

Métodos Computacionais para Simulação

Introdução

Marcelo Zamith

e-mail:zamith.marcelo@gmail.com

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - DCC

2019.1

Roteiro

Simulação

Simulação baseada em modelo contínuo

Simulação baseada em modelo discreto

Ferramentas de simulação

Etapas do processo de simulação

Agentes

Autômato Celular

Aplicação

Game of life

Estudo de caso: simulação viária baseado em AC

Investigações preliminares

Modelo T-UFF

Modelagem com duas faixas

Modelagem do comportamento

Simulação

“The Machine that Changed the World: Inventing the Future”

Simulação

O que é simulação ?

Simulação

O que é simulação ?

- “*Simulação implica na modelagem de um processo ou sistema, de tal forma que o modelo imite as respostas do sistema real numa sucessão de eventos que ocorrem ao longo do tempo*”, Schriber [1974].

Simulação

O que é simulação ?

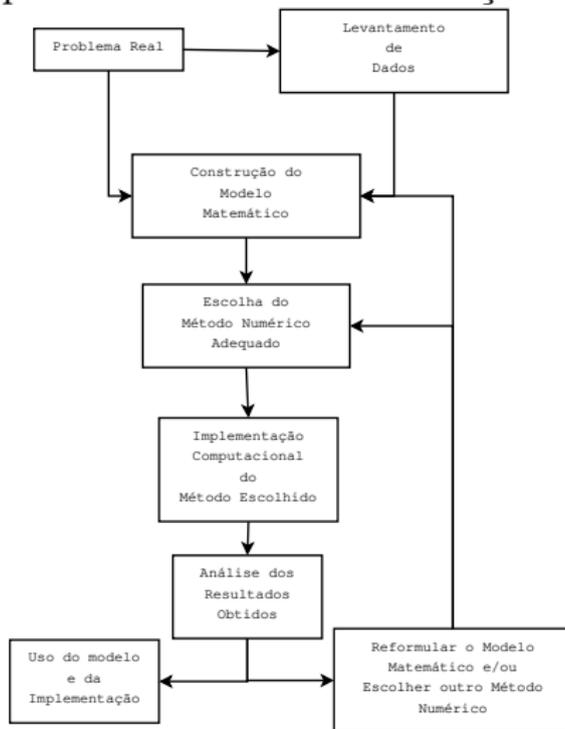
- *“Simulação implica na modelagem de um processo ou sistema, de tal forma que o modelo imite as respostas do sistema real numa sucessão de eventos que ocorrem ao longo do tempo”, Schriber [1974].*
- *“Simulação é o processo de projetar um modelo de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação”, Pegden [1991].*

Simulação

- Simulação é o processo de:
 1. projetar um modelo de um sistema real e
 2. conduzir experimentos com este modelo.
 - Compreender o comportamento do sistema.
 - Avaliar estratégias para a operação sobre o sistema.

Simulação

Passos para um modelo de simulação:



Simulação

- Quando usar simulação ?

Simulação

- Quando usar simulação ?
 1. quando o sistema não existe ou não é conhecido.

Simulação

- Quando usar simulação ?
 1. quando o sistema não existe ou não é conhecido.
 2. quando a experimentação com o sistema real é impossível.

Simulação

- Quando usar simulação ?
 1. quando o sistema não existe ou não é conhecido.
 2. quando a experimentação com o sistema real é impossível.
 3. quando experimentação com o sistema real é indesejável.

Simulação

- Quando usar simulação ?
 1. quando o sistema não existe ou não é conhecido.
 2. quando a experimentação com o sistema real é impossível.
 3. quando experimentação com o sistema real é indesejável.
 4. para compressão ou expansão da escala de tempo do sistema.

Simulação

- Quando usar simulação ?
 1. quando o sistema não existe ou não é conhecido.
 2. quando a experimentação com o sistema real é impossível.
 3. quando experimentação com o sistema real é indesejável.
 4. para compressão ou expansão da escala de tempo do sistema.
 5. para avaliação do desempenho de sistemas.

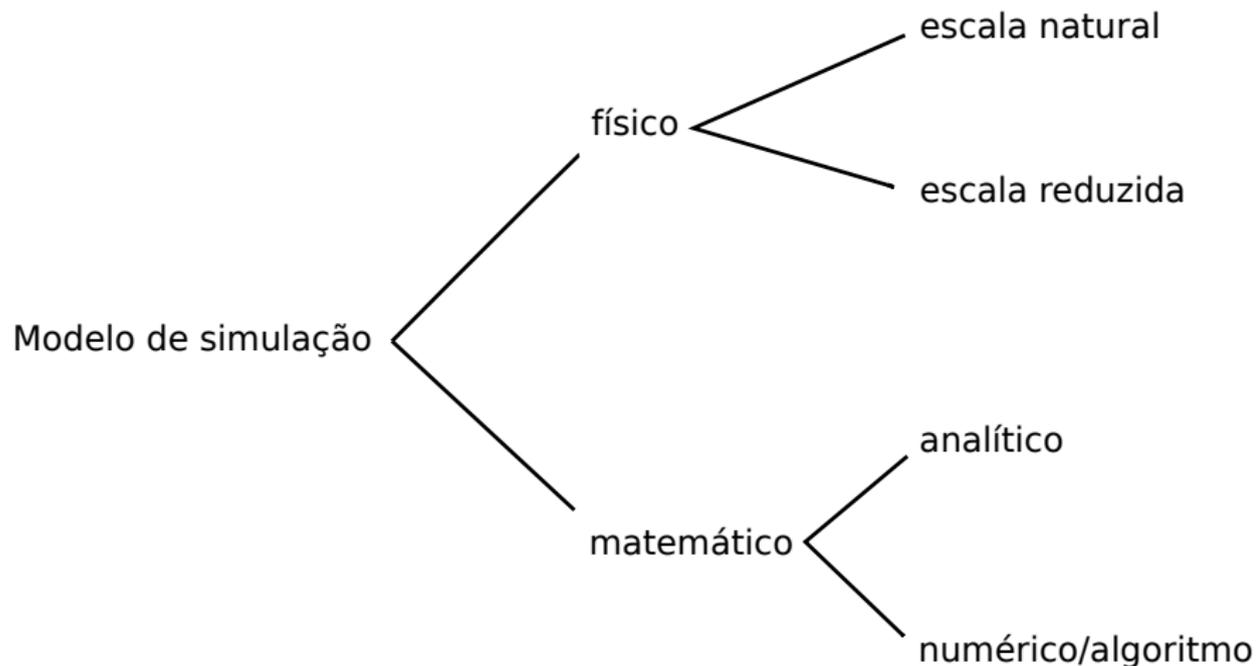
Simulação

- Quando usar simulação ?
 1. quando o sistema não existe ou não é conhecido.
 2. quando a experimentação com o sistema real é impossível.
 3. quando experimentação com o sistema real é indesejável.
 4. para compressão ou expansão da escala de tempo do sistema.
 5. para avaliação do desempenho de sistemas.
 6. para treinamento e instrução.

Simulação

- Algumas limitações:
 - ▶ Precisão e qualidade do modelo adotado.
 - ▶ Interpretação dos resultados.
 - ▶ Alto custo de tempo e dinheiro no desenvolvimento do sistema.

Simulação



Simulação

- Podemos definir a simulação:
 - ▶ Simulação é o método de solução de problemas que se utiliza de modelos matemáticos numéricos/algóritmicos.
 - Contínuo \times discreto
 - Estocástico \times determinístico

Simulação baseada em modelo contínuo

- Variáveis têm valores que variam continuamente ao longo do tempo de simulação.
- Equações fornecem o valor das variáveis em o domínio, ou seja, em todos os instantes de tempo.
- Exemplos:
 - ▶ reações químicas
 - ▶ circuitos eletrônicos
 - ▶ modelos econométricos

Simulação baseada em modelo contínuo

- Variáveis têm valores discretos ao longo do tempo.
- Passos em intervalos constantes.
- Exemplos:
 - ▶ sistema de tráfego
 - ▶ sistemas de redes
 - ▶ Multidão

Simulação - Tempo

- Tempo de simulação:
 - ▶ tempo real (relógio)
 - ▶ tempo simulado ou do modelo (relógio real)

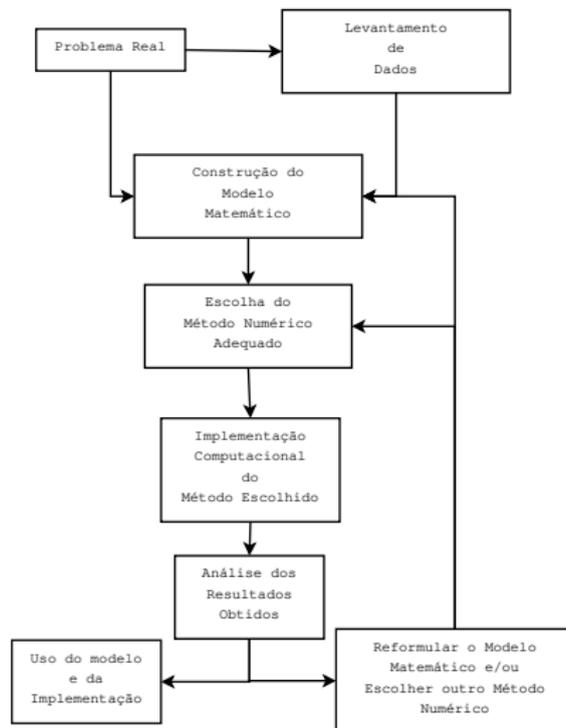
Ferramentas de simulação

- Ambientes de Simulação
 - ▶ Descrição do modelo, controle da simulação e coleta / visualização de estatísticas.
- Geração de números aleatórios.
- Entrada de dados e saída (relatórios e visualização).

Etapas do processo de simulação

1. Formulação do problema (estabelecer objetivos do estudo)
 - ▶ projetar um novo sistema × utilizar um sistema existente.
2. Determinar limites
 - ▶ Identificar os componentes e elementos envolvidos.
 - ▶ Determinar o erro “aceitável” da simulação.
3. Decisão do uso de simulação: análise da relação custo-benefício das alternativas para o estudo.
4. Formulação do modelo:
 - ▶ especificar componentes, variáveis, relações a serem incluídas.
 - ▶ abordagem de modelagem a ser adotada.
5. Preparação dos dados.
6. Verificação do modelo: o modelo realiza o que é esperado.
7. Validação do modelo: o modelo se comporta como o sistema real ?
 - ▶ parâmetros e condição inicial.
8. Planejar os experimentos.
9. Executar os experimentos.
10. Interpretação dos resultados da simulação.

Etapas do processo de simulação



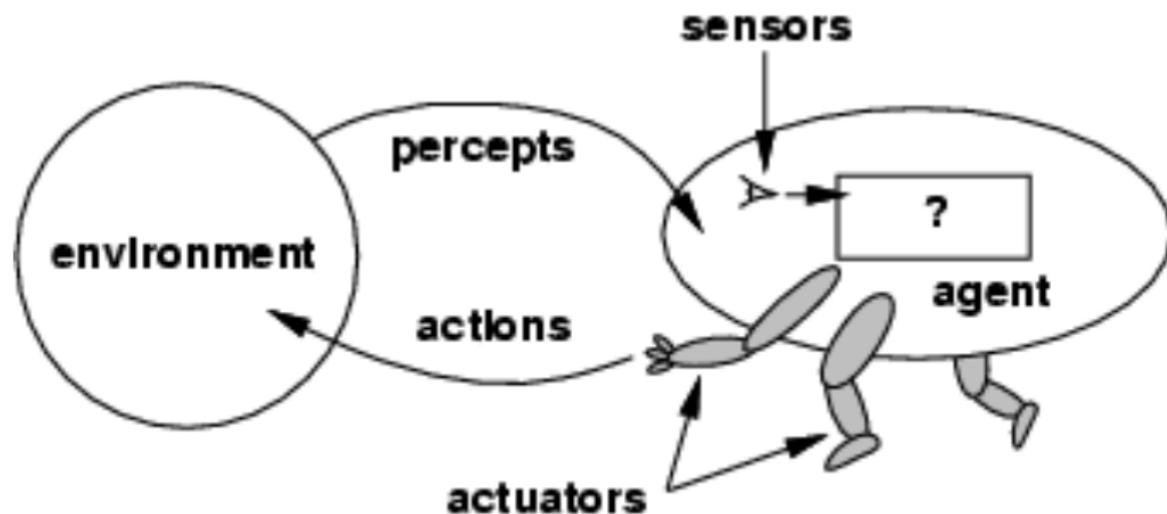
Agentes e multiagentes

- O que é um agente ?



