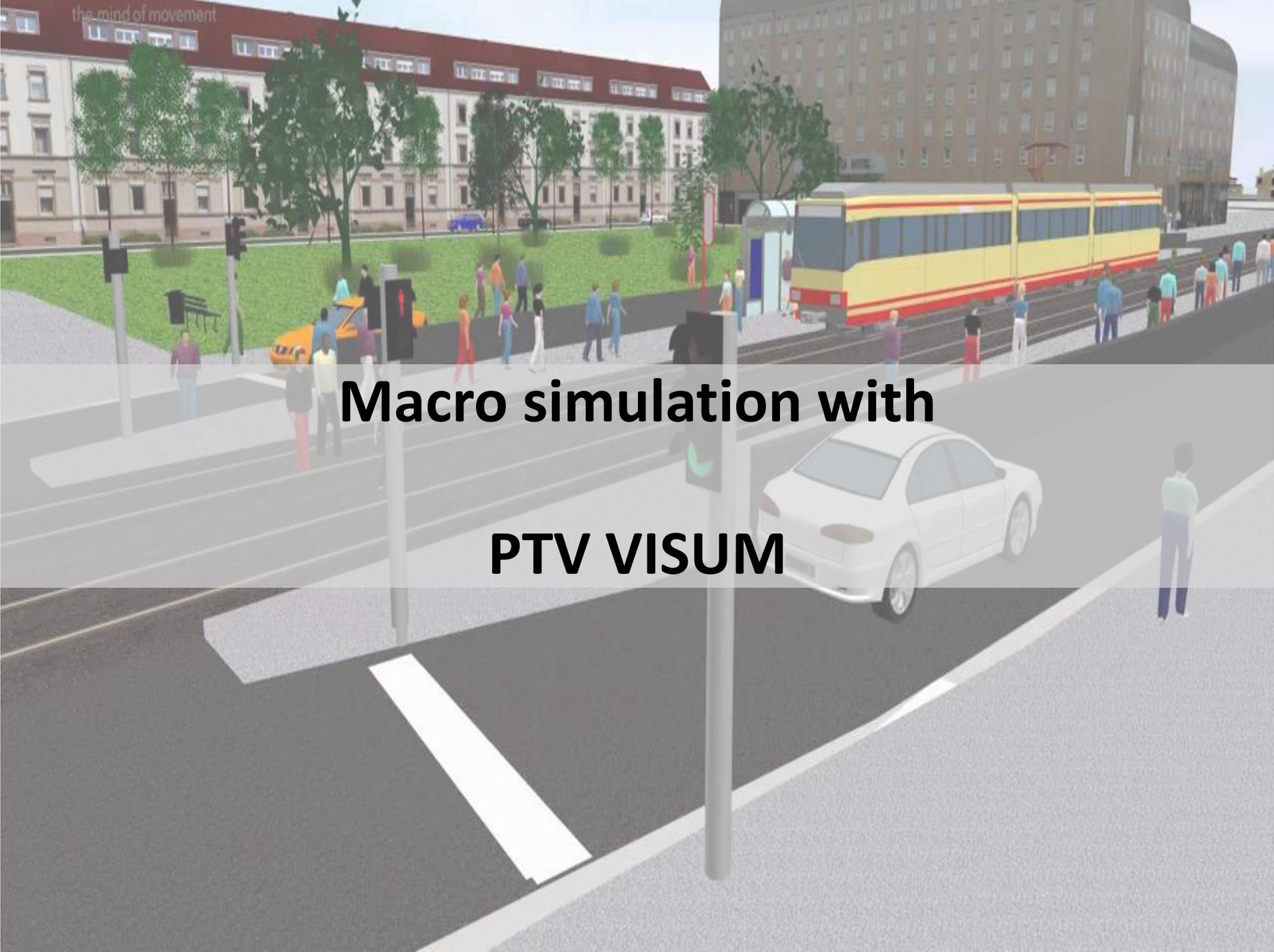
Modelos de Simulação de Tráfego: Micromodelos



*Simulação gráfica
de semáforo
pelo software VISSIM.
(PERON, 2015)*

Modelos de Simulação de Tráfego: Macromodelos

- O fluxo é tratado como fluido e o modelo segue a base das leis da hidrodinâmica e as equações usadas descrevem o fenômeno das **ondas de choque do tráfego**
- O **fluxo é tratado de modo indivisível**
- São utilizados nos **estudos de planejamento de longo prazo** e em grandes redes



Macro simulation with

PTV VISUM



- Network
- Nodes
 - Links**
 - Turns
 - Zones
 - Connectors
 - Main nodes
 - Main turns
 - Main zones
 - Territories
 - OD pairs
 - Main OD pairs
 - PrT paths
 - POIs
 - GIS objects
 - Screenlines

Quick view (Links)

Count: 1	
No	12235
FromNodeNo	743
ToNodeNo	700
TypeNo	3
TSysSet	B,C,W
Length	0.083km
CapPrT	24000
VOPrT	60km/h
VolVehPrT(AP)	105612



Edit link

Number:

From node: 743
To node: 700

Type:

[Set standard values for this link type](#)

Transport systems:

Basis | PrT TSys | PuT TSys | Congestion | DUE | ICA | User-defir

Direct distance: 0.083km v0 PrT:

Length: Lanes:

AddVal 1: Capacity PrT:

AddVal 2: HGV share (%):

AddVal 3: VolCapRatio PrT:

Plan no.: Volume PrT [Veh]:

Bar labels

Volume PuT-Walk:

Name:

[Transfer changes to reverse direction](#)



- Network
- Nodes
 - Links**
 - Turns
 - Zones
 - Connectors
 - Main nodes
 - Main turns
 - Main zones
 - Territories
 - OD pairs
 - Main OD pairs
 - PrT paths
 - POIs
 - GIS objects
 - Screenlines

Quick view (Links)

Count: 1

No	12235
FromNodeNo	743
ToNodeNo	700
TypeNo	3
TSysSet	B,C,W
Length	0.083km
CapPrT	24000
VOPrT	60km/h
VolVehPrT(AP)	105612



Edit link

Number: 12235

From node: 743

To node: 700

Type: 03 Arterial 2

Set standard values for this link type

Transport systems: B,C,W

Basis	PrT TSys	PrT TSys	Congestion	DUE	ICA	User-defir
Number: 10		C				
Permitted		<input checked="" type="checkbox"/>				
v0		60km/h				
vCur		1km/h				
t0		5s				
tCur		4min 45s				
Volume		105612.000				
Cross-section		161671.685				
Impedance		28542				
AddVal		0				
Toll		0.00				

Transfer changes to reverse direction

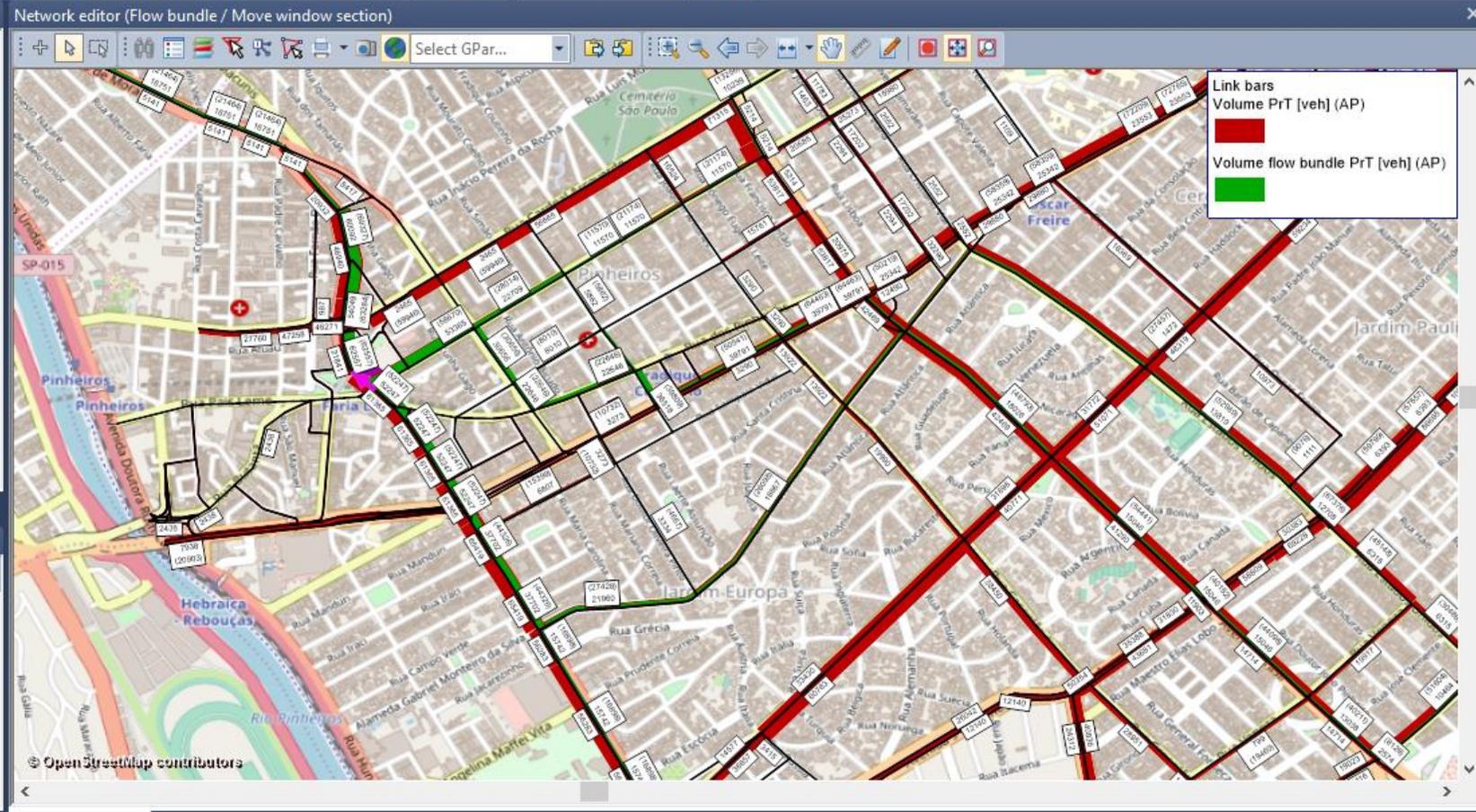
Opposite OK Cancel



- Network
- Nodes
- Links
- Turns
- Zones
- Connectors
- Main nodes
- Main turns
- Main zones
- Territories
- OD pairs
- Main OD pairs
- PrT paths
- POIs
- GIS objects
- Screenlines

