

Um Modelo de Autômato Celular Aplicado ao
Tráfego Viário com Múltiplos Perfis de
Condutores
Defesa de tese

Aluno: Marcelo Panaro de Moraes Zamith
Orientadora: Regina Célia P. Leal - Toledo

Instituto de Computação
Universidade Federal Fluminense
Niterói

mzamith@ic.uff.br

13 de março de 2013

Roteiro

Introdução

Autômato Celular e teoria do fluxo

Investigações preliminares

Modelo TAC-UFF

Modelo T-UFF

Função de densidade de probabilidade *Beta*

Política de antecipação

Testes de validação

Extensão do modelo T-UFF para Múltiplas Faixas

Testes de validação

T-UFF com Comportamentos de Motoristas

Conclusão

Trabalhos futuros

Introdução

- Problema:
 - ▶ Modelar a dinâmica do tráfego viário utilizando Automato Celular (modelagem microscópica).
- Objetivo da tese:
 - ▶ Reproduzir qualitativamente e quantitativamente a dinâmica do tráfego viário.
 - ▶ Desenvolver um modelo de Autômato Celular capaz reproduzir as características necessárias do tráfego viário:
 - Múltiplas pistas.
 - Veículos de dimensões e velocidades diferentes.
 - Reproduzir diferentes comportamentos de motoristas.
 - ▶ Simular diferentes cenários.
- Motivação:
 - ▶ Planejamento do fluxo veículo.
 - ▶ Estudo sobre novas vias, com a avaliação de tratamentos alternativos na gestão e controle do tráfego.
 - ▶ Sistemas educacionais sobre o efeito de determinados comportamentos na direção do veículo.
 - ▶ Jogos realísticos envolvendo movimentação de veículos.

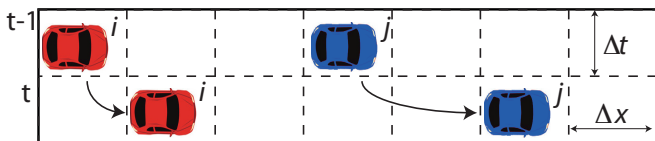
Autômato Celular (AC)

Autômato Celular (AC)

- É uma técnica capaz de simular sistemas dinâmicos e complexos.
- Idealizado por John Von Newman.
- *Game of life* desenvolvido por John Horton Conway.

Autômato Celular aplicado ao tráfego

- Reproduz a dinâmica do tráfego.
- Variáveis discretizadas:
 - ▶ Posição em célula (x).
 - ▶ Velocidade em células por segundo (v), onde $v \in [0, v_{max}]$.
 - ▶ Tempo em segundos (t).
- A via é discretizada na malha (1D ou 2D).

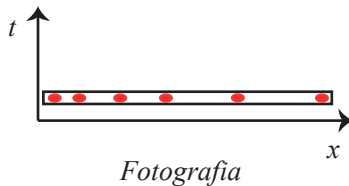
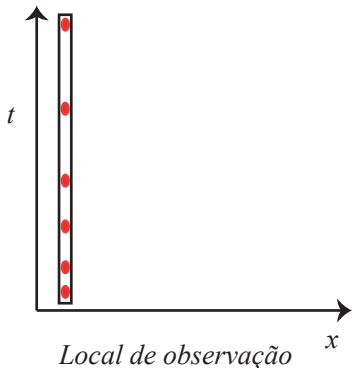


Autômato Celular aplicado ao tráfego

- Via é discretizada em uma malha regular de comprimento L .
- Deslocamento dos veículos é dado pela regra de transição.
- Velocidade dada é em número de células por instante de tempo (**número de células em um segundo**).
- Nova posição de um veículo é: $x_i^{t+1} = x_i^t + v_i^t$.
- Definição de uma condição de contorno (periódica, onde $x = x + L$)

Conceitos da teoria do fluxo de tráfego

Principais variáveis para análise do tráfego: fluxo, densidade e velocidade média.



Conceitos da teoria do fluxo de tráfego

Variáveis necessárias para análise do tráfego:

- **Fluxo:** Número de veículos que passam por uma seção da pista em um intervalo de tempo T : $J = \frac{m}{T}$

- **Velocidade média:** Velocidade média desses veículos:
$$\bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^m v_i}{m}$$

- **Densidade:** Número de veículos em um trecho da pista:
$$\bar{\rho} = \frac{m^2}{T \sum_{i=1}^m v_i}$$

Conceitos da teoria do fluxo de tráfego

Diagrama fluxo-densidade

● Fluxo \times densidade

▶ Livre:

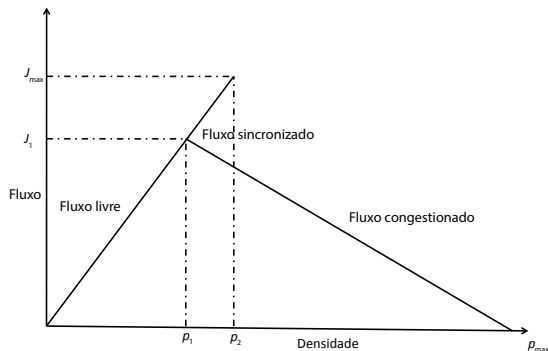
$$0 \leq \rho \leq \rho_1$$

▶ Meta-estabilidade:

$$\rho_1 < \rho < \rho_2$$

▶ Congestionado:

$$\rho > \rho_2$$



Conceitos da teoria do fluxo de tráfego

Diagrama fluxo-velocidade

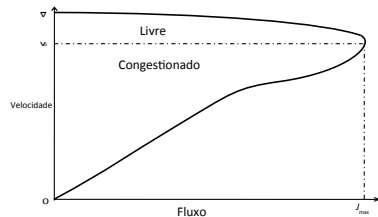
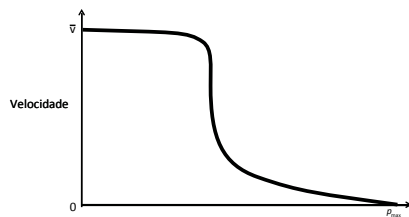
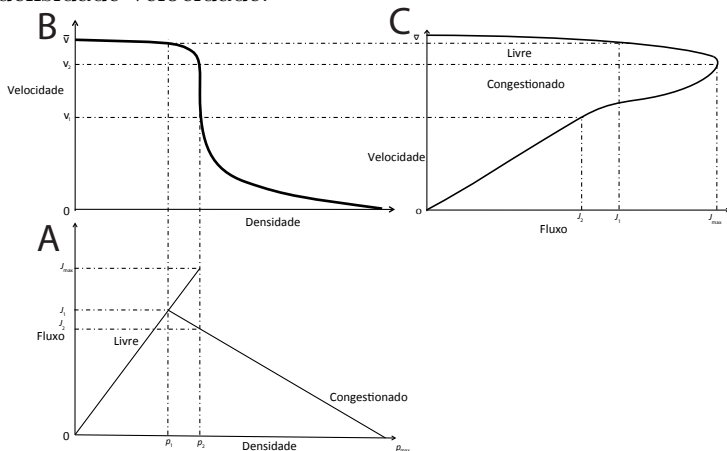


Diagrama densidade velocidade



Conceitos da teoria do fluxo de tráfego

Diagramas fluxo-densidade, fluxo-velocidade e densidade-velocidade:



Conceitos da teoria do fluxo de tráfego

Diagrama fluxo-densidade

● Fluxo \times densidade

▶ Livre:

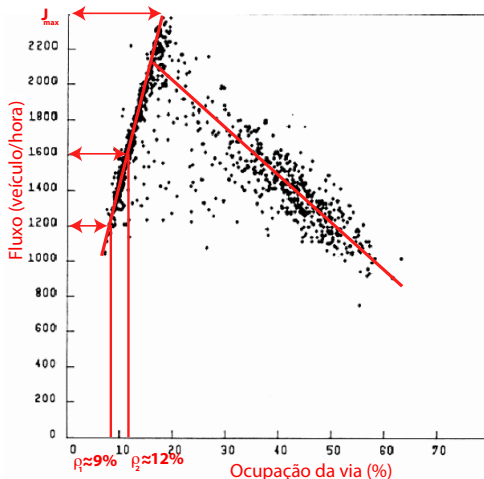
$$0 \leq \rho \leq \rho_1$$

▶ Meta-estabilidade:

$$\rho_1 < \rho < \rho_2$$

▶ Congestionado:

$$\rho > \rho_2$$



Conceitos da teoria do fluxo de tráfego

Extração dos dados e o sensor de movimento:

- **Fluxo:** $J = \frac{N_p}{T}$
- **Velocidade:** $\bar{v} = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T \left(\frac{\sum_{j=1}^{N_i} v_j}{N_i} \right)$
- **Densidade:** $\rho = \frac{J}{\bar{v}}$, portanto: $\rho = \frac{N_p^2}{T \sum_{k=1}^{N_p} v_k} + \frac{N_s}{T}$