Agentes

- Um **agente** é algo capaz de perceber seu **ambiente** por meio de **sensores** e de agir sobre esse ambiente por meio de **atuadores**.



Exemplos de agentes:

- Agente humano

Exemplos de agentes:

- Agente humano
 - ▶ **Sensores:** Olhos, ouvidos e outros órgãos.
 - ▶ **Atuadores:** Mãos, pernas, boca e outras partes do corpo.
- Agente robótico

Exemplos de agentes:

- Agente humano
 - ▶ **Sensores:** Olhos, ouvidos e outros órgãos.
 - ▶ **Atuadores:** Mãos, pernas, boca e outras partes do corpo.
- Agente robótico
 - ▶ **Sensores:** câmeras e detectores de infravermelho.
 - ▶ **Atuadores:** vários motores.
- Agente de software

Exemplos de agentes:

- Agente humano
 - ▶ **Sensores:** Olhos, ouvidos e outros órgãos.
 - ▶ **Atuadores:** Mãos, pernas, boca e outras partes do corpo.
- Agente robótico
 - ▶ **Sensores:** câmeras e detectores de infravermelho.
 - ▶ **Atuadores:** vários motores.
- Agente de software
 - ▶ **Sensores:** entrada do teclado, conteúdo de arquivos e pacotes vindos da rede.
 - ▶ **Atuadores:** tela, disco, envio de pacotes pela rede.

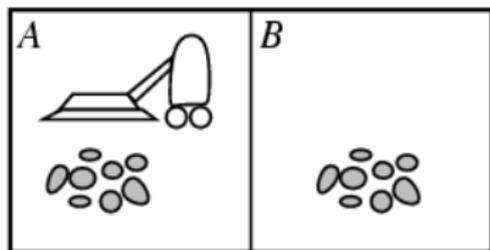
Mapeando percepções em ações

- Sequência de percepções: história completa de tudo que o agente percebeu.
- O comportamento do agente é dado abstratamente pela função do agente:

$$f : P^* \rightarrow A$$

- ▶ P^* uma sequência de percepções
- ▶ A é uma ação
- O programa do agente roda em uma arquitetura física para produzir f .
- Agente = arquitetura + programa.

O fantástico mundo do aspirador de pó!



- **Percepção:** local e conteúdo
- **Ações:** Esquerda, Direita, Aspirar, NoOp
- **Programa:** Se o quadrado atual estiver sujo, então aspirar, caso contrário mover para o outro lado.

Sequência de Percepções	Ação
[A, Limpo]	Direita
[A, Sujo]	Aspirar
[B, Limpo]	Esquerda
[B, Sujo]	Aspirar
[A, Limpo], [A, Limpo]	Direita
[A, Limpo], [A, Sujo]	Aspirar
...	...
[A, Limpo], [A, Limpo], [A, Limpo]	Direita
[A, Limpo], [A, Limpo], [A, Sujo]	Aspirar

Agentes Racionais

- Como preencher corretamente a tabela de ações do agente para cada situação?
- O agente deve tomar a ação “correta” baseado no que ele percebe para ter sucesso.
 - ▶ O conceito de sucesso do agente depende uma **medida de desempenho** objetiva.
 - Exemplos: quantidade de sujeira aspirada, gasto de energia, gasto de tempo, quantidade de barulho gerado, etc.
 - ▶ A medida de desempenho deve refletir o resultado realmente desejado.

Agentes Racionais

- **Agente racional:** para cada sequência de percepções possíveis deve selecionar uma ação que se espera venha a maximizar sua medida de desempenho, dada a evidência fornecida pela sequência de percepções e por qualquer conhecimento interno do agente.
 - ▶ Pergunta: para que medida de desempenho o agente aspirador de pó é racional?

Agentes Racionais

- Racionalidade é diferente de perfeição.
 - ▶ A racionalidade maximiza o desempenho esperado, enquanto a perfeição maximiza o desempenho real.
 - ▶ A escolha racional só depende das percepções até o momento.
- Mas os agentes podem (e devem!) executar ações para coleta de informações.
 - ▶ Um tipo importante de coleta de informação é a exploração de um ambiente desconhecido.
- O agente também pode (e deve!) **aprender**, ou seja, modificar seu comportamento dependendo do que ele percebe ao longo do tempo.
 - ▶ Nesse caso o agente é chamado de **autônomo**.
 - ▶ Um agente que aprende pode ter sucesso em uma ampla variedade de ambientes.

Agentes Racionais

- Ao projetar um agente, a primeira etapa deve ser sempre especificar o **ambiente de tarefa** (PEAS).
 - ▶ Performance = Medida de Desempenho
 - ▶ Environment = Ambiente
 - ▶ Actuators = Atuadores
 - ▶ Sensors = Sensores

Agentes Racionais

- Exemplo de PEAS: Motorista de Táxi Automatizado
 - ▶ **Performance:**
 - viagem segura, rápida, sem violações às leis de trânsito, confortável para os passageiros, maximizando os lucros.
 - ▶ **Environment:**
 - ruas, estradas, outros veículos, pedestres, clientes.
 - ▶ **Actuators:**
 - direção, acelerador, freio, embreagem, marcha, seta, buzina.
 - ▶ **Sensors:**
 - câmera, sonar, velocímetro, GPS, hodômetro, acelerômetro, sensores do motor, teclado ou microfone.

Agentes Racionais

- Exemplo de PEAS: Sistema de Diagnóstico Médico
 - ▶ **P**erformance:
 - paciente saudável, minimizar custos, processos judiciais.
 - ▶ **E**nvironment:
 - paciente, hospital, equipe.
 - ▶ **A**ctuators:
 - exibir na tela perguntas, testes, diagnósticos, tratamentos.
 - ▶ **S**ensors:
 - entrada pelo teclado para sintomas, descobertas, respostas do paciente.

Agentes Racionais

- Exemplo de PEAS: Robô de seleção de peças
 - ▶ **Performance:**
 - porcentagem de peças em bandejas corretas.
 - ▶ **Environment:**
 - correia transportadora com peças; bandejas.
 - ▶ **Actuators:**
 - braço e mão articulados.
 - ▶ **Sensors:**
 - câmera, sensores angulares articulados.

Agentes Racionais

- Exemplo de PEAS: Instrutor de Inglês Interativo
 - ▶ **P**erformance:
 - maximizar nota de aluno em teste.
 - ▶ **E**nvironment:
 - conjunto de alunos.
 - ▶ **A**ctuators:
 - exibir exercícios, sugestões, correções.
 - ▶ **S**ensors:
 - entrada pelo teclado.

Propriedades de ambientes de tarefa

- Completamente observável \times parcialmente observável
 - ▶ Os sensores do agente dão acesso ao estado completo do ambiente em cada instante.
 - ▶ Todos os aspectos relevantes do ambiente são acessíveis.
- Determinístico \times estocástico
 - ▶ O próximo estado do ambiente é completamente determinado pelo estado atual e pela ação executada pelo agente.
 - ▶ Se o ambiente é determinístico exceto pelas ações de outros agentes, dizemos que o ambiente é estratégico.
- Episódico \times sequencial
 - ▶ A experiência do agente pode ser dividida em episódios (percepção e execução de uma única ação).
 - ▶ A escolha da ação em cada episódio só depende do próprio episódio.
- Estático \times versus dinâmico
 - ▶ O ambiente não muda enquanto o agente pensa.
 - ▶ O ambiente é semidinâmico se ele não muda com a passagem do tempo, mas o nível de desempenho do agente se altera.
- Discreto \times contínuo
 - ▶ Um número limitado e claramente definido de percepções e ações.
- Agente único \times multiagente
 - ▶ Um único agente operando sozinho no ambiente.
 - ▶ No caso multiagente podemos ter: cooperativo e competitivo

Sistemas baseados em agentes e multiagentes

- O mundo real é parcialmente observável, estocástico, sequencial, dinâmico, contínuo, multiagente.
- O tipo de ambiente de tarefa determina em grande parte o projeto do agente.

Exemplo:

	Xadrez com relógio	Xadrez sem relógio	Direção de Táxi
Completamente observável	Sim	Sim	Não
Determinístico	Sim	Sim	Não
Episódico	Não	Não	Não
Estático	Semi	Sim	Não
Discreto	Sim	Sim	Não
Agente único	Não	Não	Não

Funções de agente

- Um agente é completamente especificado pela **função de agente** que mapeia sequências de percepções em ações.
- Uma única função de agente (ou uma única classe de funções equivalentes) é racional.
- **Objetivo:** encontrar uma maneira de representar a função racional do agente concisamente.

Agente dirigido por tabela

Função AGENTE-DIRIGIDO-POR-TABELA(*percepção*) **retorna**
uma ação

Variáveis estáticas:

- *percepções*, uma seqüência, inicialmente vazia
- *tabela*, uma tabela de ações, indexada por seqüências de percepções, de início completamente especificada

anexar percepção ao fim de *percepções*

ação ← ACESSAR(*percepções*, *tabela*)

retornar *ação*

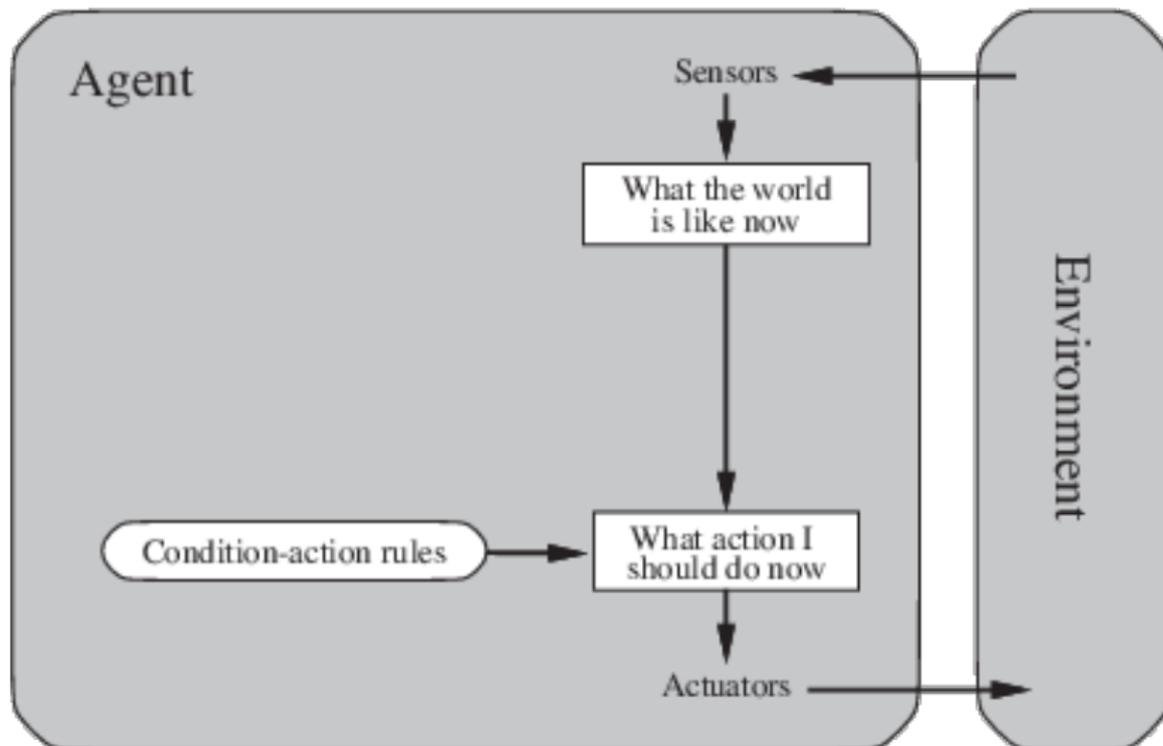
● Desvantagens:

- ▶ Tabela gigante (xadrez $\approx 10^{150}$ entradas).
- ▶ Tempo longo para construir a tabela.
- ▶ Não tem autonomia.
- ▶ Mesmo com aprendizado demoraria muito para aprender a tabela.