Network x Matrices

Quick view



Modelos de Simulação de Tráfego: Mesomodelos

- Modelos de resolução intermediária
 - Os **usuários podem ser identificados individualmente**
 - Mas, a **dinâmica do tráfego é estudada de modo agregado**
 - os pelotões possuem velocidade e comportamento uniforme
 - Trabalham com base na Teoria da Dispersão de Tráfego
 - Estes modelos tem recebido grande atenção nas pesquisas dos últimos anos, e tem servido de base para diversos **modelos de simulação que trabalham integrados com sistemas em tempo real**

Modelos de Simulação de Tráfego: Multi-Resolução

- Tem sido usado mais recentemente
- Consiste na **utilização conjunta e integrada das 3 abordagens anteriores**
- São avaliados /nível:
 - macroscópico: manipulação dos padrões de viagens
 - mesoscópico: comportamento do usuário
 - microscópico: impactos das estratégias de controle de intersecções

Simulação de Cidades Inteligentes

- É necessário modelar os veículos individualmente para analisar e modelar cenários
- Não é necessário modelar os detalhes de interação entre veículos, como ocorre nos modelos microssimuladores, além da capacidade de modelar grandes redes viárias e um grande número de atores (SANTANA, 2019)
- Os mesossimuladores se mostram mais adequados à essa tarefa

SANTANA, F. E. Z. **InterSCSimulator: A Scalable, Open Source, Smart City Simulator**. [s.l.] Universidade de São Paulo - USP, 2019.



Planejamento de Transportes (*)

- Nível Estratégico
 - Garantir que a oferta de transportes esteja em um nível de serviço adequado para um período de longo prazo
 - Necessita de dados que caracterizem a região
 - população
 - fatores econômicos e
 - pesquisas de origem e destino (O/D)
 - Adequar a oferta de transporte à demanda da população
- Neste nível também se encontram os **modelos macroscópicos de tráfego**
 - Permitem simular as políticas e estratégias que os gestores pretendem implantar, avaliando seus resultados e julgando sua viabilidade

(*) Vânia Barcellos Gouvêa Campos. Planejamento de Transportes – Conceitos e Modelos



Modelos macroscópicos de tráfego

- Sua lógica consiste em definir áreas de interesse num mapa e indicar as vias desejadas para se analisar o tráfego de veículos
- Pode-se observar
 - o fluxo total desejado entre as áreas de interesse
 - o tempo necessário para chegar a qualquer região do mapa
 - partindo de um ponto pré-definido
- De forma específica (*):
 - é possível medir velocidades, densidades e fluxos **de forma agregada** e relativa aos **valores médios dos vários arcos / links** (considerados constantes ao longo do mesmo), chegando a uma representação estática da rede
 - um único estado da rede (“foto”)
 - avaliado a partir de determinadas condições específicas
 - que geralmente dizem respeito as características topológicas e viárias da rede

(*): AQUINO, 2013; ARIOTTI et al., 2004; MAIA, 2007

Modelos macroscópicos de tráfego

- Principais tipos de aplicações:
 - implementação de novas vias de tráfego
 - duplicação de vias e
 - implantação de corredores exclusivos de transporte público (AQUINO, 2013)
- Softwares de “**macrossimulação**” mais conhecidos:
 - TransCAD
 - AIMSUN
 - EMME e
 - **VISUM**

Modelos Computacionais de Simulação de Tráfego

MODELOS	APLICAÇÃO
Macroscópico	Planejamento de intervenções estratégicas
	Simulação de médias/grandes áreas
	Implementação de novas vias
	Duplicação de vias
Mesoscópicos	Análises de intervenções táticas
	Simulação de médias/grandes áreas
	Implementação de novas vias
	Duplicação de vias
	Definição de rotas de veículos
	Verificação das mudanças de rotas de veículos segundo estímulos
Microscópico	Análises de intervenções operacionais
	Simulação de pequenas/médias áreas
	Análises de esquemas alternativos de controle de tráfego
	Alteração na operação semafórica
	Entrada e saída - acessos "agulhas"
	Definição de rotas de veículos
	Análise de esquemas de operação de tráfego em área
	Verificação das mudanças de rotas de veículos segundo estímulos

Fonte: Peron (2015), adaptado de Maia (1978) e Medeiros (2012)

Bibliografia de referência (2)

- **AQUINO, E. A. Validação do modelo mesoscópico de tráfego do SCOOT para o desenvolvimento de redes viárias urbanas microssimuladas.** 2013. 105 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.
- **ARIOTTI, P.; ARAÚJO, D. R. C.; MOSCARELLI, F. C.; CYBIS, H. B. B. Associação de Modelos Macroscópicos e Microscópicos de Tráfego para Estudo de Circulação.** XVIII CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, **Anais**, ANPET, Florianópolis, 2004.
- **MAIA, F. V. B. Calibração e validação de modelos de meso e microssimulação do tráfego para a avaliação de intervenções tático-operacionais na malha viária urbana.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.
- **PERON, Luciano. Contribuição metodológica para aplicação de prioridade semafórica condicional em corredores de ônibus.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