Nagel e Schreckenberg em 1992 - Modelo NaSch

- **aceleração:** cada veículo tenta acelerar até a velocidade máxima da via:

$$v_i^{t+1} = \max[v_i^t + 1, v_{max}]$$

- **probabilidade:** com probabilidade p , o motorista não tem esse comportamento

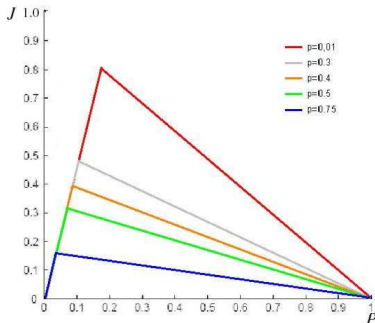
$$se(p < pm) v_i^{t+1} = v_i^{t+1} - 1$$

- **Ajuste de velocidade:** analisa-se o espaço entre o veículo considerado e o veículo à frente ($d_i^{t+1} = x_{i+1}^t - x_i^t - 1$). Sendo a velocidade maior que a distância, então ela é limitada por esta distância a fim de evitar a ocorrência de colisões

$$v_i^{t+1} = \min[d_i^{t+1}, v_i^{t+1}]$$

- **atualização:** definida a velocidade, define-se a nova posição dos veículos

$$x_i^{t+1} = x_i^t + v_i^{t+1}$$



Trabalhos relacionados

- *slow-to-start*:
 - ▶ Takayasu, M. e Takayasu, H. em 1993.
 - ▶ Barlovic, R. e Santen, L. e Schadschneider, A. e Schreckenberg, M. em 1998.
- Antecipação:
 - ▶ Emmerich, H. e Rank, E. em 1997.
 - ▶ Knospe, W. and Santen, L. e Schadschneider, A. e Schreckenberg, M. - luz de freio.
 - ▶ Nishinari, K. e Fukui, M. e Schadschneider, A. em 2004.

Investigações Preliminares - Modelo TAC-UFF

Modelo de antecipação com ajuste de fluxo com FDP uniforme por partes.

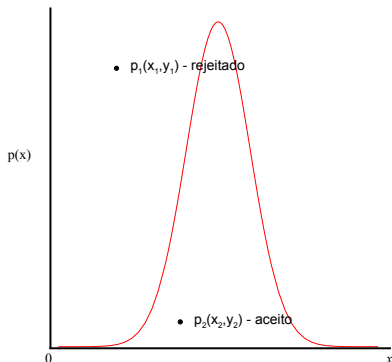
```
Input: ( $p_m$ , estado atual)
Result: novo estado
1 for para todos os veículos do
2    $v_i^t = \min[v_i^{t-1} + 1, v_{max}]$ ;
3    $p = \text{sortear numero} \in [0, 1]$ ;
4   if  $p \leq p_m$  and  $v_i^{t-1} > 0$  then
5      $v_i^t = v_i^{t-1} - 1$ ;
6   end
7    $\alpha_i^t = \text{Monte Carlo}$ ;
8    $d_i^t = x_i^{t-1} - x_{i-1}^{t-1} - 1$ ;
9    $d_{is}^t = d_i^t + \text{int}(v_{i+1}^{t-1} \times (1 - \alpha_{i+1}^{t-1}))$ ;
10  if  $v_i^t > d_{is}^t$  then
11     $v_i^t = d_{is}^t$ ;
12  end
13  if  $\text{int}(v_{i+1}^{t-1} \times (1 - \alpha_i^t)) > d_{is}^t$  then
14     $\text{resolve cluster de veículos } (i)$ ;
15  end
16 end
17 for para todos os veículos do
18    $x_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t$ ;
19 end
```

```
Input: ( $p_m, i$ )
Result: novo estado
1 while  $v_i^t > d_i^t$  do
2    $\alpha_i^t = \text{Monte Carlo}$ ;
3    $d_i^t = x_i^{t-1} - x_{i-1}^{t-1} - 1$ ;
4    $d_{is}^t = d_i^t + \text{int}(v_{i+1}^{t-1} \times (1 - \alpha_{i+1}^{t-1}))$ ;
5   if  $v_i^t > d_{is}^t$  then
6      $v_i^t = d_{is}^t$ ;
7   end
8   if  $\text{int}(v_{i+1}^{t-1} \times (1 - \alpha_i^t)) > d_{is}^t$  then
9      $\text{Resolve Cluster de Veículos } (i)$ ;
10  end
11   $i = i - 1$ ;
12 end
```

Investigações Preliminares - Modelo TAC-UFF

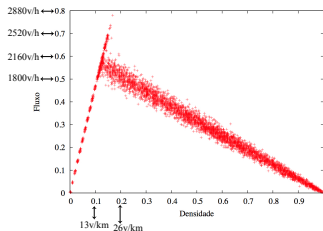
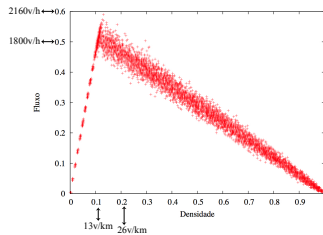
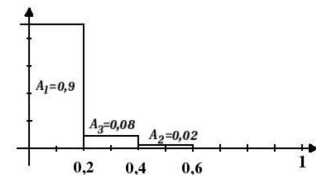
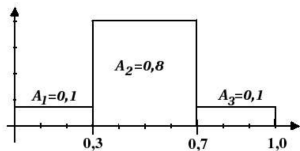
O parâmetro α é escolhido de acordo com o método de Monte Carlo (técnica da rejeição) que consiste em:

- sorteio:
é sorteado um par ordenado (x, y) ;
- rejeição: se $y > f(x)$ então o par é rejeitado e retorna-se ao passo de sorteio, caso contrário $\alpha \leftarrow x$.



Investigações Preliminares - Modelo TAC-UFF

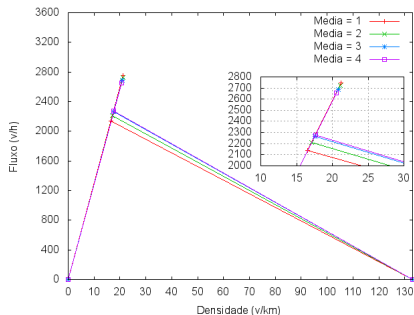
Modelo de antecipação com ajuste de fluxo com FDP uniforme por partes:



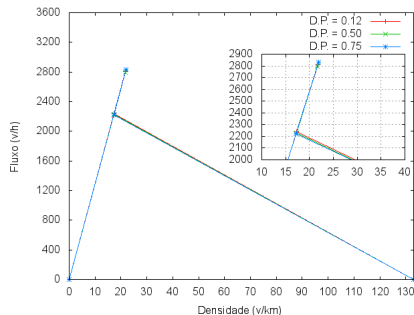
Investigações Preliminares - Modelo TAC-UFF

Modelo de antecipação com ajuste de fluxo com FDP contínua normal:

- ($\mu = 1, \mu = 2, \mu = 3$ e $\mu = 4$)
- $\sigma = 0,25$



- média $\mu = 2$
- ($\sigma = 0,12, \sigma = 0.50$ e $\sigma = 0,75$)



Modelo T-UFF

Modelo T-UFF

Princípios:

- Todos os veículos tentarão acelerar até a velocidade máxima da via ou permitida pelo fluxo.
- Para isso:
 - ▶ O veículo vai perceber a distância entre ele e o veículo à frente.
 - ▶ O veículo vai ajustar sua velocidade conforme essa percepção de distância.

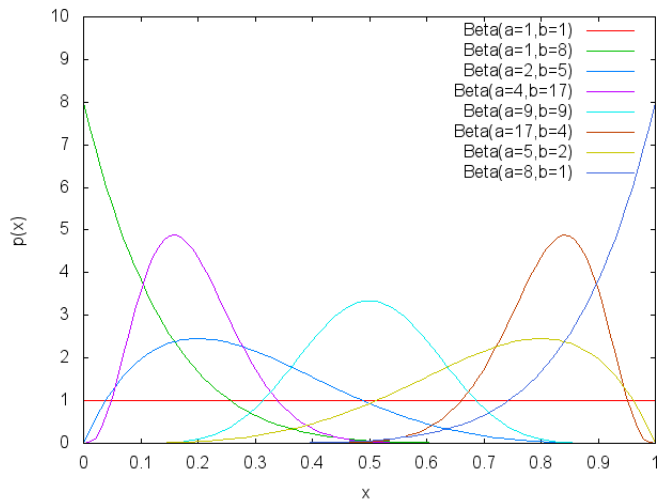
Modelo T-UFF: Função de densidade de probabilidade *Beta*

- Comportamento do motorista melhor representado.
- Diferentes formas de considerar:
 - ▶ a distância entre os veículos.
 - ▶ ajustar a velocidade.
- Facilidade na sua manipulação.
- Representação de diversas possíveis curvas.