Tipos básicos de agentes

- Quatro tipos básicos, do mais simples ao mais geral
 - ▶ Agentes reativos simples
 - ▶ Agentes reativos baseados em modelos
 - ▶ Agentes baseados em objetivos
 - ▶ Agentes baseados na utilidade

Agente reativo simples

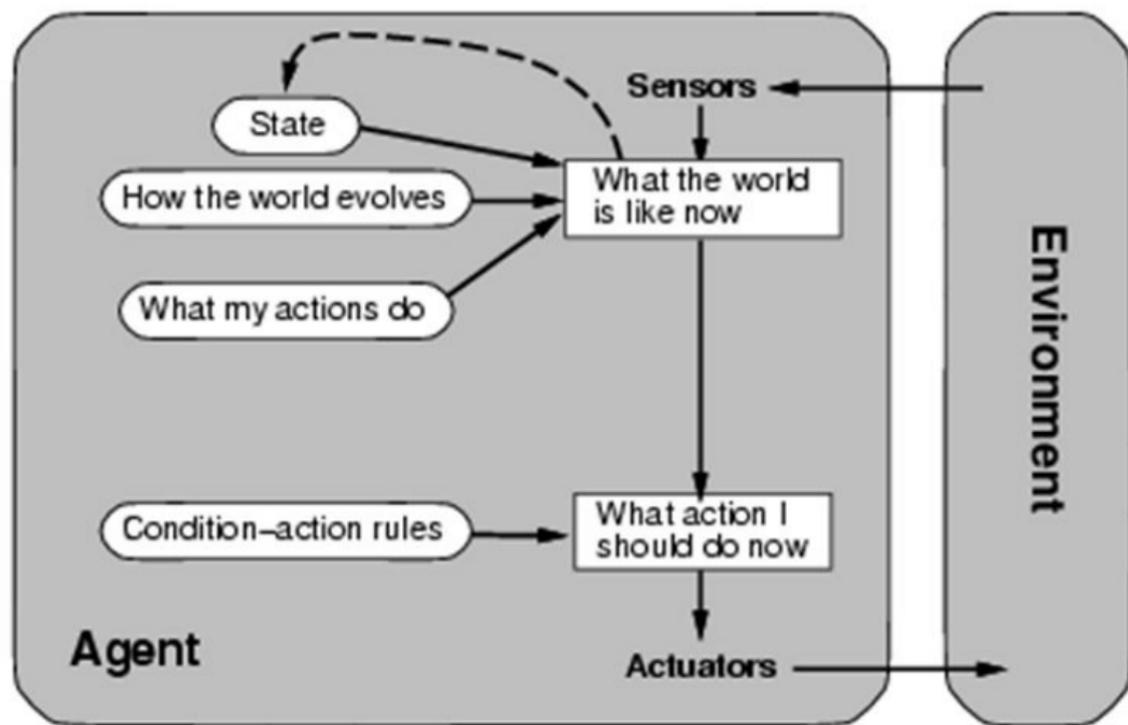


Agente reativo simples

```
Função AGENTE-ASPIRADOR-DE-PÓ-REATIVO( [posição, estado] )  
retorna uma ação  
  se estado = Sujo então retorna Aspirar  
  senão se posição = A então retorna Direita  
  senão se posição = B então retorna Esquerda
```

- Regras condição-ação (regras se-então) fazem uma ligação direta entre a percepção atual e a ação.
- O agente funciona apenas se o ambiente for completamente observável e a decisão correta puder ser tomada com base apenas na percepção atual.

Agente reativo simples baseado em modelo



Agente reativo simples baseados em modelo

Função AGENTE-REATIVO-COM-ESTADOS(*percepção*) **retorna**
uma *ação*

Variáveis estáticas:

estado, uma descrição do estado atual do mundo

regras, um conjunto de regras condição-ação

ação, a ação mais recente, inicialmente nenhuma

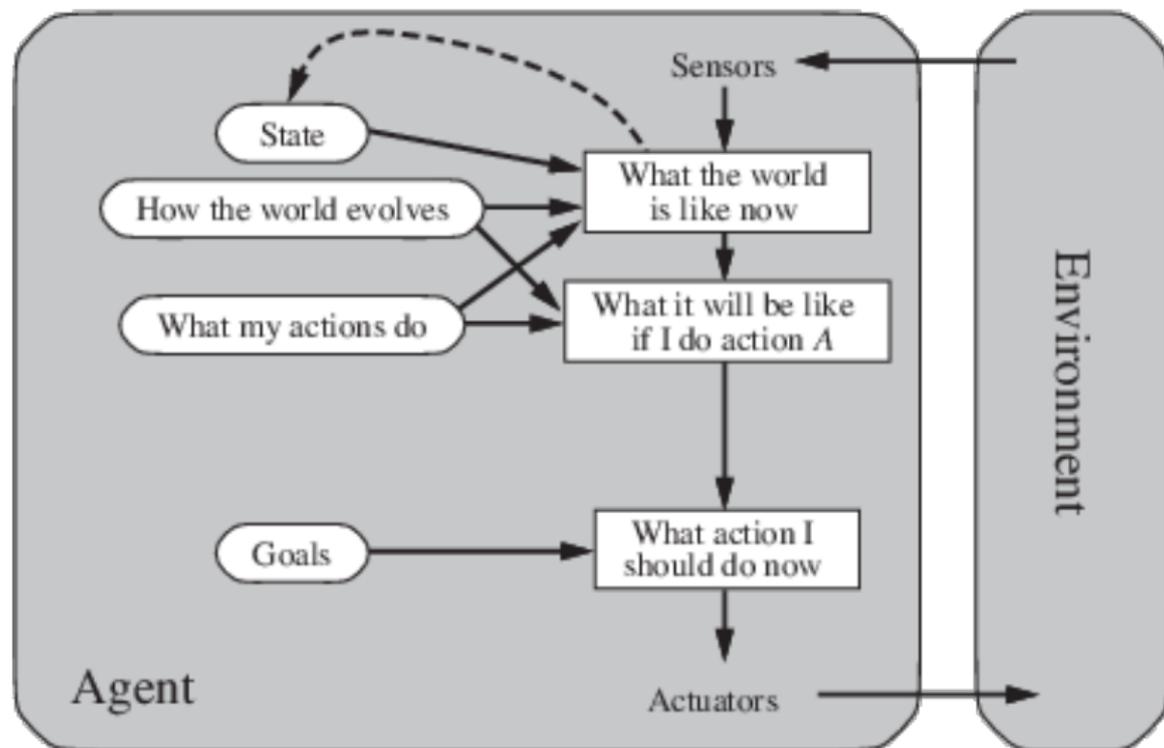
estado ← ATUALIZA-ESTADO(*estado*, *ação*, *percepção*)

regra ← REGRA-CORRESPONDENTE(*estado*, *regras*)

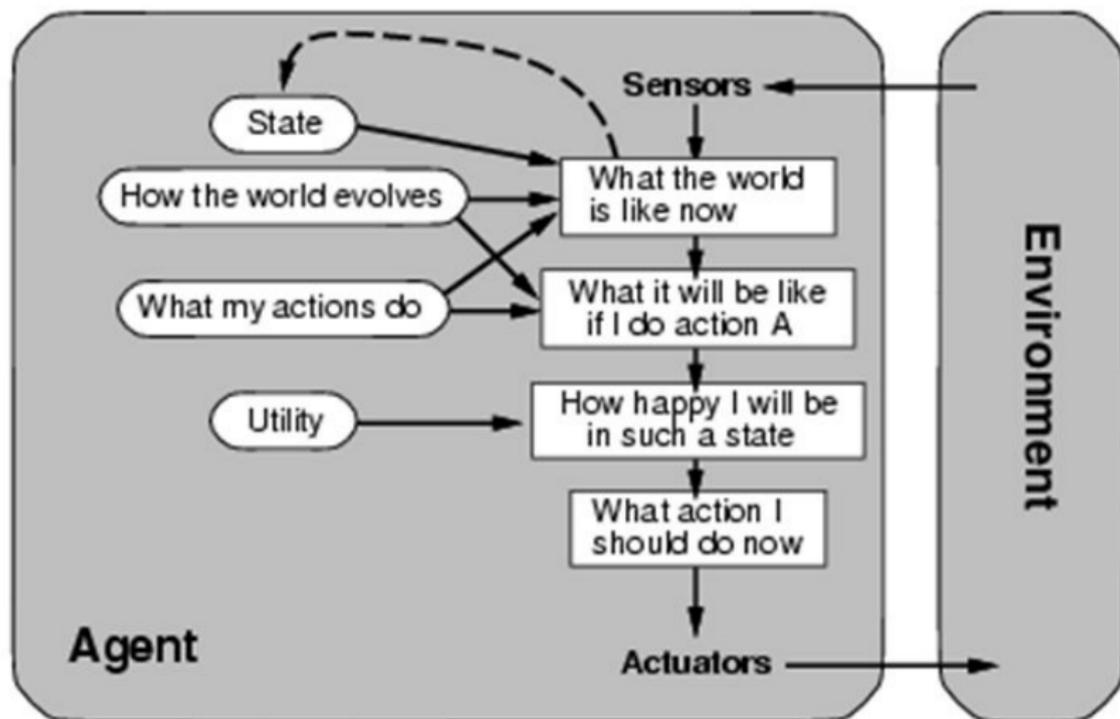
ação ← AÇÃO-DA-REGRA[*regra*]