Modelagem macroscópica de tráfego: construção da rede viária

- Para começar a simular uma rede, assim como no software VISSIM, primeiro é necessário construí-la
- Os elementos de rede são “parecidos” com os do VISSIM, no entanto, existem alguns a mais

1º) Sobre uma imagem de "*background*" ou "imagem de fundo", importada de serviços de mapas como o **Open Street Maps**, usam-se três elementos: *links, nós, e turns*

2º) Criam-se **zonas**, polígonos responsáveis por representar grandes regiões da área de simulação

- Para efeitos de simulação, a zona é representada com todas as suas propriedades por um elemento pontual chamado centróide
- Todo o tráfego oriundo e entrante, numa zona, é carregado em seu centróide
- Conecta-se, através do objeto "conectores", o centróide aos nós que representam adequadamente a origem do tráfego em cada uma das zonas

Modelagem macroscópica de tráfego: construção da rede viária

- A construção de redes em macromodelos envolve geralmente três elementos: *links*, *nós*, e *turns*.
- Os *links* representam as vias:
 - Suas características devem ser inseridas pelo usuário, de modo que o software considere essas informações no momento da simulação
 - O usuário deve informar os sentidos de direção, o número de faixas, a capacidade e uma velocidade de referência, que pode ser a velocidade de fluxo livre (Engenharia de Tráfego)
 - Após a construção deste elemento no modelo, o programa calcula seu comprimento, que será importante para a determinação das velocidades médias nas vias e dos tempos de viagens

Modelagem macroscópica de tráfego: construção da rede viária

- Os *nós* e as *turns* são recursos desenvolvidos para a construção de redes
 - eles não representam diretamente algo presente no mundo real
- Os nós determinam o início e o término dos *links*
 - **Primeiro se posicionam os nós** e, a partir deles constroem-se os *links*, indo de um nó a outro
 - Servem para marcar as localidades importantes da rede, tais como as interseções viárias
- As *turns* são elementos que determinam os movimentos permitidos em intersecções, e quais os tipos de veículos que podem realizá-los