Modelo T-UFF: Função de densidade de probabilidade *Beta*

- $f(x) = \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\Gamma(b)} x^{a-1} (1-x)^{b-1}$.
- $\Gamma(n)$ representa o fatorial do número $n \in \mathbb{Z}$.
- $x \in [0, 1]$.
- Os parâmetros a e b :
 - ▶ Valores maiores que zero (0).
 - ▶ Definem o formato da curva.

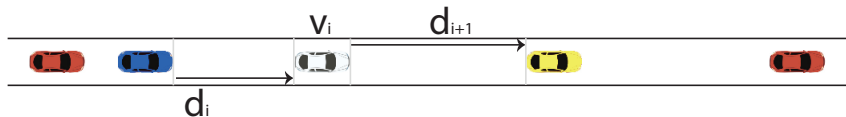
Modelo T-UFF: FDP *Beta* com diferentes valores de a e b



Modelo T-UFF: Política de antecipação

- Conceito apresentado no modelo T-UFF:
 - ▶ Percepção da distância.
 - ▶ Ajuste de velocidade.

Modelo T-UFF: Política de antecipação - Percepção da Distância



$$d_{i+1}^{t-1} = x_{i+1}^{t-1} - x_{i+2}^{t-1} - l_{i+2}$$

$$d_i^{t-1} = x_i^{t-1} - x_{i+1}^{t-1} - l_{i+1}$$

$$\delta d = d_i^{t-1} - d_{i+1}^{t-1}$$

$$d_s = \text{int}(\delta v \times (1 - \alpha))$$

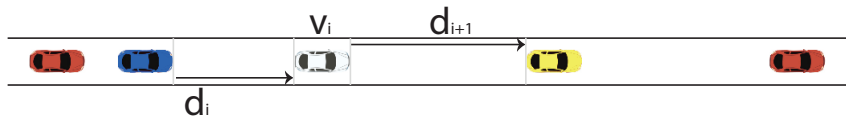
$$t_h = \frac{d_i}{\Delta v}$$

$$\Delta v = (v_i^{t-1} + \delta v) - v_{i+1}^{t-1}$$

$$d_s = d_s + \text{int}(d_{s_{min}} \times \alpha_i^{t-1})$$

$$d_{i_s}^t = \max \left[d_i^{t-1} + \min \left[v_{i+1}^{t-1} + \text{int}(\delta v \times (1 - \alpha_{i+1}^{t-1})), d_{i+1}^{t-1} \right] - d_s, 0 \right]$$

Modelo T-UFF: Política de antecipação - Percepção da Distância



$$v_i^t = \min \left[v_i^{t-1} + \text{int} \left(\delta v \times (1 - \alpha_i^{t-1}) \right), v_{max} \right]$$

Modelo T-UFF: Algoritmo

Input: (estado atual)

Result: novo estado

```
1 for para todos os veículos do
2    $d_i^{t-1} = x_i^{t-1} - x_{i+1}^{t-1} - l_{i+1}$ 
3    $d_{i+1}^{t-1} = x_{i+1}^{t-1} - x_{i+2}^{t-1} - l_{i+2}$ 
4    $\alpha = \text{Beta}(a, b)$ 
5    $\Delta v = (v_i^{t-1} + \delta v) - v_{i+1}^{t-1}$ 
6    $d_s = 0$ 
7   if  $\Delta v > 0$  then
8      $t_h = \frac{d_i^{t-1}}{\Delta v}$ 
9      $\delta d = d_i^{t-1} - d_{i+1}^{t-1}$ 
10    if  $\delta d \leq \text{int}(\delta v \times (1 - \alpha))$  then
11      |  $\bar{d}_s = \text{int}(\delta v \times (1 - \alpha))$ 
12    end
13    if  $t_h \leq \text{int}(h \times \alpha)$  then
14      |  $\bar{d}_s = d_s + \text{int}(d_{s_{\min}} \times \alpha)$ 
15    end
16  end
17   $d_{is}^t = \max \left[ d_i^{t-1} + \min \left[ v_{i+1}^{t-1} + \text{int}(\delta v \times (1 - \alpha)), d_{i+1}^{t-1} \right] - d_s, 0 \right]$ 
18   $v_i^t = \min \left[ v_i^{t-1} + \text{int}(\delta v \times (1 - \alpha)), v_{\max} \right]$ 
19  if  $v_i^t > d_{is}^t$  then
20    |  $v_i^t = d_{is}^t$ 
21  end
22 end
```

```
1 for para todos os veículos
2 do
3   |  $x_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t$ 
4 end
```

Modelo T-UFF: Testes

- **GRUPO 1:** A influência dos parâmetros h e $d_{s_{min}}$ no cálculo de d_s .
- **GRUPO 2:** A Diferença das FDPs adotadas na relação fluxo-densidade.
- **GRUPO 3:** Diferentes v_{max} para uma mesma FDP na relação fluxo-densidade.

Modelo T-UFF: Testes

Configuração:

- domínio simulado é de 10.000 células, o que equivale a 15km de pista.
- A condição de contorno é periódica.
- 14.400 passos de simulação (4 horas).
- $v_{max} = 25c/s$.
- Veículos no domínio: entre 1 a 96% de ocupação e com incremento de 1%.

Modelo T-UFF: Testes - GRUPO 1

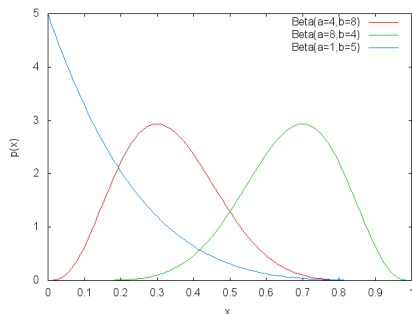
- Considerando os mesmos valores

h e $d_{s_{min}}$:

- ▶ $h = 6$
- ▶ $h = 12$
- ▶ $h = 15$

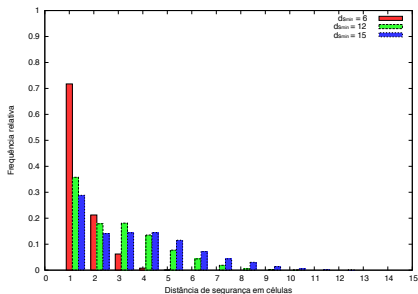
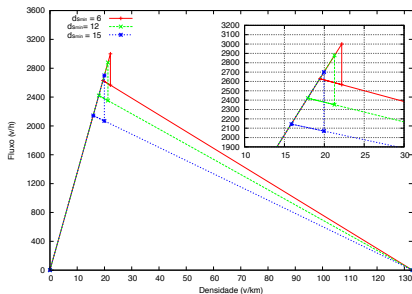
- FDPs *Beta* adotadas:

- ▶ $a = 1$ e $b = 5$ - $\alpha \rightarrow 0$
- ▶ $a = 8$ e $b = 4$ - $\alpha \rightarrow 1$
- ▶ $a = 4$ e $b = 8$ - $\alpha \rightarrow 0,3$



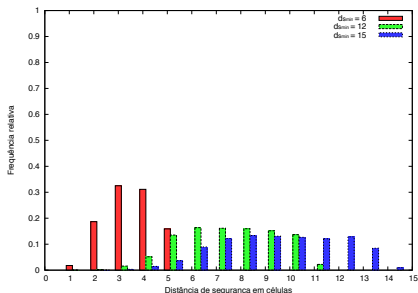
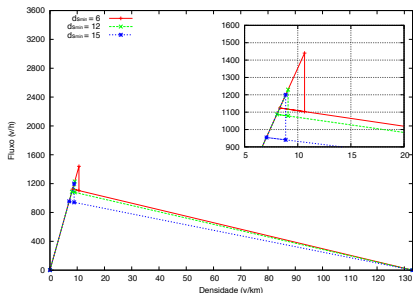
Modelo T-UFF: Testes - GRUPO 1

FDP $Beta(a = 1, b = 5)$:



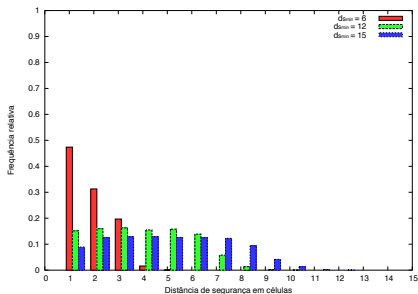
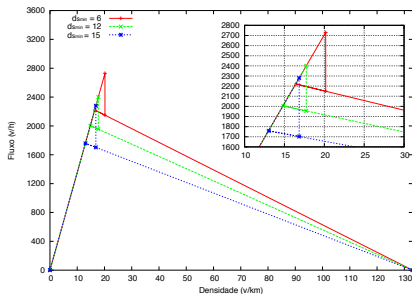
Modelo T-UFF: Testes - GRUPO 1