retornar *ação*

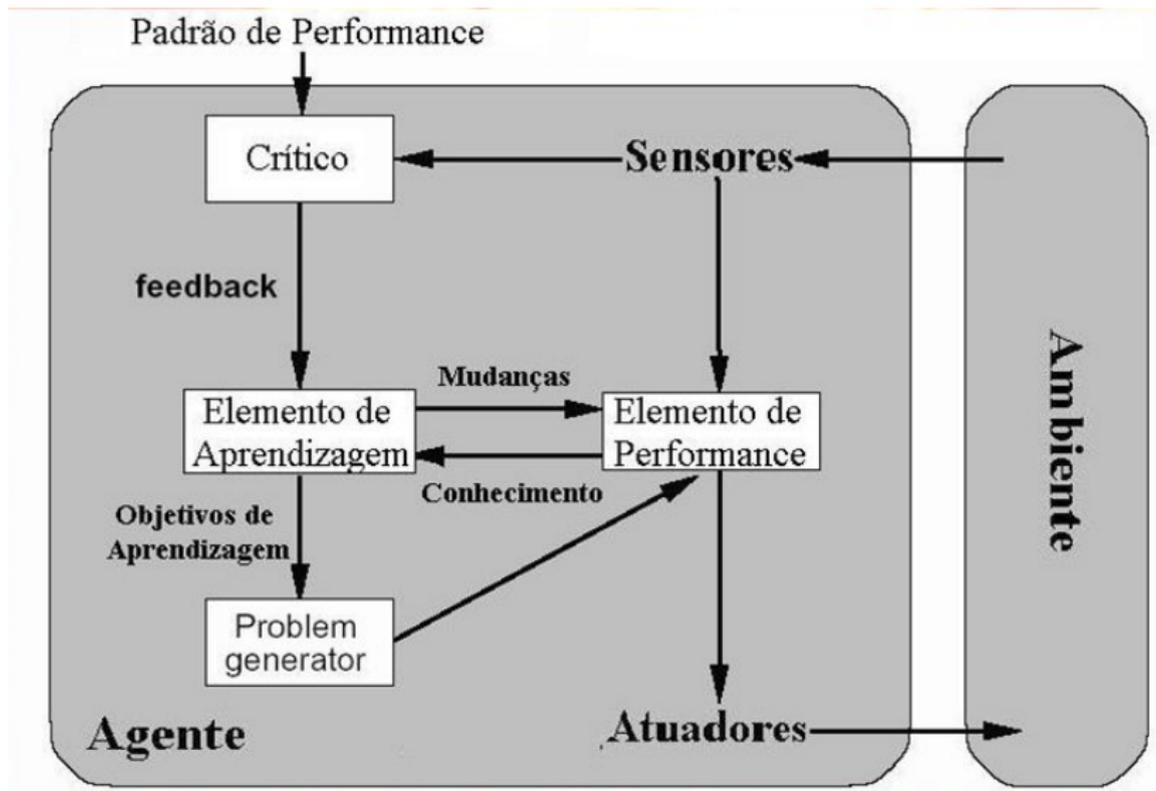
Agentes reativos baseados em objetivos



Agentes reativos baseados na utilidade



Agentes com aprendizagem



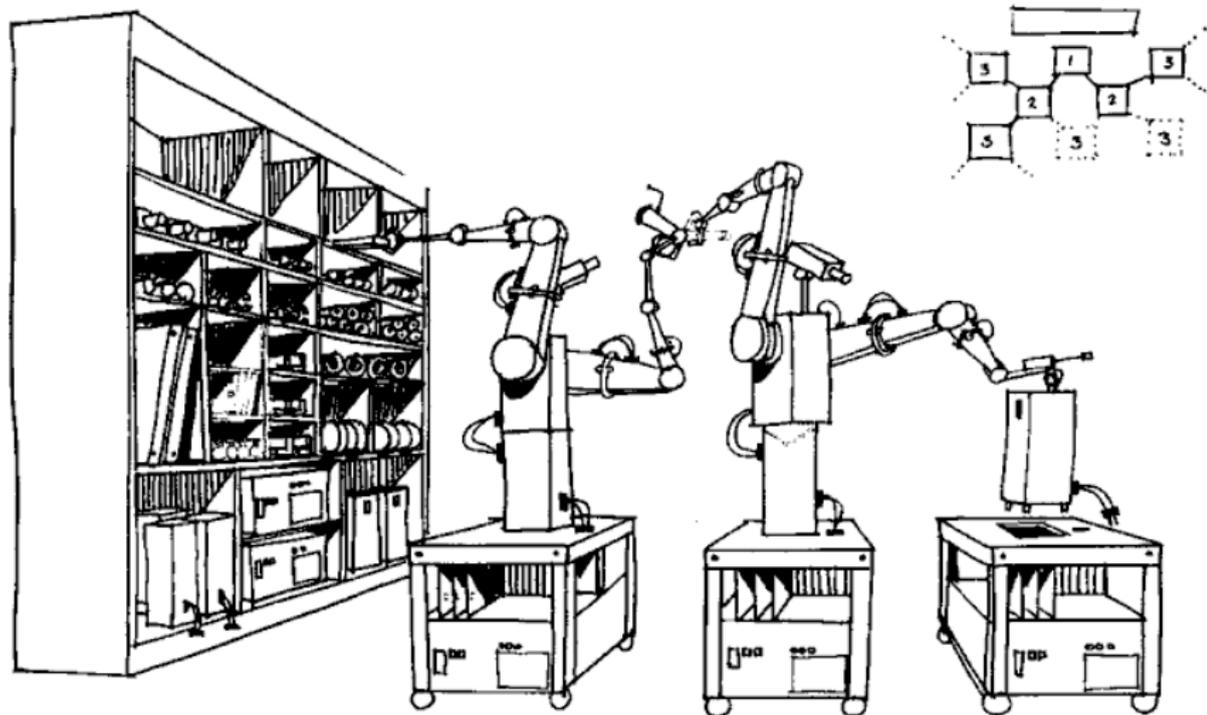
Autômato Celular

Autômato Celular

- Idealizado pelo matemático Húngaro chamado John von Neumann.
- Proposta de um modelo baseado na ideia de um sistema lógico autoreplicante.
- Em Inglês:
 - ▶ *Cellular Automata*
 - ▶ *Cellular Automaton*



Autômato Celular



Conceitos básicos

- O que é um Autômato Celular (AC) ?
 - ▶ É uma técnica matemática que trabalha com variáveis discretas.
- Para que serve ?
 - ▶ Serve para representar sistemas **complexos** e **dinâmicos**.

Conceitos básicos

Definição:

AC é composto por uma grade regular de células, que evoluem a cada passo de tempo discreto, com o valor da variável que se deseja calcular, sendo a variável de interesse da célula determinada pelos valores das variáveis nas células vizinhas. As variáveis em cada célula são, de forma geral, atualizadas simultaneamente com base nos valores das variáveis da sua vizinhança no passo de tempo anterior e de acordo com um conjunto de regras locais.

Conceitos básicos

- Máquina de estados finito.

Conceitos básicos

- Máquina de estados finito.
- Domínio discretizado em células compondo um grade regular.

Conceitos básicos

- Máquina de estados finito.
- Domínio discretizado em células compondo um grade regular.
- As células possuem uma quantidade finita de estados que podem assumir.

Conceitos básicos

- Máquina de estados finito.
- Domínio discretizado em células compondo um grade regular.
- As células possuem uma quantidade finita de estados que podem assumir.
- Cada célula muda seu estado de acordo com estado células vizinhas e uma função de transição.
- Assim,

Conceitos básicos

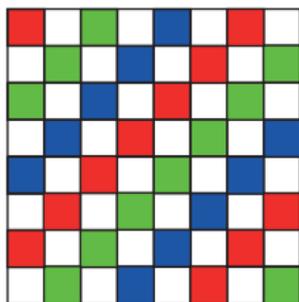
- Máquina de estados finito.
- Domínio discretizado em células compondo um grade regular.
- As células possuem uma quantidade finita de estados que podem assumir.
- Cada célula muda seu estado de acordo com estado células vizinhas e uma função de transição.
- Assim, o AC é definido por um conjunto $(L, S, N$ e $f)$, onde:
 - ▶ L , representa a discretização em uma grade regular, formada por células (c) de dimensão espacial D ;
 - ▶ S é o conjunto finito de estados que a célula pode assumir;
 - ▶ N é a vizinhança adotada, tal que $c \in L \Rightarrow N(c) \in L$, e,
 - ▶ $f : (S, N) \rightarrow S$ é a função de transição.

Conceitos básicos

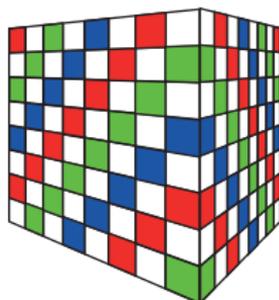
- Dimensões: ($1D$, $2D$ e $3D$)

Conceitos básicos

- Dimensões: ($1D$, $2D$ e $3D$)



2D



3D



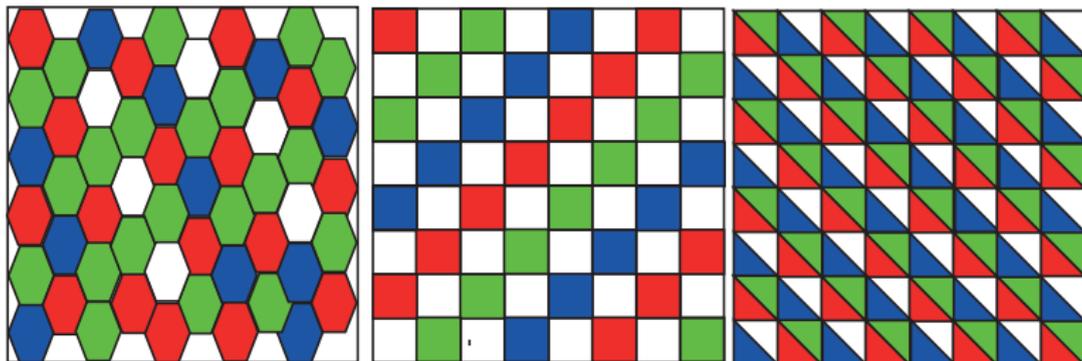
1D

Conceitos básicos

- Topologia da malha:

Conceitos básicos

- Topologia da malha:



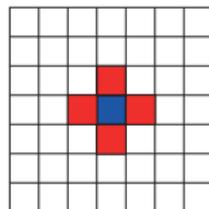
Conceitos básicos

- Vizinhança e área de influência:

Conceitos básicos

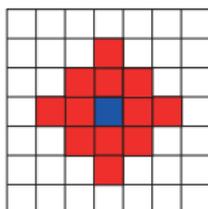
- Vizinhança e área de influência:

Von Neumann

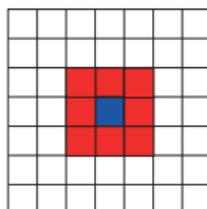


raio = 1

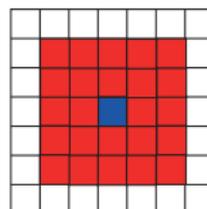
Moore



raio = 2

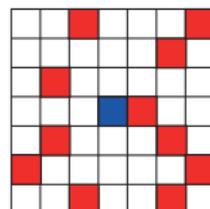


raio = 1



raio = 2

Aleatório

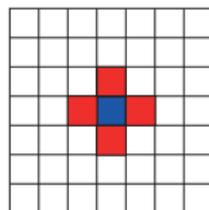


- Logo, dado uma célula c e um raio r , o conjunto de vizinhos é definido como:

Conceitos básicos

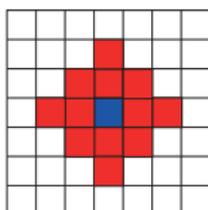
- Vizinhança e área de influência:

Von Neumann

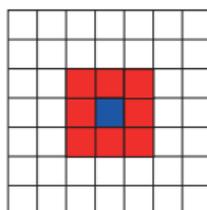


raio = 1

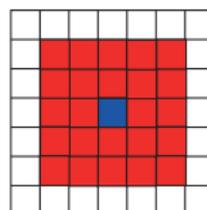
Moore



raio = 2

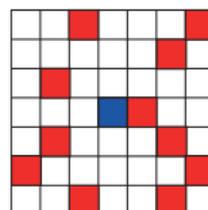


raio = 1



raio = 2

Aleatório



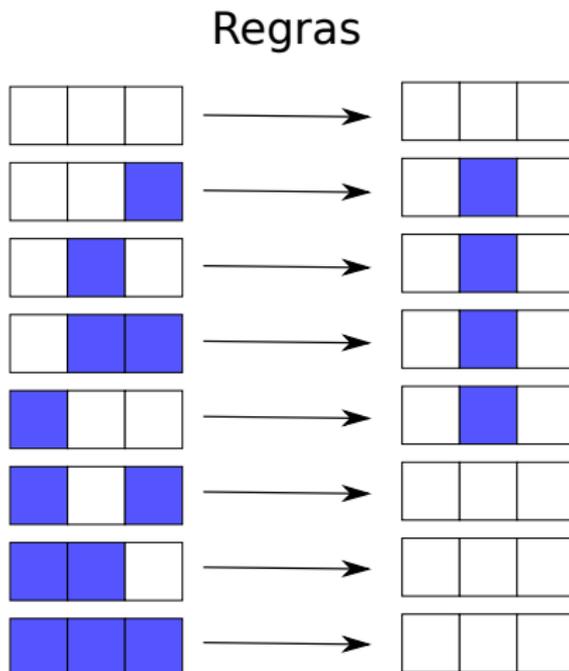
- Logo, dada uma célula c e um raio r , o conjunto de vizinhos é definido como:

$$N(c) = \{r \in L; (c + r) \in L\}$$

Autômato Celular elementar - regra 30



Estados

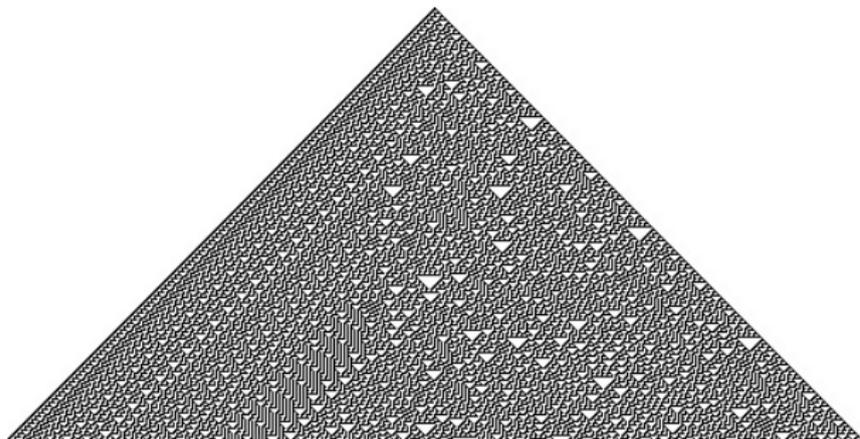


Autômato Celular elementar - regra 30

- Qual padrão que emerge dessa regra ?