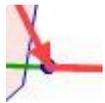
Objetos de rede elementares



Nós



Arcos



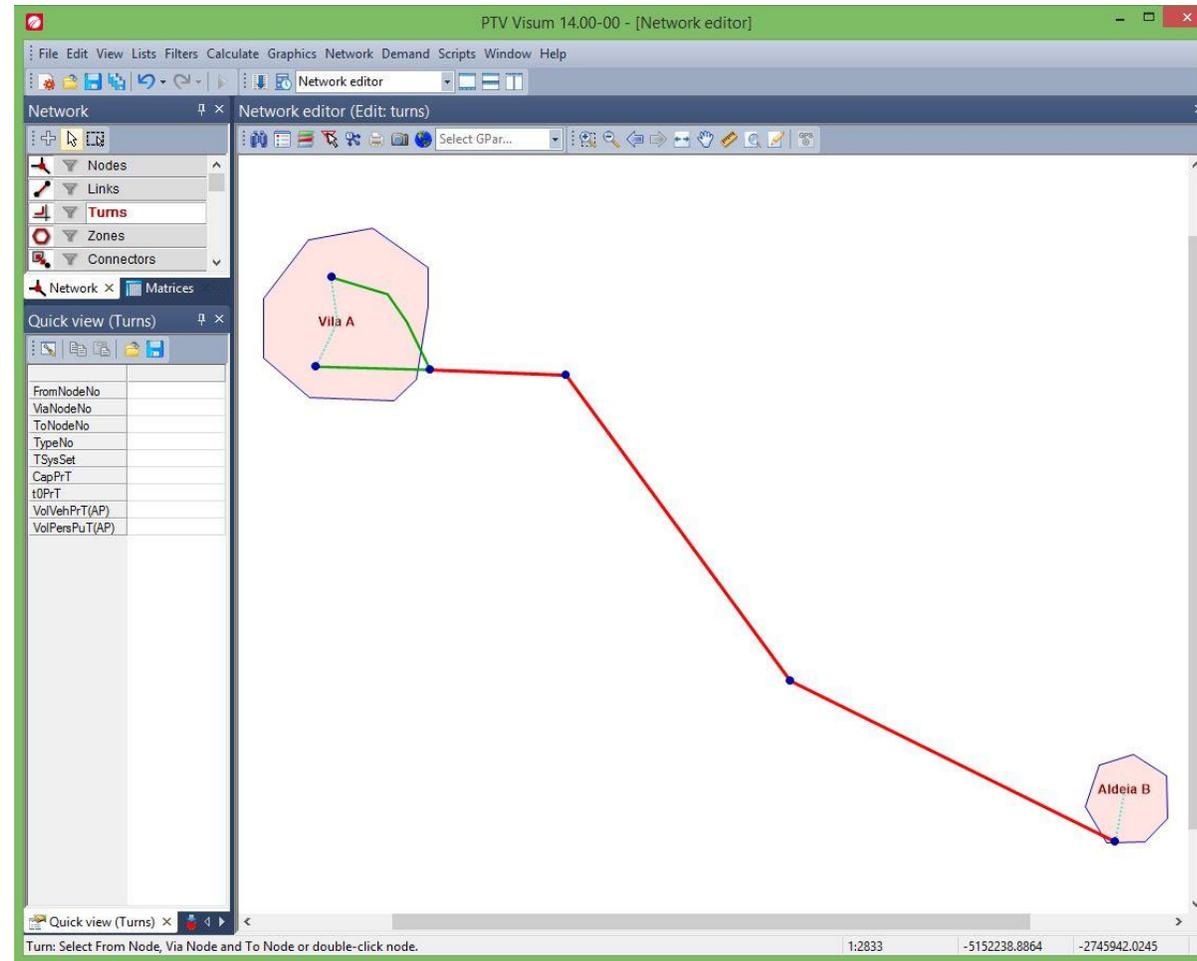
Viragens



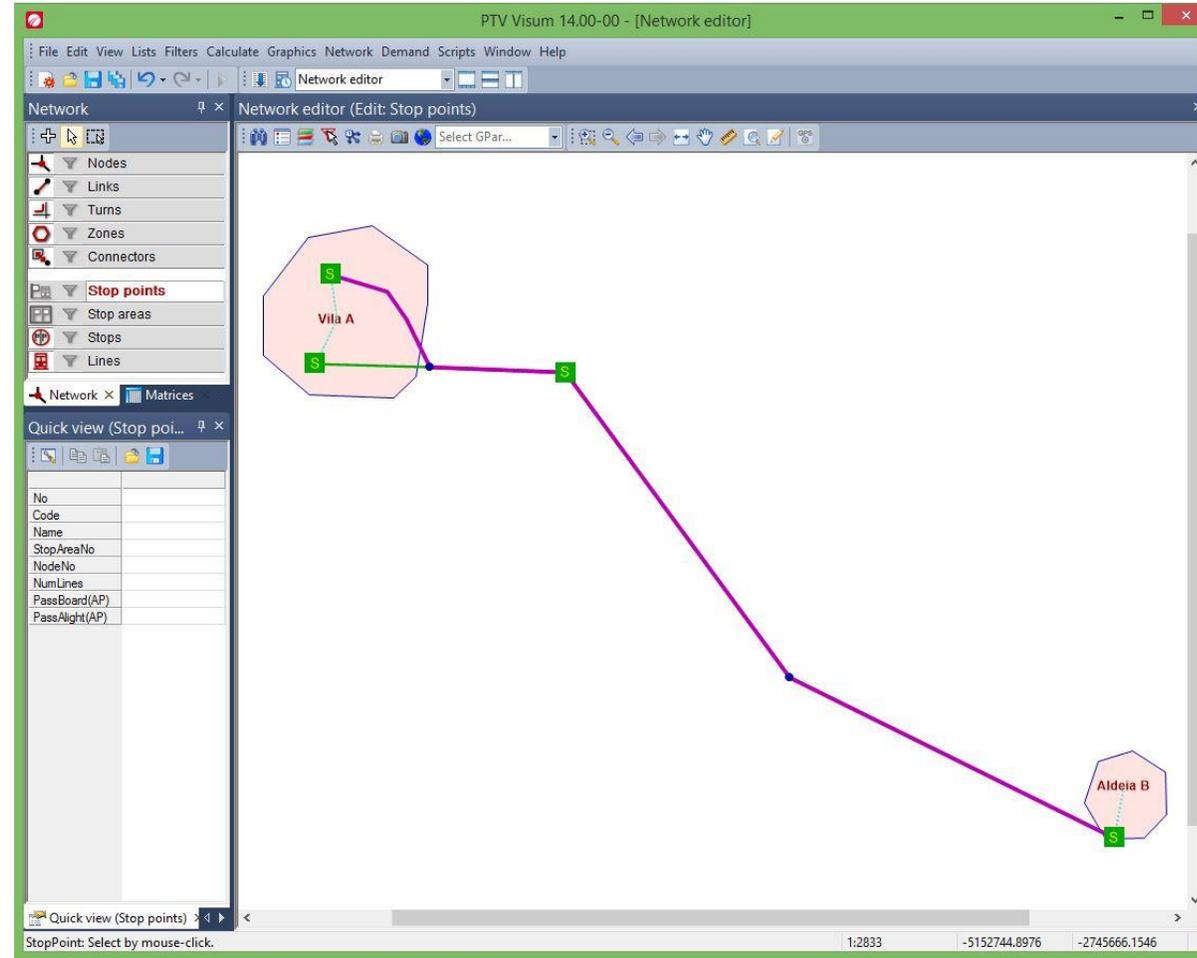
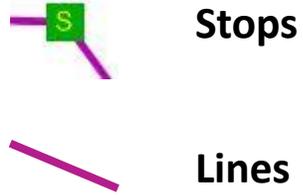
Zonas



Conectores



- Objetos elementares da rede TP



Modelagem macroscópica de tráfego: construção da rede viária

- Função de impedância (ou custo generalizado)
 - indica a "dificuldade" de um veículo passar em cada via da rede
 - Simula as condições atrativas ou repulsivas de fluxo de tráfego
 - Exemplos:
 - uma boa pavimentação, iluminação e velocidade permitida elevada podem ser consideradas condições atrativas da via e que, portanto, reduzem a impedância
 - em contraste, imediações inseguras, má pavimentação e má iluminação são condições que desencorajam veículos a trafegar na via e, portanto, aumentam sua impedância