FDP $Beta(a = 8, b = 4)$:



Modelo T-UFF: Testes - GRUPO 1

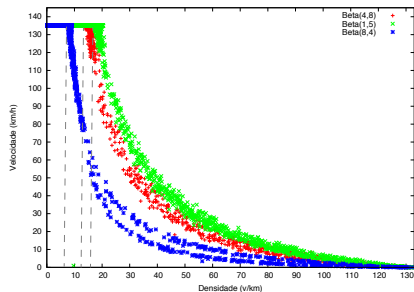
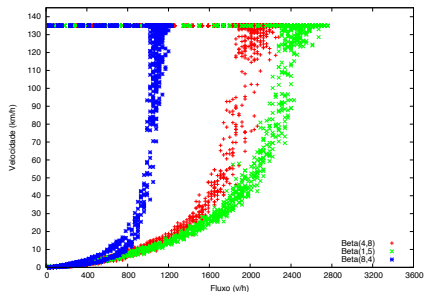
FDP $Beta(a = 4, b = 8)$:



Modelo T-UFF: Testes - GRUPO 2

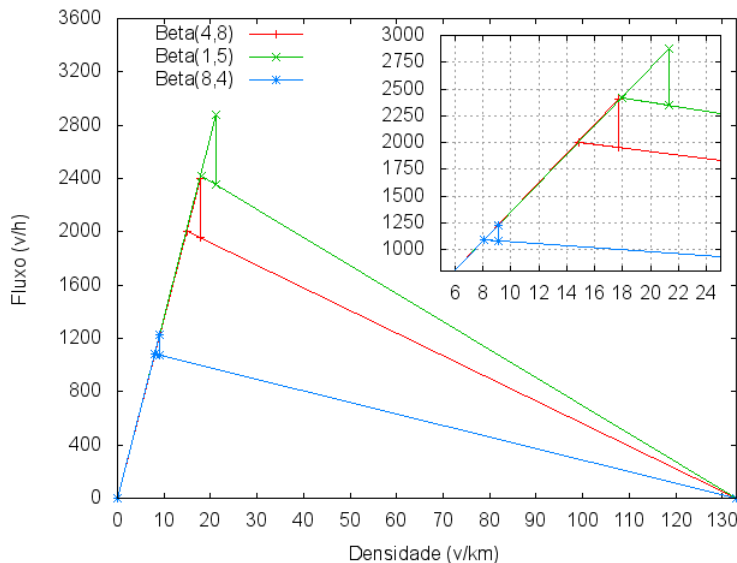
Diferentes FDPs:

- FDP $Beta(a = 4, b = 8)$ ◆
- FDP $Beta(a = 1, b = 5)$ ◆
- FDP $Beta(a = 8, b = 4)$ ◆



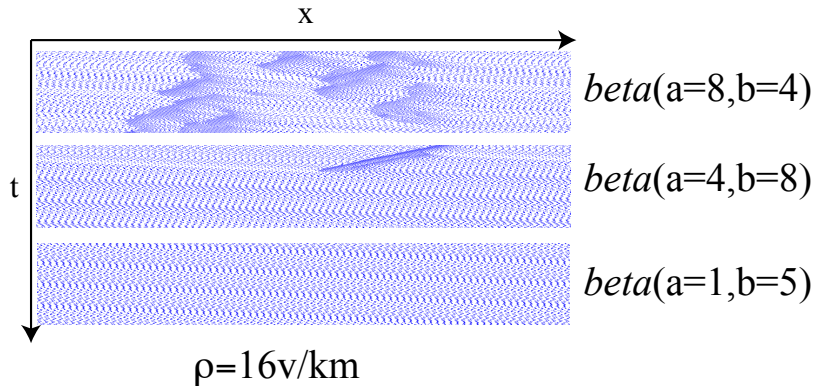
Modelo T-UFF: Testes - GRUPO 2

Diferentes FDPs:



Modelo T-UFF: Testes - GRUPO 2

Diferentes FDPs - diagrama espaço tempo:

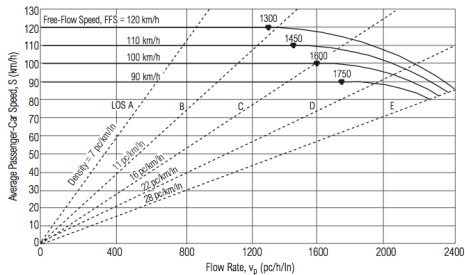
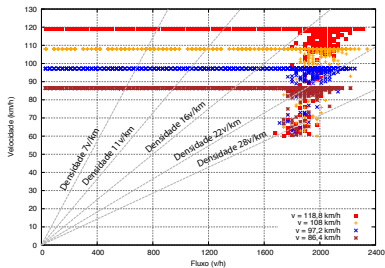


Modelo T-UFF: Testes - GRUPO 3

- FDP $Beta(a = 4, b = 8)$.
- Diferentes velocidades máximas na via:
 - ▶ $v_{max} = 16c/s$ ou $86,4km/h$.
 - ▶ $v_{max} = 18c/s$ ou $97,2km/h$.
 - ▶ $v_{max} = 20c/s$ ou $108km/h$.
 - ▶ $v_{max} = 22c/s$ ou $118,8km/h$.

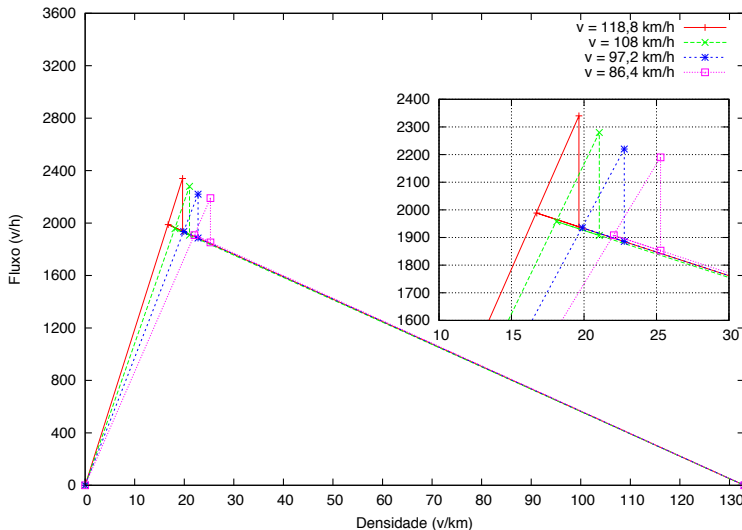
Modelo T-UFF: Testes - GRUPO 3

FDP $Beta(a = 4, b = 8)$:



Modelo T-UFF: Testes - GRUPO 3

FDP $Beta(a = 4, b = 8)$:



Modelo T-UFF

- Modelo de antecipação sem procedimento de ajuste de fluxo.
- Diferentes probabilidades para representar a meta-estabilidade.

T-UFF: Múltiplas Faixas

T-UFF: Múltiplas Faixas

- Regras de mudança de faixa:

T-UFF: Múltiplas Faixas

- Regras de mudança de faixa:
 - ▶ Motivação.

T-UFF: Múltiplas Faixas

- Regras de mudança de faixa:
 - ▶ Motivação.
 - ▶ Segurança.

T-UFF: Múltiplas Faixas

- Regras de mudança de faixa:
 - ▶ Motivação.
 - ▶ Segurança.
- Inversão do uso da faixa.

T-UFF: Múltiplas Faixas

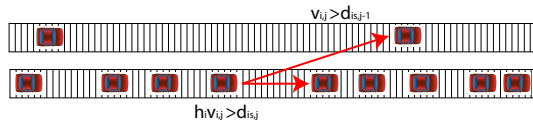
- Regras de mudança de faixa:
 - ▶ Motivação.
 - ▶ Segurança.
- Inversão do uso da faixa.
- Efeito *ping-pong*.