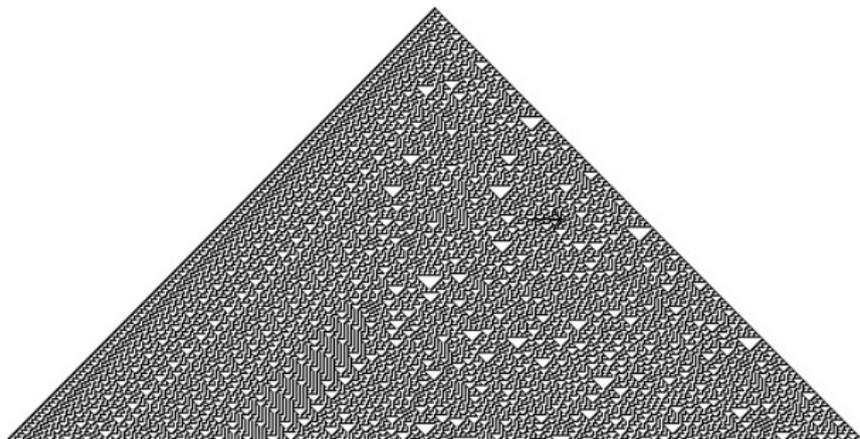
Autômato Celular elementar - regra 30

- Qual padrão que emerge dessa regra ?



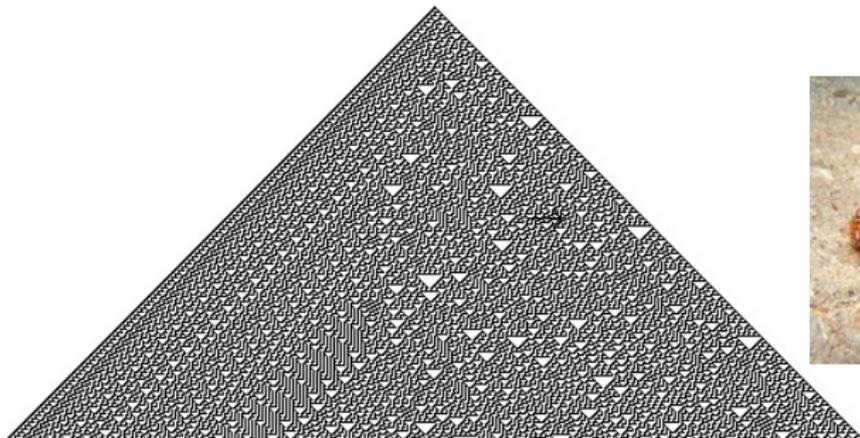
Autômato Celular elementar - regra 30

- Qual padrão que emerge dessa regra ?



Autômato Celular elementar - regra 30

- Qual padrão que emerge dessa regra ?

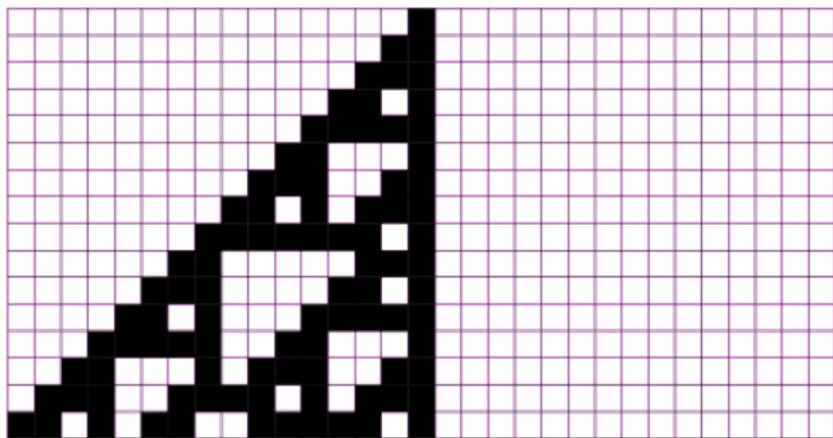


Autômato Celular elementar - regra 110

111	110	101	100	011	010	001	000
0	1	1	0	1	1	1	0

Autômato Celular elementar - regra 110

111	110	101	100	011	010	001	000
0	1	1	0	1	1	1	0



Game of life

- Desenvolvido por John Horton Conway
- Objetivo de reproduzir alterações e mudanças em grupos de seres vivos
- Aplicável em algumas áreas da ciência
- Através de regras simples faz emergir um comportamento global

Game of life

- Definição:

- ▶ Espaço e tempo em passos discretos.
- ▶ Malha regular bi-dimensional.
- ▶ Vizinhança de Moore de raio 1.
- ▶ Estados das células: dois estados apenas ($1 \rightarrow$ **vivo** / $0 \rightarrow$ **morto**).
- ▶ Evolução do sistema no tempo em passos discretos.
- ▶ Condição inicial.
- ▶ Condições de contorno:
 - Reflexiva.
 - Constante (0 ou 1).
 - Circular ou periódica.

Game of life

- Regras:

1. Qualquer célula viva com menos de dois vizinhos vivos morre de solidão.
2. Qualquer célula viva com mais de três vizinhos vivos morre de superpopulação.
3. Qualquer célula morta com exatamente três vizinhos vivos se torna uma célula viva.
4. Qualquer célula viva com dois ou três vizinhos vivos continua no mesmo estado para a próxima geração.

Estudo de caso: simulação viária baseado em AC

- **Problema real:** dinâmica do trânsito.

Estudo de caso: simulação viária baseado em AC

- **Problema real:** dinâmica do trânsito.
- **Levantamento dos dados:**

Estudo de caso: simulação viária baseado em AC

- **Problema real:** dinâmica do trânsito.
- **Levantamento dos dados:**
 - ▶ Quais variáveis estão envolvidas no problema.

Estudo de caso: simulação viária baseado em AC

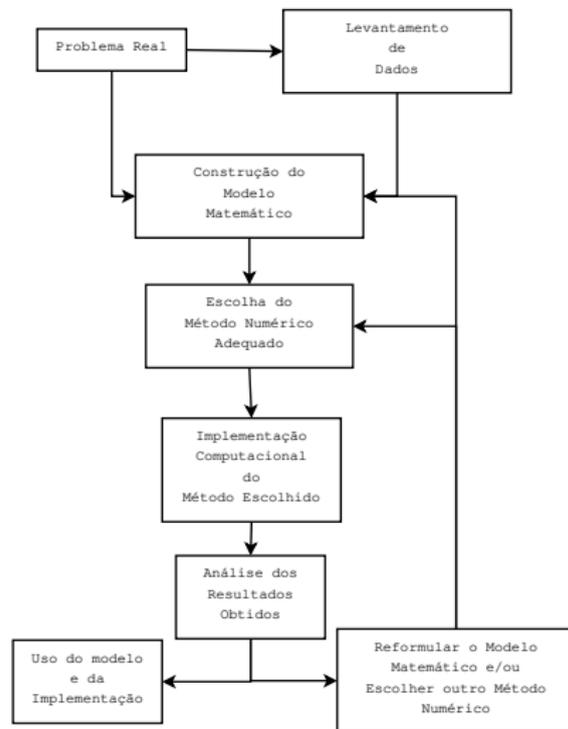
- **Problema real:** dinâmica do trânsito.
- **Levantamento dos dados:**
 - ▶ Quais variáveis estão envolvidas no problema.
 - ▶ Como elas se relacionam.

Estudo de caso: simulação viária baseado em AC

- **Problema real:** dinâmica do trânsito.
- **Levantamento dos dados:**
 - ▶ Quais variáveis estão envolvidas no problema.
 - ▶ Como elas se relacionam.
 - ▶ Como os dados são registrados.

Estudo de caso: simulação viária baseado em AC

- **Problema real:** dinâmica do trânsito.
- **Levantamento dos dados:**
 - ▶ Quais variáveis estão envolvidas no problema.
 - ▶ Como elas se relacionam.
 - ▶ Como os dados são registrados.
 - ▶ Qual interpretação dos dados.



Estudo de caso: simulação viária baseado em AC

- Levantamento dos dados:
 - ▶ Quais variáveis estão envolvidas no problema:
 - Fluxo, densidade e velocidade.
 - ▶ Como os dados são registrados:
 - Através de sensores
 - ▶ Qual interpretação dos dados.

Estudo de caso: simulação viária baseado em AC

As variáveis envolvidas do domínio do problema:

- **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:

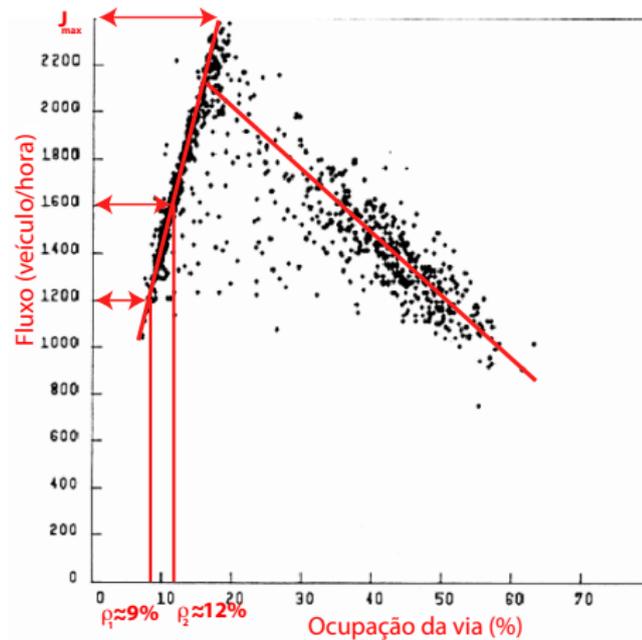
$$0 \leq \rho \leq \rho_1$$

- ▶ Meta-estabilidade:

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

- ▶ Congestionado:

$$\rho > \rho_2$$



Estudo de caso: simulação viária baseado em AC

Diagrama fluxo-densidade

● Fluxo \times densidade

▶ Livre:

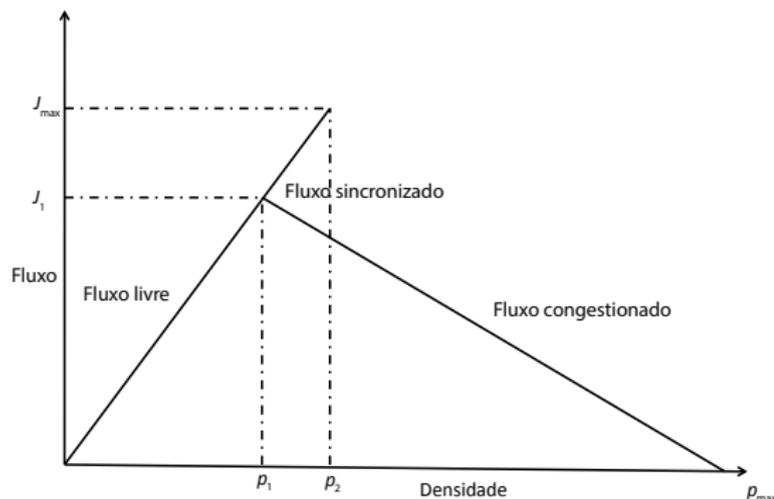
$$0 \leq \rho \leq \rho_1$$

▶ Meta-estabilidade:

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

▶ Congestionado:

$$\rho > \rho_2$$



Estudo de caso: simulação viária baseado em AC

Diagrama fluxo-velocidade

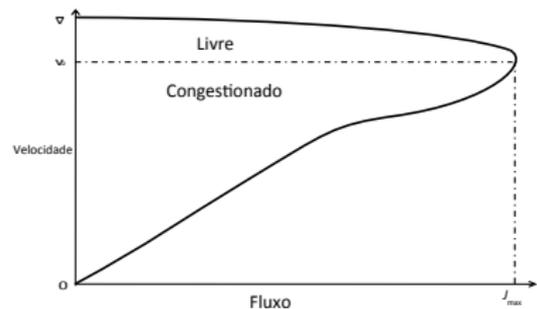
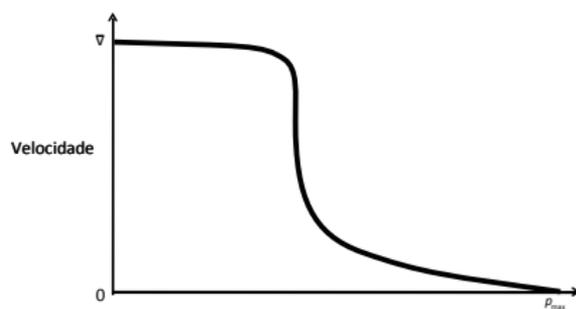
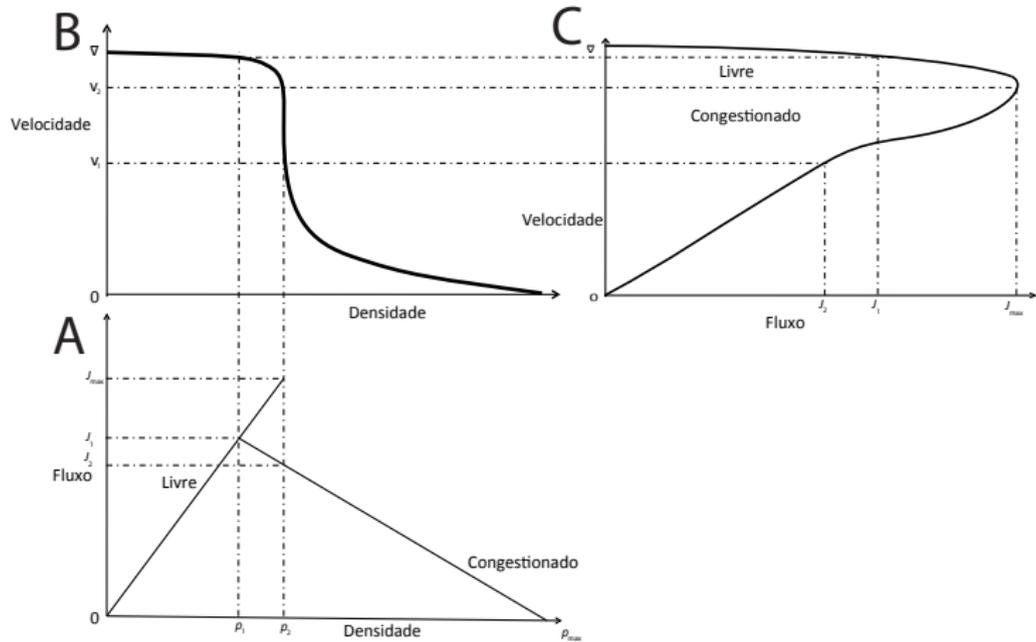


Diagrama densidade velocidade



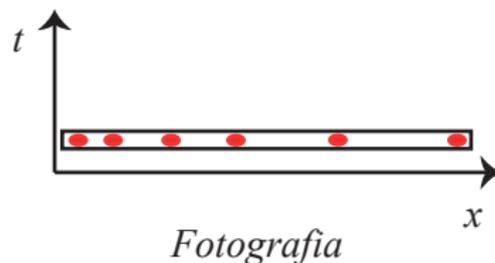
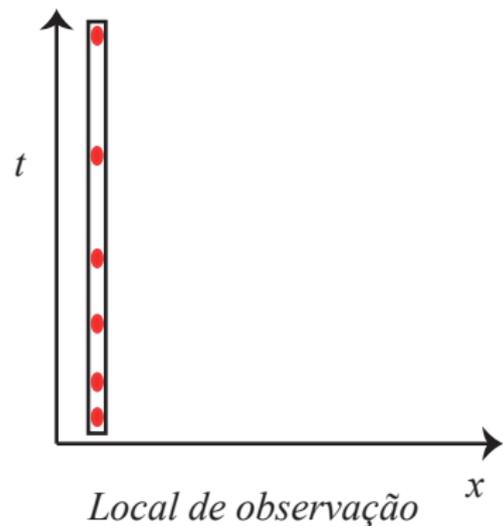
Estudo de caso: simulação viária baseado em AC

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



Estudo de caso: simulação viária baseado em AC

Como obter os dados:



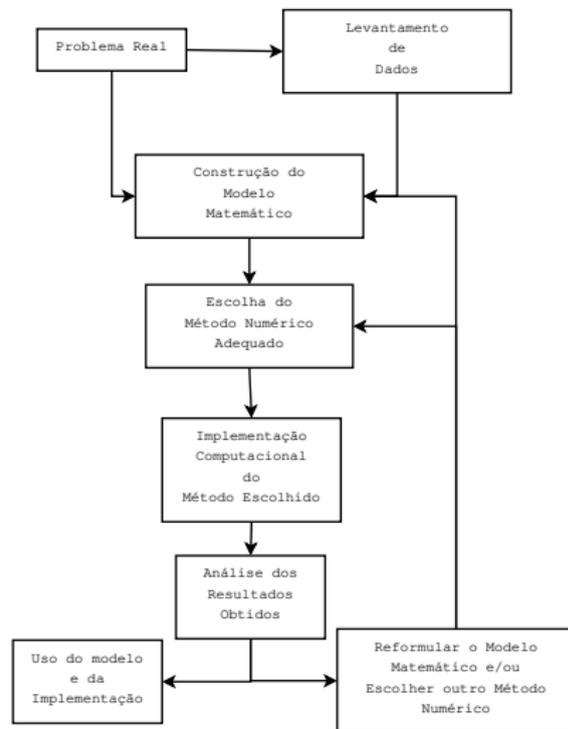
Estudo de caso: simulação viária baseado em AC

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: $\rho = \frac{N_p^2}{T \sum_{k=1}^{N_p} v_k} + \frac{N_s}{T}$

Estudo de caso: simulação viária baseado em AC

Modelo matemático e método numérico: Modelos baseados em AC



Modelagem do AC para o problema de tráfego viário

- Reproduz a dinâmica do tráfego.
- Variáveis discretizadas:
 - ▶ Posição em célula (x).

Modelagem do AC para o problema de tráfego viário

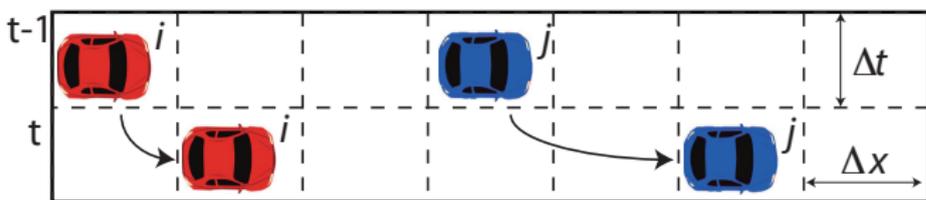
- Reproduz a dinâmica do tráfego.
- Variáveis discretizadas:
 - ▶ Posição em célula (x).
 - ▶ Velocidade em células por segundo (v), onde $v \in [0, v_{max}]$.

Modelagem do AC para o problema de tráfego viário

- 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).

Modelagem do AC para o problema de tráfego viário

- 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 $2D$).



Modelagem do AC para o problema de tráfego viário

- Via é discretizada em uma malha regular de comprimento L .

Modelagem do AC para o problema de tráfego viário

- Via é discretizada em uma malha regular de comprimento L .
- Deslocamento dos veículos é dado pela regra de transição.

Modelagem do AC para o problema de tráfego viário

- 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**).

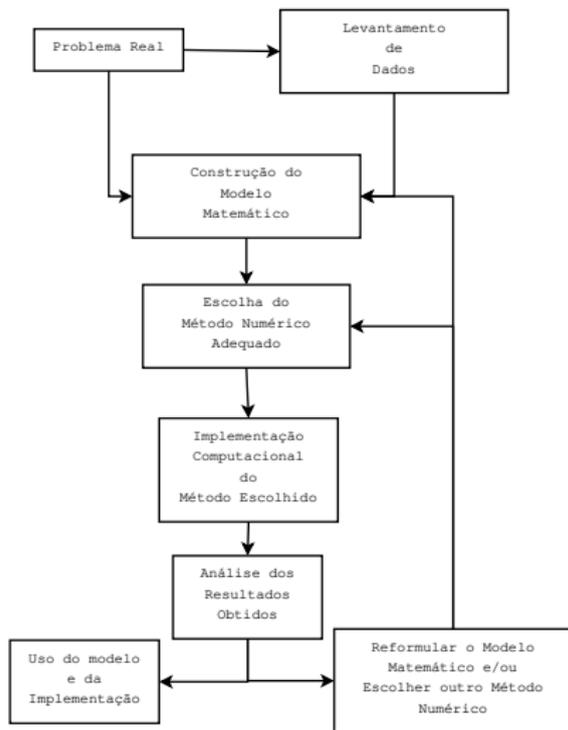
Modelagem do AC para o problema de tráfego viário

- 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: $x_i^{t+1} = x_i^t + v_i^t$.

Modelagem do AC para o problema de tráfego viário

- 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 $x = x + L$)

Implementação e resultados



Regras de movimentação

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

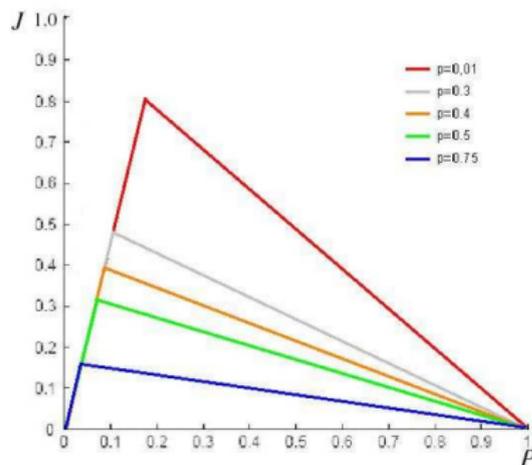
$$\text{se}(p < p_m) v_i^{t+1} = v_i^{t+1} - 1$$

- **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

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



Duas características desejáveis

- *slow-to-start*:

- ▶ Takayasu, M. e Takayasu, H. em 1993.
- ▶ Barlovic, R. e Santen, L. e Schadschneider, A. e Schreckenberg, M. em 1998.