Função de Impedância

The screenshot shows the 'General procedure settings' window with the 'PrT settings - Impedance' tab selected. A sub-dialog titled 'Parameters Edit attribute' is open, showing the configuration for the 'Impedance(C)' attribute. The sub-dialog includes a table with the following data:

	Coefficient	Attribute	Op.	Coefficient	Attribute
	100.0000	tCur-PrTSys			

Below the table, there are 'Create' and 'Delete' buttons. At the bottom of the sub-dialog, it specifies: 'Unit of length for impedances: Meter' and 'Unit of time for impedances: Second'. The main dialog also has 'Save...' and 'Open...' buttons at the bottom left, and 'OK' and 'Cancel' buttons at the bottom right.



Função de Impedância

The screenshot displays the 'General procedure settings' window with a tree view on the left and a main settings area on the right. The tree view includes 'PrT settings', 'Volume-delay functions', 'Impedance', 'Assignment', 'Skims', 'Node impedances', 'Signal cycle and split optim', 'Blocking back model', 'PuT settings', 'Analysis time slots', and 'Volumes'. The main area is titled 'PrT settings - Impedance' and contains a table with columns: TSys, In detail, All, Links, Connectors, Turns, and Main turns. Row 1 is for 'Car' with 'In detail' checked and 'Function' selected under 'Links'. A 'Parameters 'Edit attribute'' dialog box is open, showing 'Network object type Link', 'Target attr. Impedance(Car)', and a formula $:=$. Below the formula is a table with columns: Coefficient, Attribute, Op., Coefficient, and Attribute. The table contains one row: Coefficient 1.0000, Attribute TCur_PrTsys(Car), Op. /, Coefficient 1.0000, and Attribute attractivity. At the bottom of the dialog are 'Create' and 'Delete' buttons, and text indicating 'Unit of length for impedances: Meter' and 'Unit of time for impedances: Second'. The main window has 'Save...' and 'Open...' buttons at the bottom left.

TSys	In detail	All	Links	Connectors	Turns	Main turns
1 Car	<input checked="" type="checkbox"/>		Function	Function	Function	Function
2						

Coefficient	Attribute	Op.	Coefficient	Attribute
1.0000	TCur_PrTsys(Car)	/	1.0000	attractivity

Modelagem macroscópica de tráfego: construção da rede viária

- Funções de degradação de velocidade
 - Regem como os veículos aceleram e desaceleram com base em interrupções de movimento (semáforos, conversões de sentido) e congestionamentos
 - Volume Delay Functions (VDF)
 - CET/SP: Bureau of Public Roads (BPR)