T-UFF: Múltiplas Faixas

- Regra de motivação:

T-UFF: Múltiplas Faixas

- Regra de motivação:
 - ▶ Esquerda para direita:

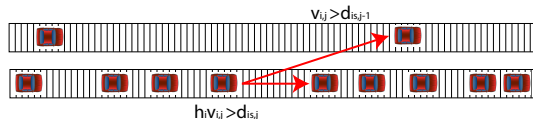


■ $(h_i \times v_{i,j} > d_{is,j}) \wedge (v_{i,j} > d_{is,j-1})$

T-UFF: Múltiplas Faixas

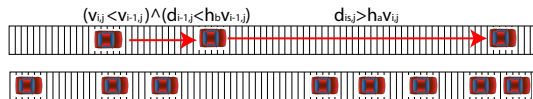
- Regra de motivação:

- ▶ Esquerda para direita:



- $(h_i \times v_{i,j} > d_{is,j}) \wedge (v_{i,j} > d_{is,j-1})$

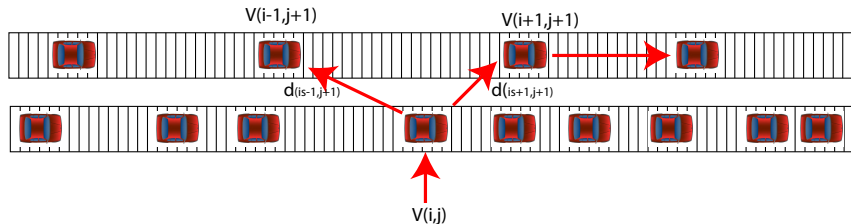
- ▶ Direita para esquerda:



- $(v_{i,j} < v_{i-1,j}) \wedge (d_{i-1,j} < h_b \times v_{i-1,j})$

- $d_{i,j} > h_a \times v_{i,j}$

T-UFF: Múltiplas Faixas



- Regras de segurança:

- ▶ Direita para esquerda:

- $(d_{is-1, j-1} > v_{i, j}) \wedge (v_{i, j} < d_{is, j-1})$

- ▶ Esquerda para direita:

- $(d_{is-1, j+1} > v_{i, j}) \wedge (v_{i, j} < d_{is, j+1})$

T-UFF: Múltiplas Faixas - Testes

Configuração:

- domínio simulado é de 10.000 células, o que equivale a 15km de pista.
- A condição de contorno é periódica.
- 14.400 passos de simulação (4 horas).
- $v_{max} = 25c/s$.
- Veículos no domínio: entre 1 a 96% de ocupação e com incremento de 1%.

T-UFF: Múltiplas Faixas - Testes

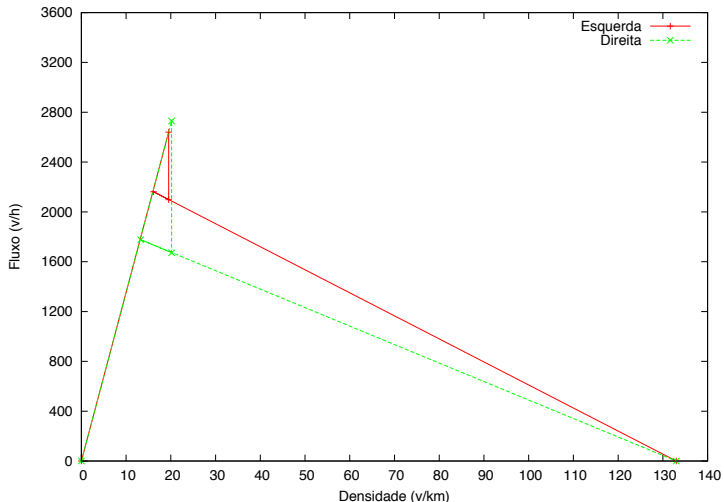
- **GRUPO 1:** Validação e calibração do modelo com FDP *Beta* ($a = 4$, $b = 8$).
- **GRUPO 2:** A influência das diferentes FDP *Beta*.
- **GRUPO 3:** Estudos de casos:
 - ▶ *i*) Via com quatro faixas.
 - ▶ *ii*) Simulação com veículo grande e lento.
 - ▶ *iii*) Via com pista interditada e a influência da distância da placa de sinalização.

T-UFF: Múltiplas Faixas - Testes **GRUPO 1**

Diagrama fluxo-densidade - FDP $Beta(a = 4, b = 8)$ - regra assimétrica:

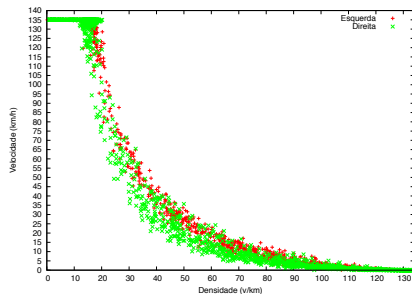
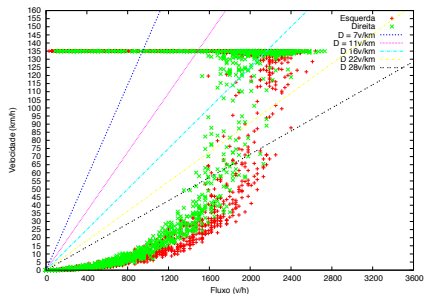
T-UFF: Múltiplas Faixas - Testes **GRUPO 1**

Diagrama fluxo-densidade - FDP $Beta(a = 4, b = 8)$ - regra assimétrica:



T-UFF: Múltiplas Faixas Testes - GRUPO 1

FDP $Beta(a = 4, b = 8)$:

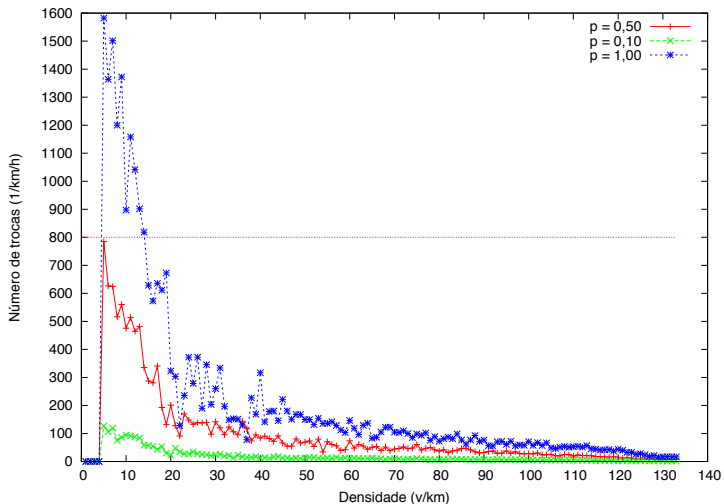


T-UFF: Múltiplas Faixas - Testes **GRUPO 1**

Frequência trocas - efeito *ping-pong*:

T-UFF: Múltiplas Faixas - Testes GRUPO 1

Frequência trocas - efeito *ping-pong*:

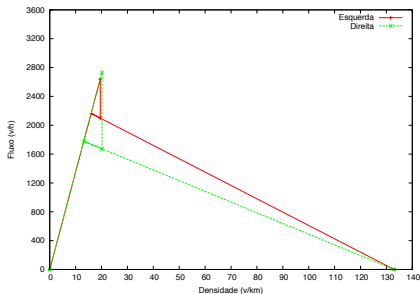
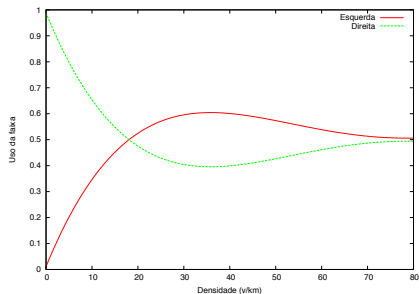


T-UFF: Múltiplas Faixas - Testes **GRUPO 1**

Inversão do uso da faixa com FDP $Beta(a = 4, b = 8)$:

T-UFF: Múltiplas Faixas - Testes GRUPO 1

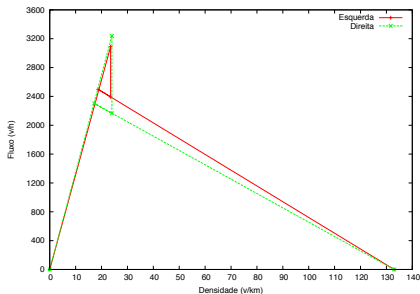
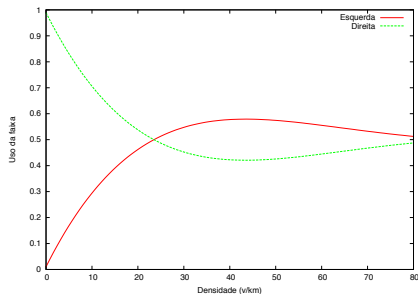
Inversão do uso da faixa com FDP $Beta(a = 4, b = 8)$:



Influência de outra FDP $Beta(a = 1, b = 5)$:

T-UFF: Múltiplas Faixas - Testes GRUPO 2

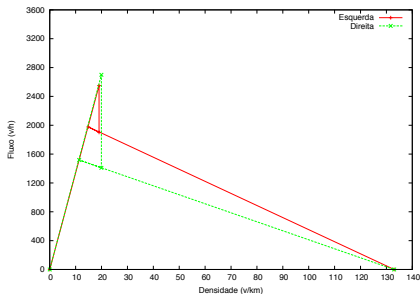
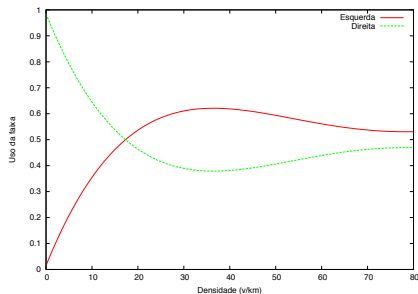
Influência de outra FDP $Beta(a = 1, b = 5)$:



Influência de outra FDP $Beta(a = 8, b = 4)$:

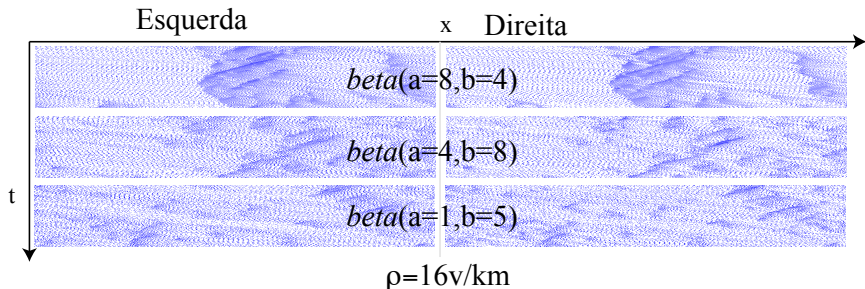
T-UFF: Múltiplas Faixas - Testes **GRUPO 2**

Influência de outra FDP $Beta(a = 8, b = 4)$:



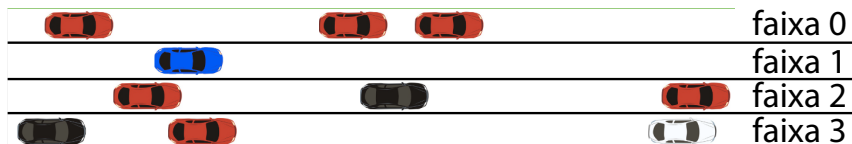
T-UFF: Múltiplas Faixas - Testes **GRUPO 2**

Diagrama espaço tempo - diferentes FDPs



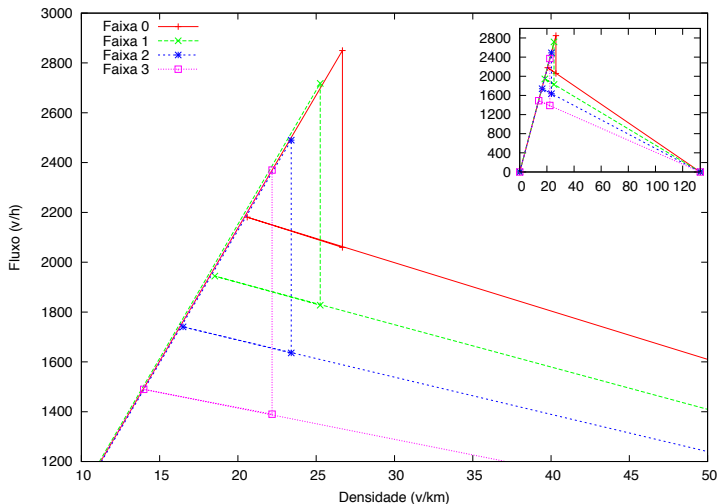
T-UFF: Múltiplas Faixas - Testes **GRUPO 3**

Estudo de caso: Via com quatro faixas



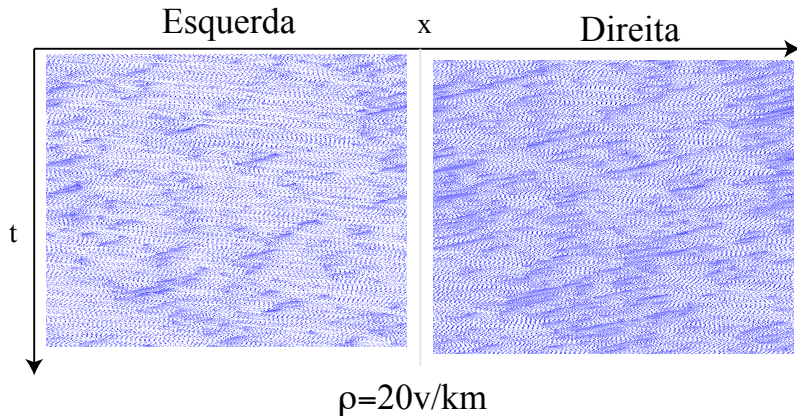
T-UFF: Múltiplas Faixas - Testes GRUPO 3

Estudo de caso: via com quatro faixas



T-UFF: Múltiplas Faixas - Testes **GRUPO 3**

Estudo de caso: via com quatro faixas

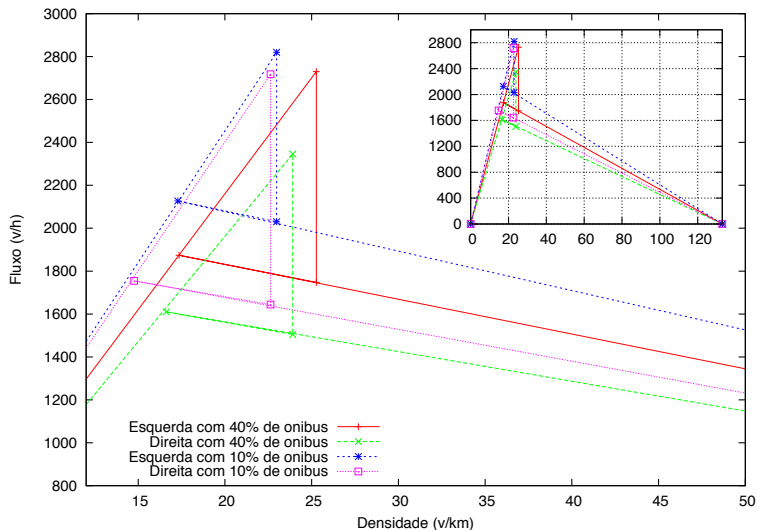


Estudo de caso: veículo lento e maior, por exemplo ônibus

- Tamanho: 10 células.
- Velocidade máxima: $15c/s$.
- Percentual de ocupação 10% e 40% do domínio.

T-UFF: Múltiplas Faixas - Testes **GRUPO 3**

Estudo de caso: veículo lento e maior, por exemplo ônibus



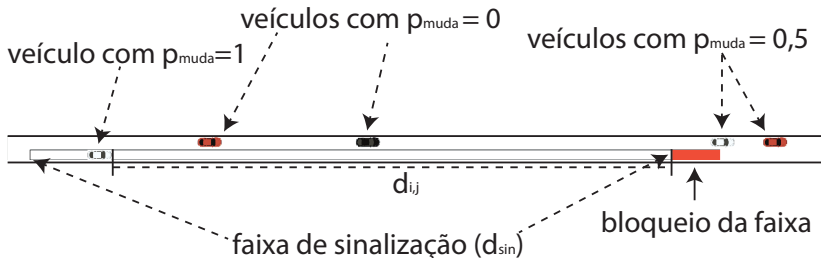
Estudo de caso: via interditada

Minimizar o congestionamento:

- Distância que a sinalização.
- Motivação imediatamente após ser informado pela sinalização.

T-UFF: Múltiplas Faixas - Testes **GRUPO 3**

Estudo de caso: Via interditada



Estudo de caso: via interditada

- Direita para esquerda:

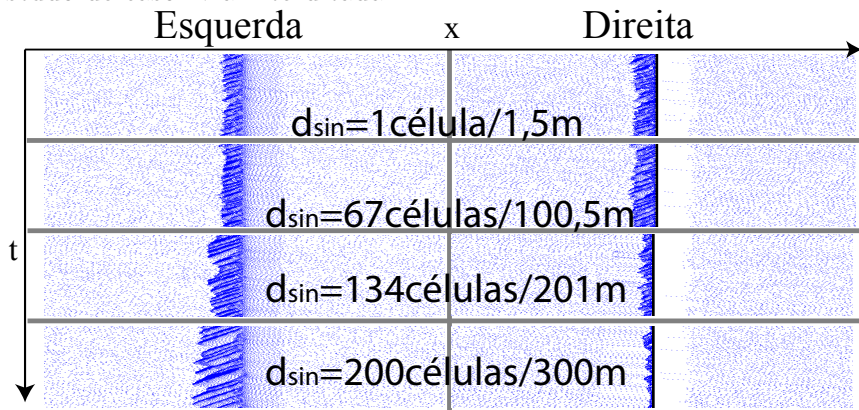
$$\blacktriangleright \left((h_i \times v_{i,j} > d_{is,j}) \wedge (v_{i,j} > d_{is,j-1}) \right) \vee (d_{i,j} \leq d_{sin})$$

- Esquerda para direita:

$$\blacktriangleright (d_{i,j} > h_a \times v_{i,j}) \vee (d_{i,j} \leq d_{sin})$$

T-UFF: Múltiplas Faixas - Testes GRUPO 3

Estudo de caso: via interditada



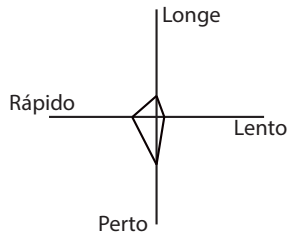
$$\rho = 11v/km$$

T-UFF: Múltiplas Faixas

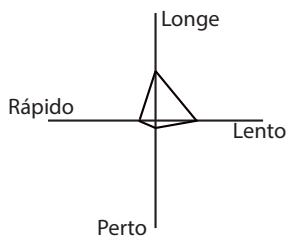
- Características inerentes a uma via com múltiplas faixas.
- Flutuação no procedimento de mudança de faixa (regras de motivação e regras de segurança).
- Reprodução das três fases do fluxo, efeito *ping-pong* e inversão do uso da faixa.

T-UFF com Comportamentos de Motoristas

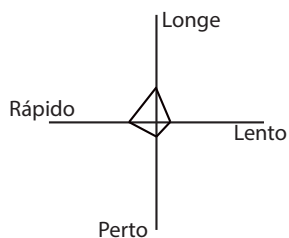
T-UFF: Comportamentos de Motoristas



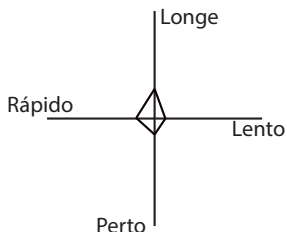
Hunter/Tailgater - Ousado



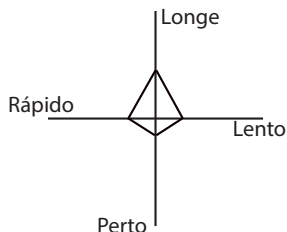
Ultraconservative - Lento



Planner - Estrategista



Flow conformist - Padrão

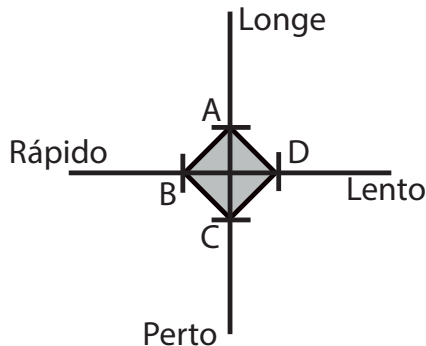


Extremist - Equilibrado

T-UFF: Comportamentos de Motoristas

Diferentes comportamentos Fancher et al. [68] para um sistema de navegação automática

- **Perto** : $\frac{x_{i+1}-x_i}{v_{max}} < 0,65$
- **Longe** : $\frac{x_{i+1}-x_i}{v_{max}} > 2,25$
- **Rápido**: $\frac{v_{i+1}-v_i}{v_{max}} < -0,075$
- **Lento** : $\frac{v_{i+1}-v_i}{v_{max}} > 0,075$



T-UFF: Comportamentos de Motoristas

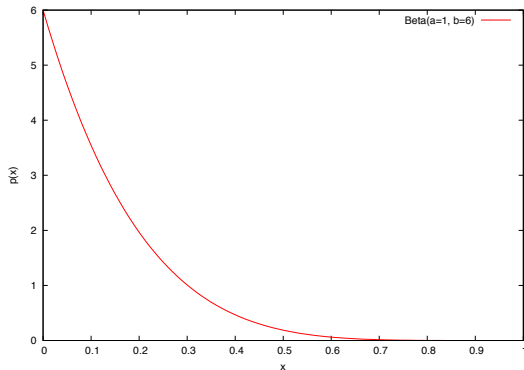
Classificação do motorista no modelo T-UFF:

- **Perto:** $x_{i+1} - x_i < [0,85 \times v_{max}]$.
- **Longe:** $\frac{x_{i+1} - x_i}{v_{max}} > 1$.
- **Rápido:** $\frac{v_{i+1} - v_i}{v_{max}} < -0,075$.
- **Lento:** $\frac{v_{i+1} - v_i}{v_{max}} > 0,075$.

T-UFF: Comportamentos de Motoristas

Comportamento do motorista *ousado*:

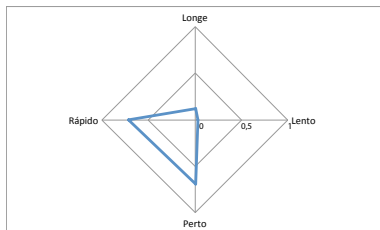
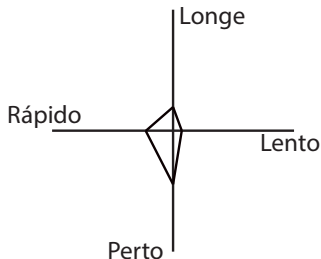
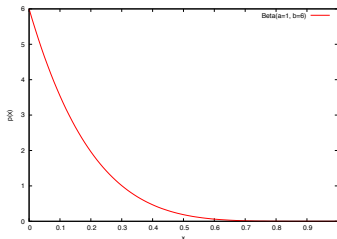
- Percepção da distância e ajuste de velocidade:
FDP $Beta(a = 1, b = 6)$.
- Valores de $\alpha \rightarrow 0$.



T-UFF: Comportamentos de Motoristas

Comportamento do motorista *ousado*:

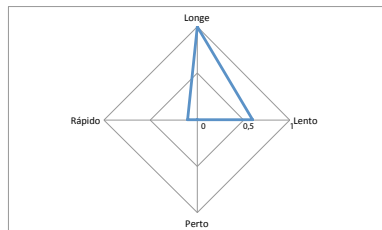
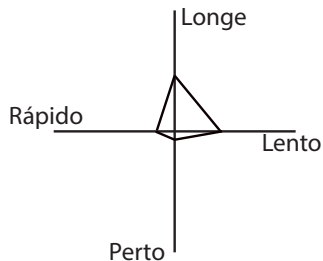
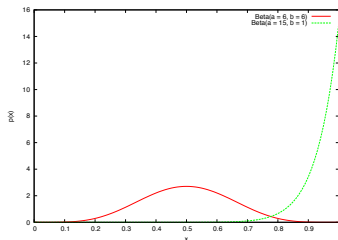
- Percepção da distância e ajuste de velocidade: FDP $Beta(a = 1, b = 6)$.
- Valores de $\alpha \rightarrow 0$.



T-UFF: Comportamentos de Motoristas

Comportamento do motorista *lento*:

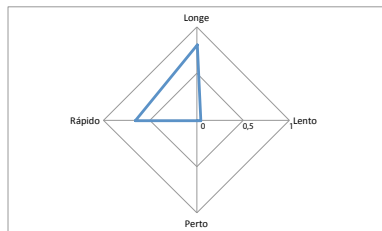
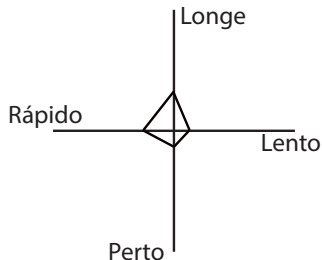
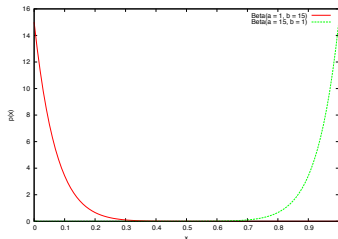
- Percepção da distância : FDP
 $Beta(a = 15, b = 1)$.
- Valores de $\alpha \rightarrow 1$.
- ajuste de velocidade: FDP
 $Beta(a = 6, b = 6)$.
- Valores de $\alpha \rightarrow 0,5$.



T-UFF: Comportamentos de Motoristas

Comportamento do motorista *estrategista*:

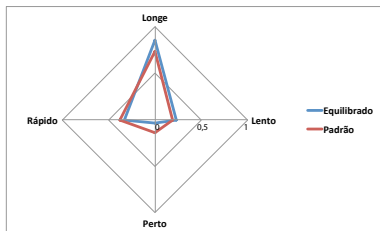
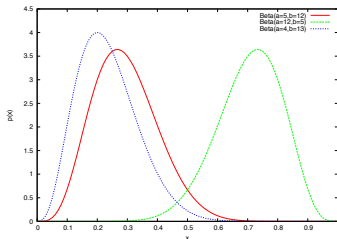
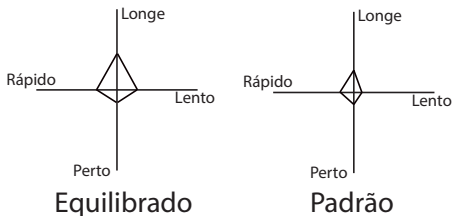
- Percepção da distância : FDP
 $Beta(a = 15, b = 1)$.
- Valores de $\alpha \rightarrow 1$.
- ajuste de velocidade: FDP
 $Beta(a = 1, b = 15)$.
- Valores de $\alpha \rightarrow 0$.