Diagrama volume-velocidade – relação fundamental

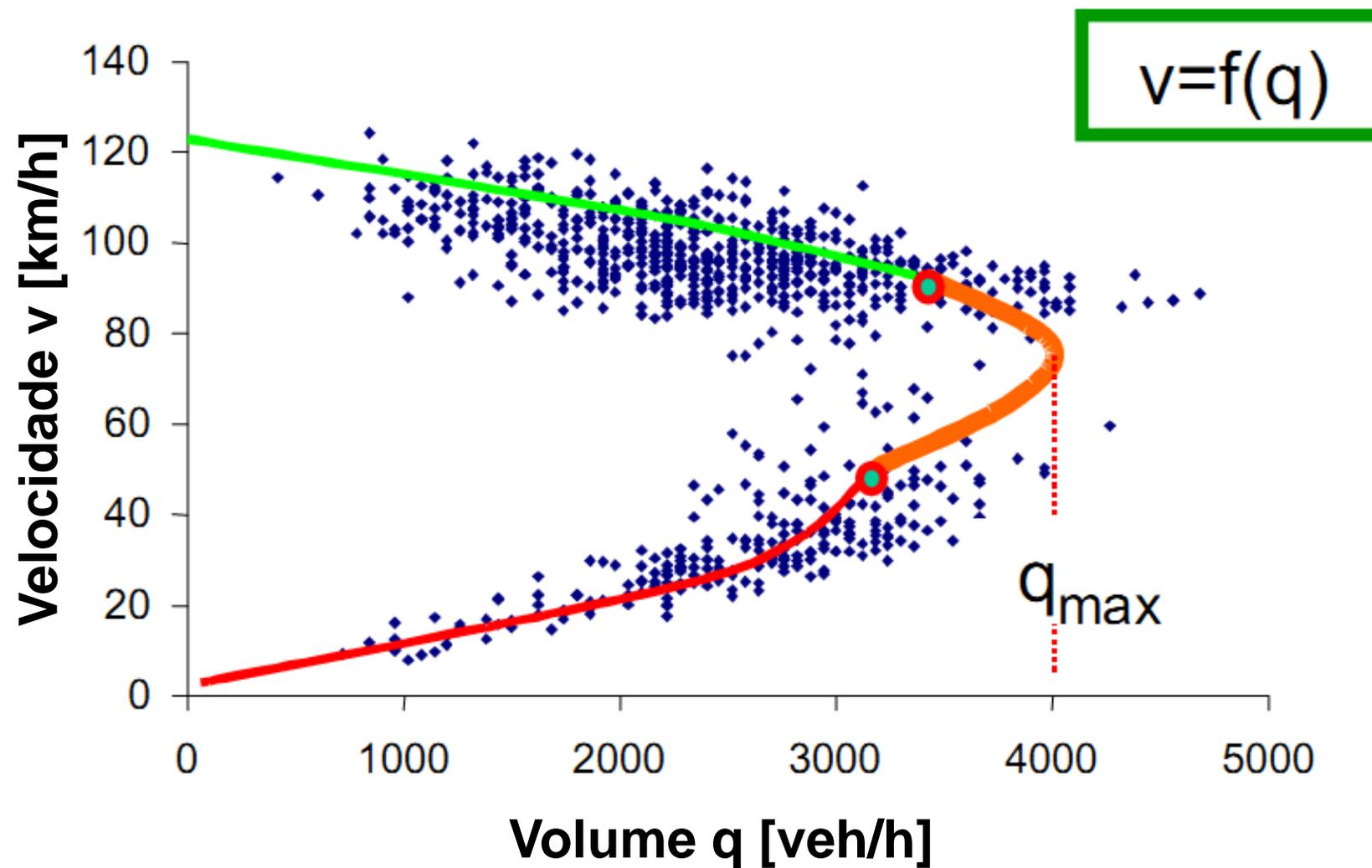
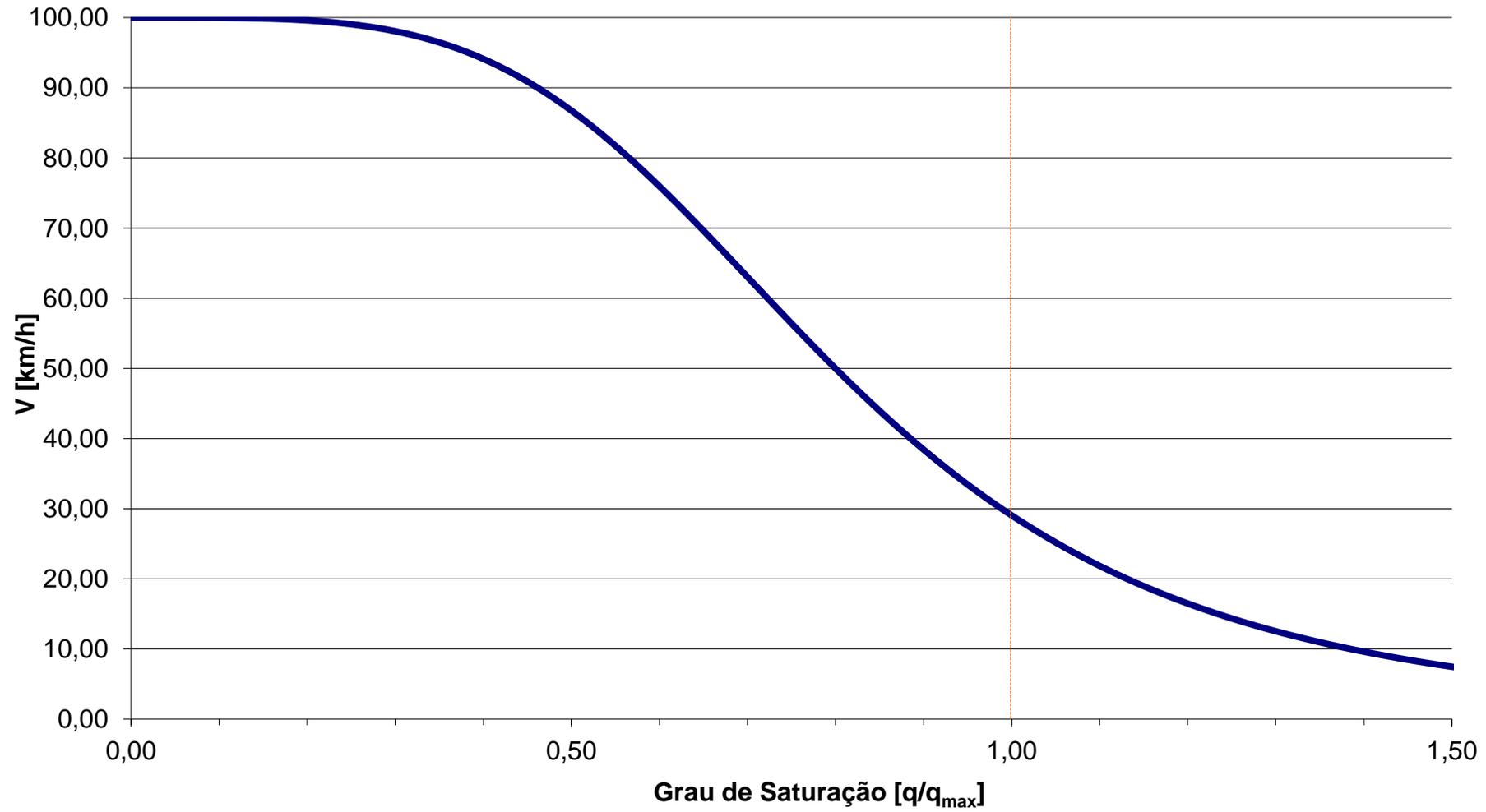


Diagrama volume-velocidade

- É a base para a definição da função de degradação de velocidade
- Pretendemos compreender o comportamento do tráfego, isto é, as escolhas de caminho feitas pelos utilizadores a partir do conhecimento da situação do tráfego geral na rede, em especial quando esta está perto do limite (q_{max})
- A partir destes diagramas não é evidente que haja uma função óbvia ao longo de toda a curva – pelo contrário, diferentes curvas de regressão podem ser assumidas para diferentes condições de tráfego.