T-UFF: Comportamentos de Motoristas

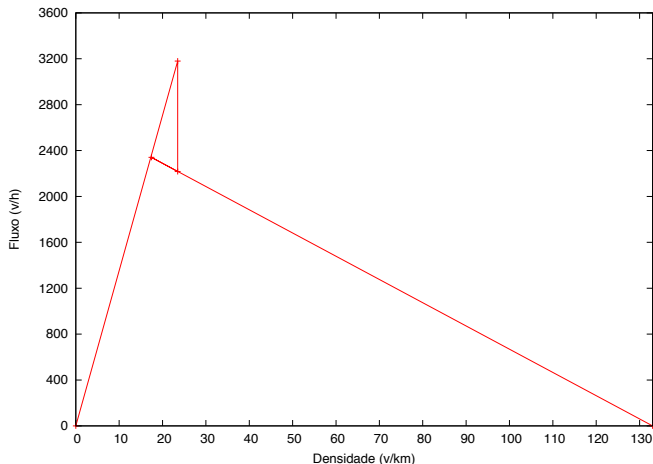
Comportamentos do motorista *equilibrado* e motorista *padrão*:

- Percepção da distância e ajuste de velocidade do comportamento padrão:
FDP $Beta(a = 4, b = 13)$.
- Valores de $\alpha \rightarrow 0.25$.
- Percepção da distância :
 - ▶ Equilibrado FDP
 $Beta(a = 12, b = 5)$.
 - ▶ Valores de $\alpha \rightarrow 0.8$.
- ajuste de velocidade:
 - ▶ Equilibrado FDP
 $Beta(a = 5, b = 12)$.
 - ▶ Valores de $\alpha \rightarrow 0.2$.



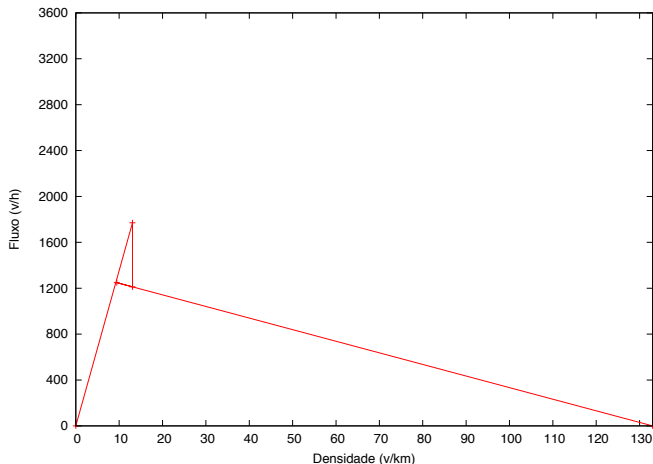
T-UFF: Comportamentos de Motoristas

Diagrama fluxo-densidade do comportamento do motorista *ousado*:



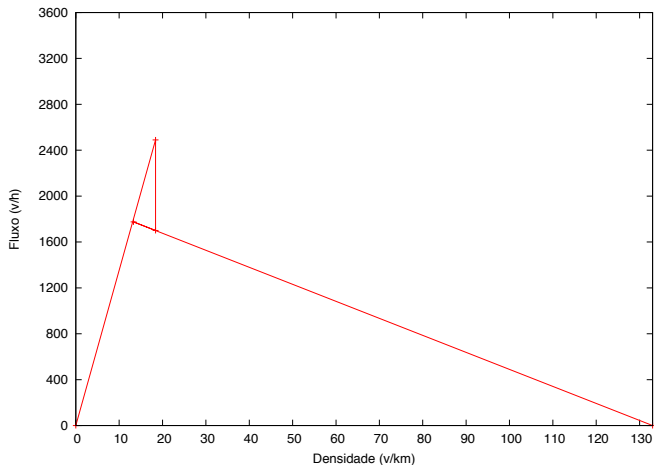
T-UFF: Comportamentos de Motoristas

Diagrama fluxo-densidade do comportamento do motorista *lento*:



T-UFF: Comportamentos de Motoristas

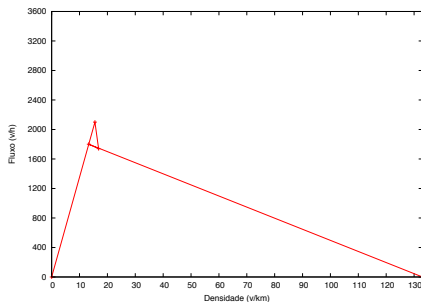
Diagrama fluxo-densidade do comportamento do motorista *estrategista*:



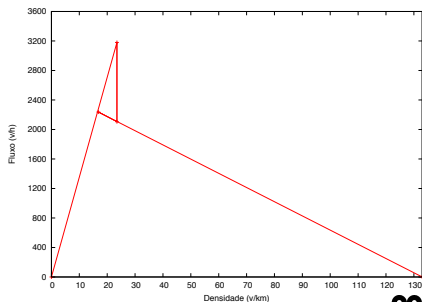
T-UFF: Comportamentos de Motoristas

Diagrama fluxo-densidade

Motorista *equilibrado*



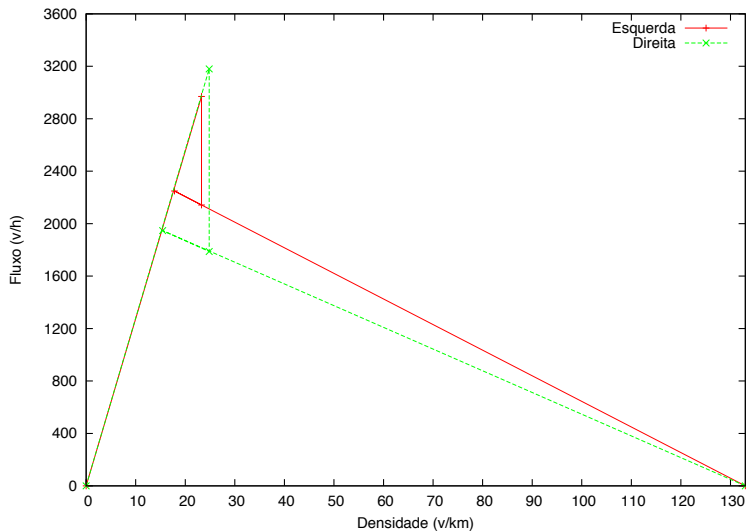
Motorista *padrão*:



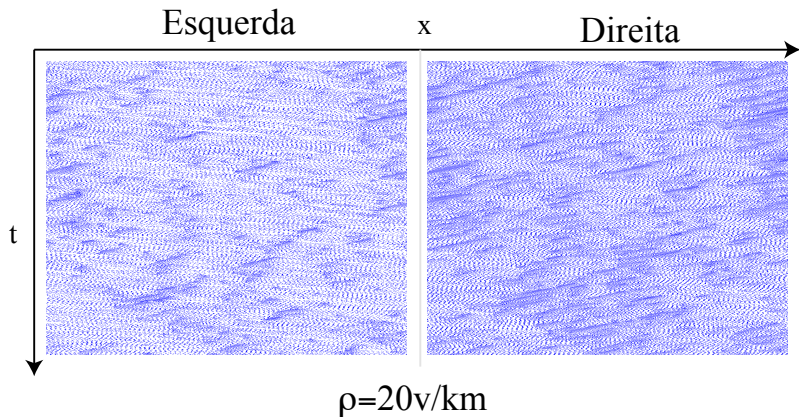
T-UFF: Comportamentos de Motoristas - Teste

Perfil	Distância	Velocidade	Percentual
Motorista <i>estrategista</i>	$a = 15, b = 1$	$a = 1, b = 15$	18,00%
Motorista <i>lento</i>	$a = 15, b = 1$	$a = 6, b = 6$	18,00%
Motorista <i>ousado</i>	$a = 1, b = 6$	$a = 1, b = 6$	23,00%
Motorista <i>padrão</i>	$a = 4, b = 13$	$a = 4, b = 13$	41,00%

T-UFF: Comportamentos de Motoristas - Teste



T-UFF: Comportamentos de Motoristas - Teste



Conclusão

Conclusão

- A incerteza do comportamento do motorista dada por uma FDP não uniforme.
- Foi incluído a incerteza do comportamento do motorista nas regras de mudança de faixa, regras de motivação e regras de segurança.
- Configurou-se comportamentos diferentes de motoristas baseando-se em um sistema de navegação automática.
- Modelo de TAC robusto com política de antecipação com duas etapas.

Trabalhos futuros

- Empregar o modelo na simulação do trânsito em cidades.
- Otimizar a forma de considerar os diferentes comportamentos.
- Incluir no modelo uma regra de desaceleração relacionada ao desejo do motorista.

Perguntas