Diagrama velocidade-saturação



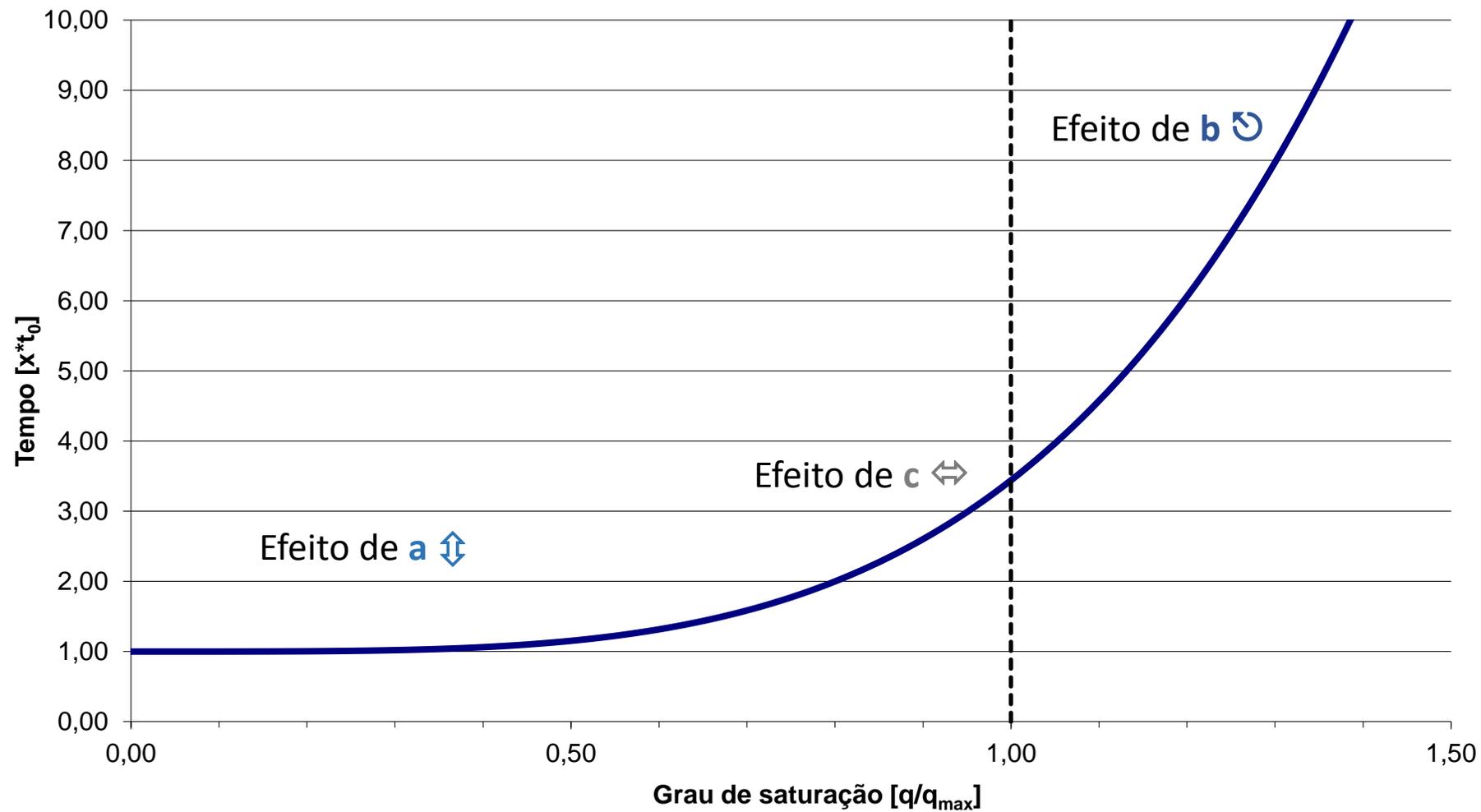
Funções de degradação de velocidade: Volume Delay Function (VDF)

- A base para os procedimentos de alocação no transporte privado é a seleção da função de degradação da velocidade (VDF), as quais podem ser definidas para cada elemento da rede.
- As VDF podem ser definidas para:
 - Arcos
 - Nós
 - Viragens
 - Conectores
- A descrição matemática da primeira função é :

$$t_{cur} = t_0 * \{1 + a * [q/(c * q_{max})] * b\}$$

- Esta função é chamada **BPR (Bureau of Public Roads)** e foi a primeira curva de regressão publicada no **HCM (Highway Capacity Manual)** de 1964.

Funções de degradação de velocidade – volume delay function (VDF)



Exemplo de diferentes funções usadas pelo INRETS (França)