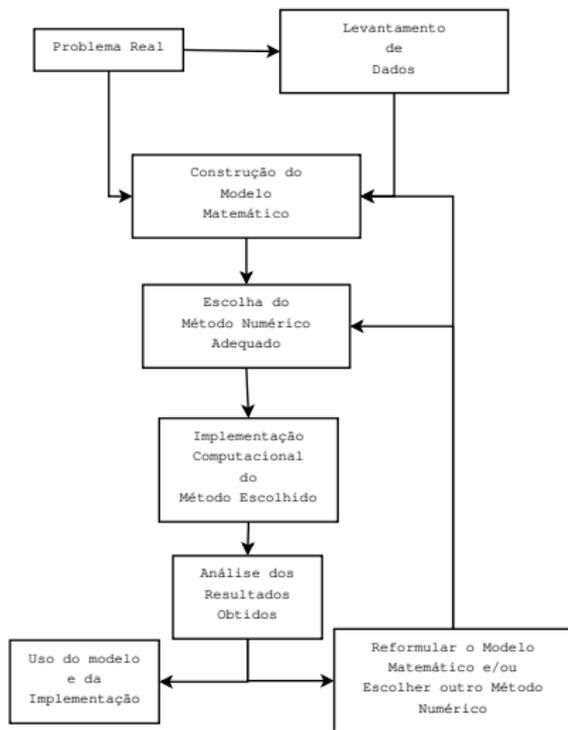
- Antecipação:

- ▶ 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

Ajuste do modelo matemático



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  $\text{int}(v_i^{t-1} \times (1 - \alpha_i^t)) > d_{is}^t$  then
14  |   | 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)

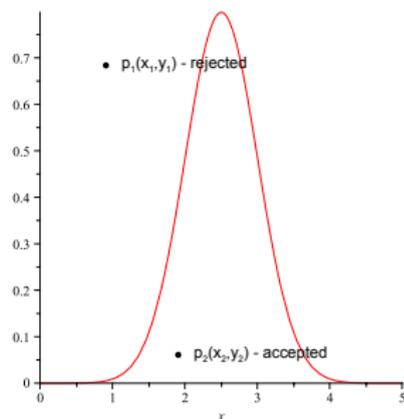
Result: novo estado

```
1 while  $v_i^t > d_{is}^t$  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  $\text{int}(v_i^{t-1} \times (1 - \alpha_i^t)) > d_{is}^t$  then
9   |   | Resolve Cluster de Veículos ( $i$ );
10  |   end
11  |    $i = i - 1$ ;
12 end
```

Investigações Preliminares - Modelo TAC-UFF

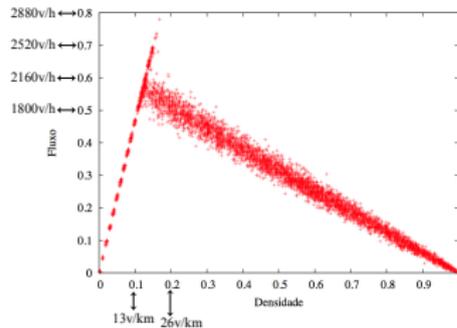
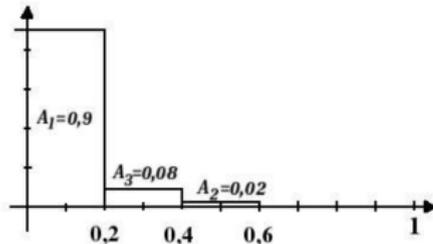
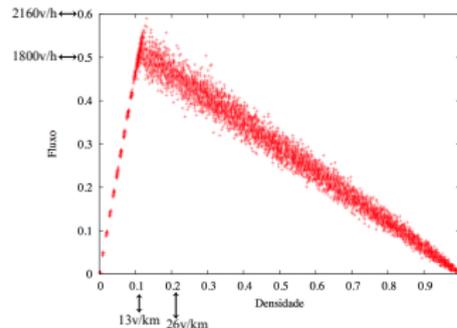
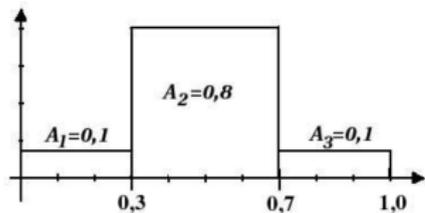
O parâmetro α é escolhido de acordo com o método de Monte Carlo (técnica da rejeição) que consiste em:

- 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

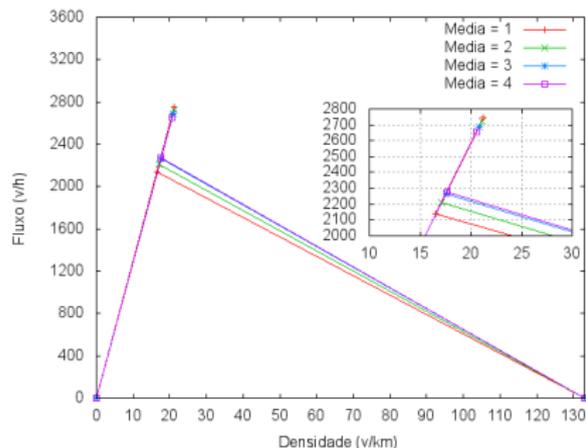
Modelo de antecipação com ajuste de fluxo com FDP uniforme por partes:



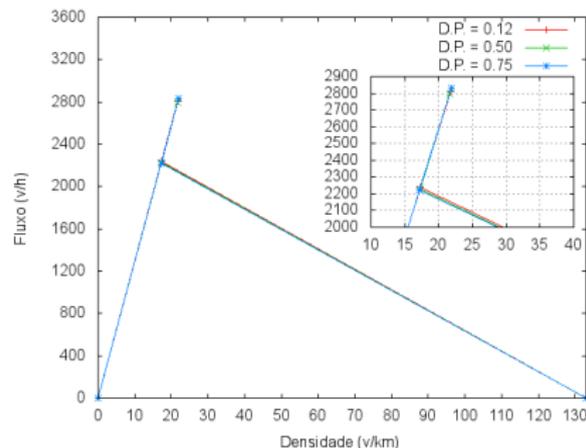
Investigações Preliminares - Modelo TAC-UFF

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

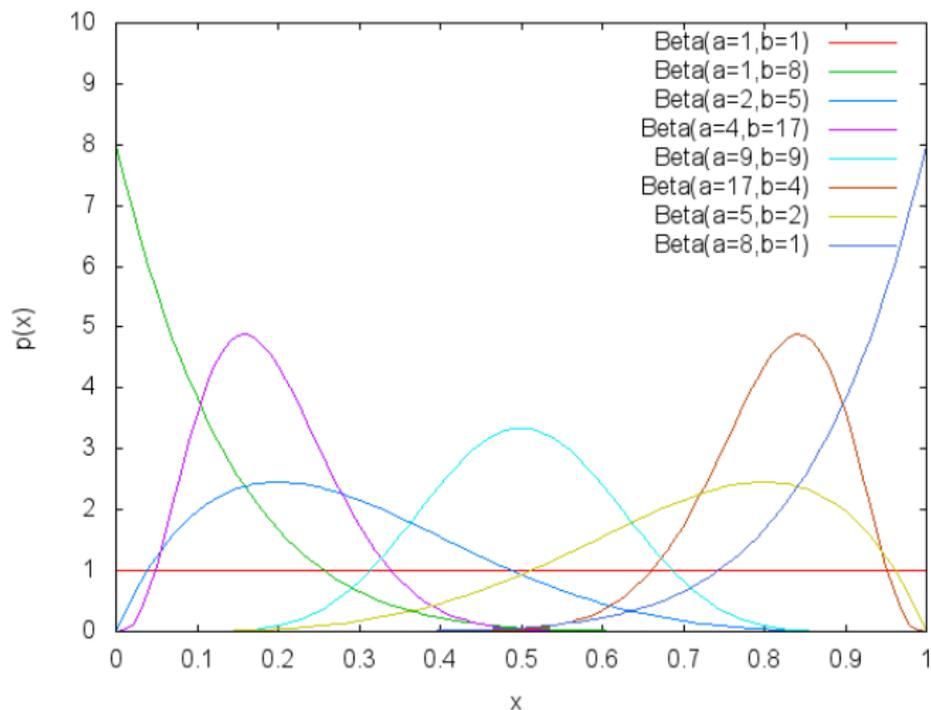
- Comportamento do motorista melhor representado.
- Diferentes formas de considerar:
 - ▶ a distância entre os veículos.
 - ▶ ajustar a velocidade.
- Facilidade na sua manipulação.
- Representação de diversas possíveis curvas.

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.

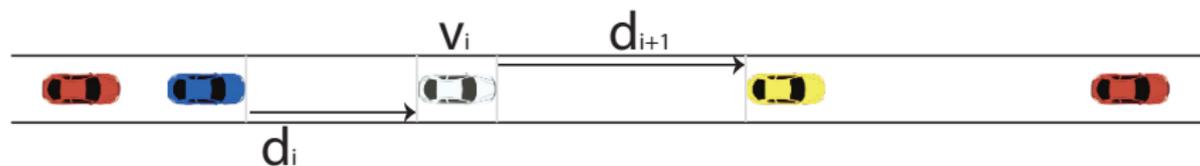
Modelo T-UFF: FDP *Beta* com diferentes valores de a e b



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



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

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

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

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

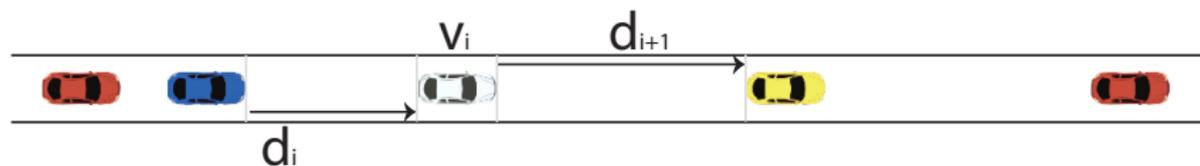
$$\delta d = d_i^{t-1} - d_{i+1}^{t-1}$$

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

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

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

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      |  $d_s = \text{int}(\delta v \times (1 - \alpha))$ 
12    end
13    if  $t_h \leq \text{int}(h \times \alpha)$  then
14      |  $d_s = d_s + \text{int}(d_{s\text{min}} \times \alpha)$ 
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   $v_i^t = \min \left[ v_i^{t-1} + \text{int}(\delta v \times (1 - \alpha)), v_{\text{max}} \right]$ 
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

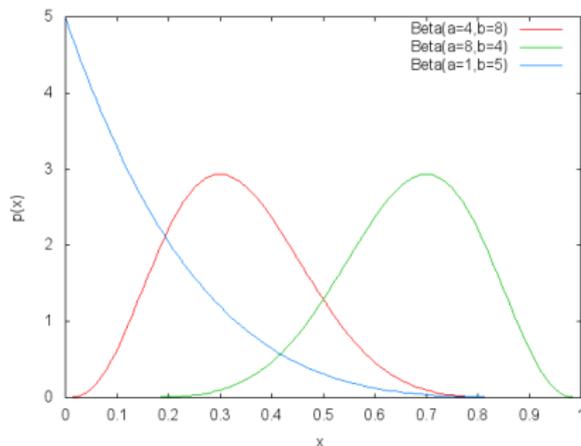
- Considerando os mesmos valores

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

- ▶ $h = 6$
- ▶ $h = 12$
- ▶ $h = 15$

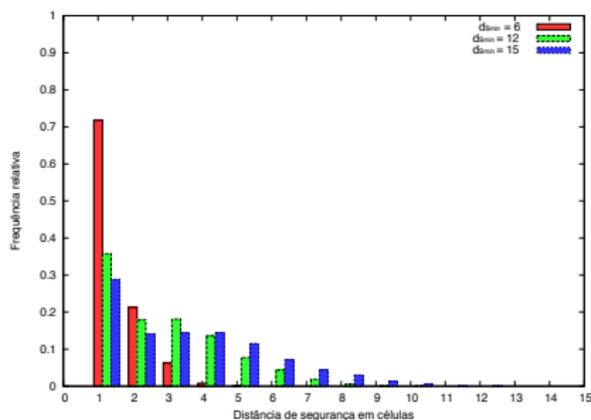
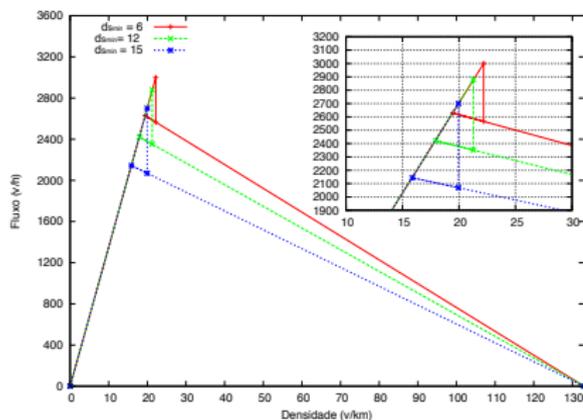
- FDPs *Beta* adotadas:

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



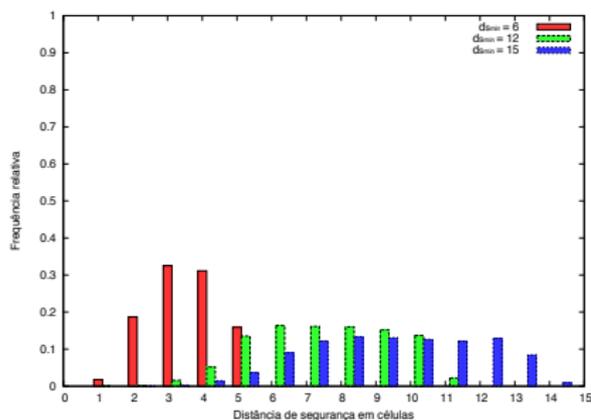
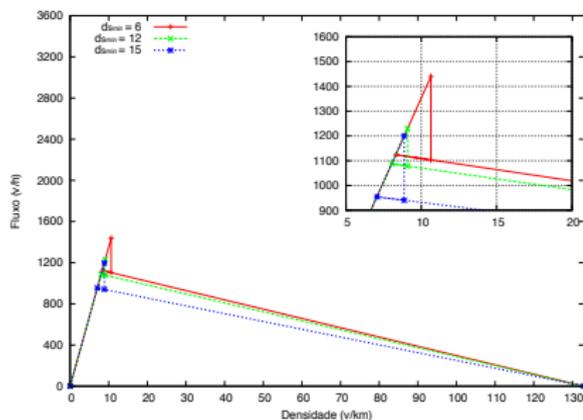
Modelo T-UFF: Testes - GRUPO 1

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



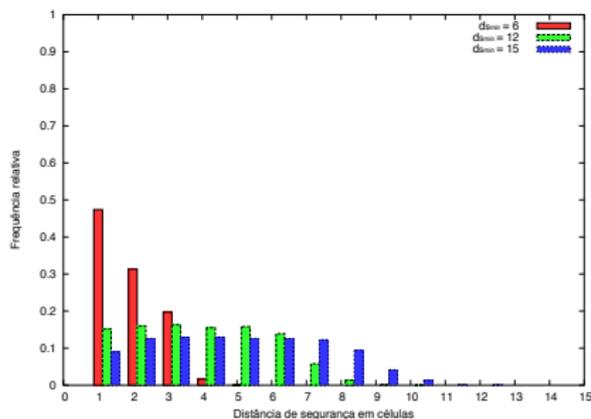
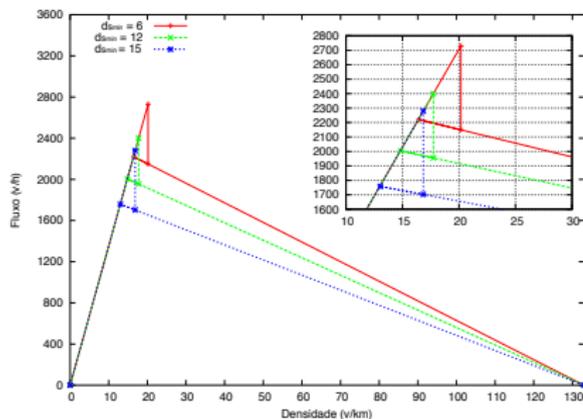
Modelo T-UFF: Testes - GRUPO 1

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



Modelo T-UFF: Testes - GRUPO 1

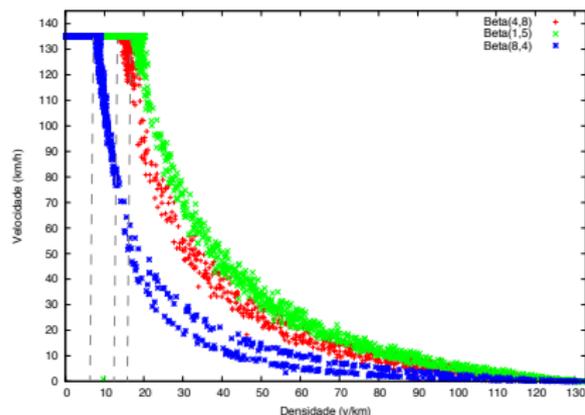
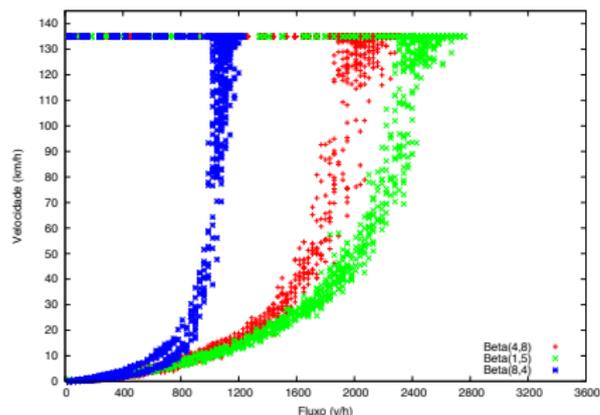
FDP $Beta(a = 4, b = 8)$:



Modelo T-UFF: Testes - GRUPO 2

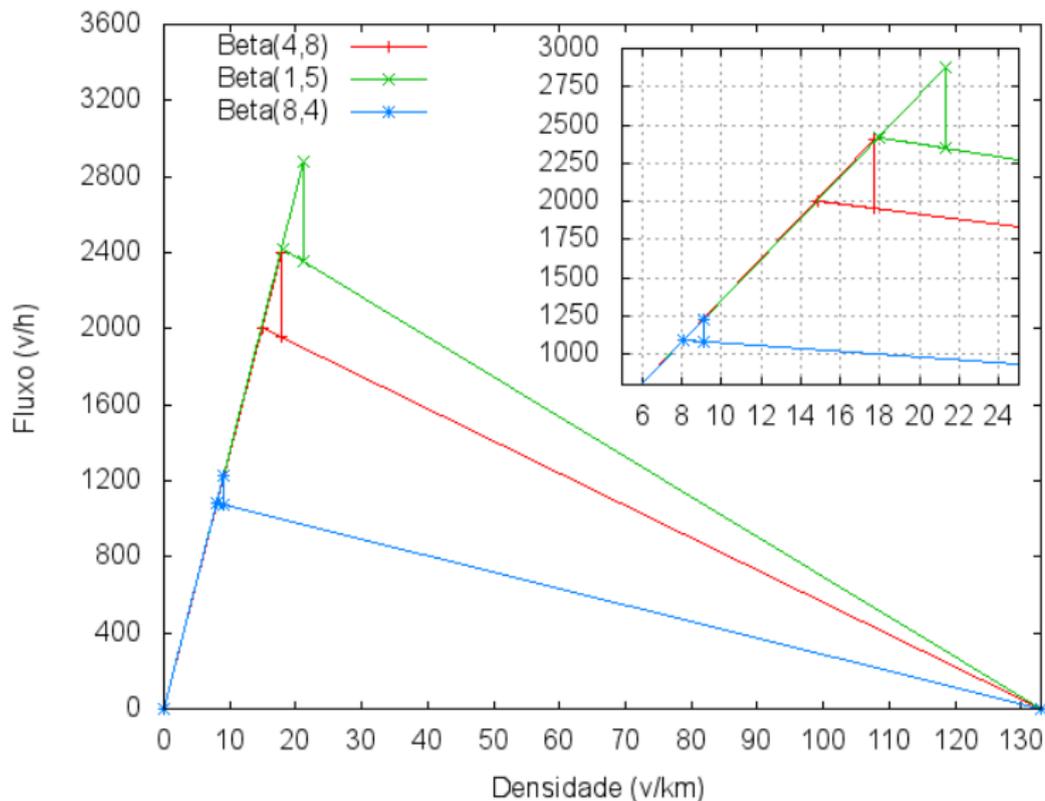
Diferentes FDPs:

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



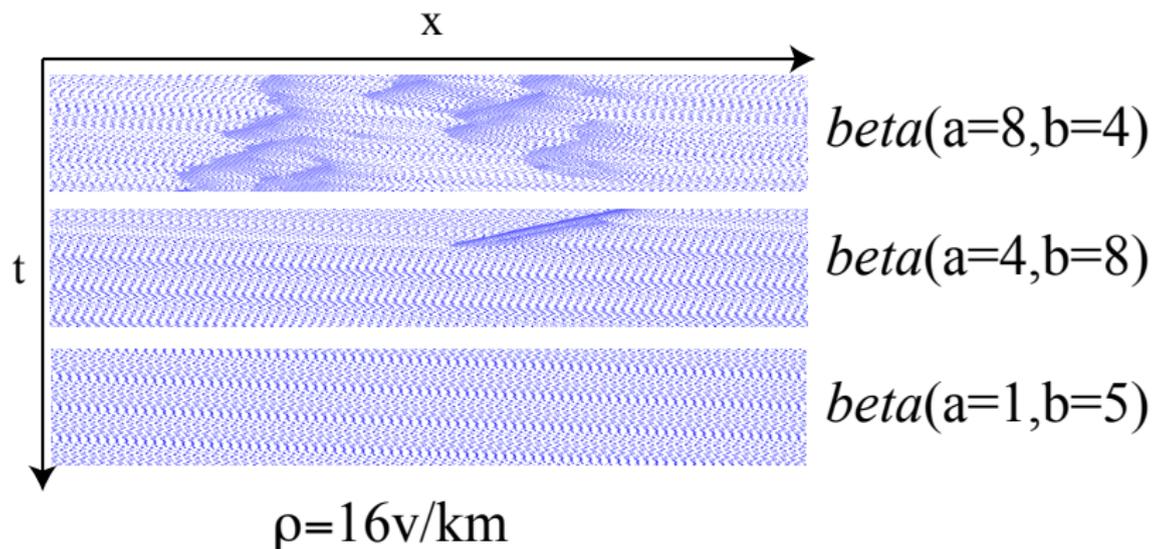
Modelo T-UFF: Testes - GRUPO 2

Diferentes FDPs:



Modelo T-UFF: Testes - GRUPO 2

Diferentes FDPs - diagrama espaço tempo:

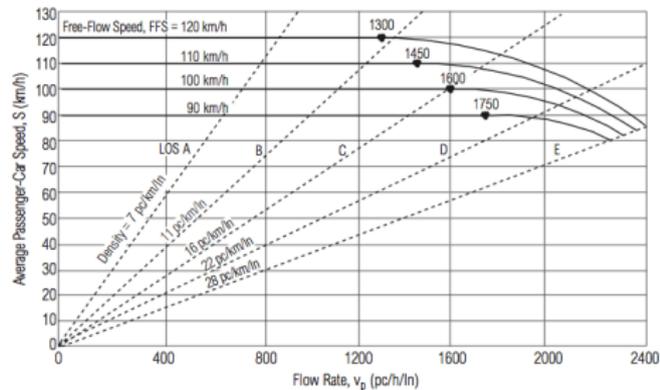
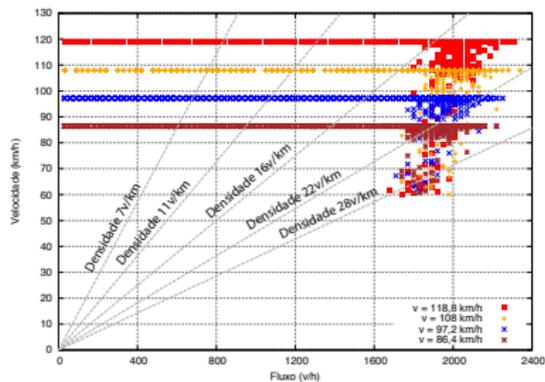


Modelo T-UFF: Testes - GRUPO 3

- 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 $118,8km/h$.

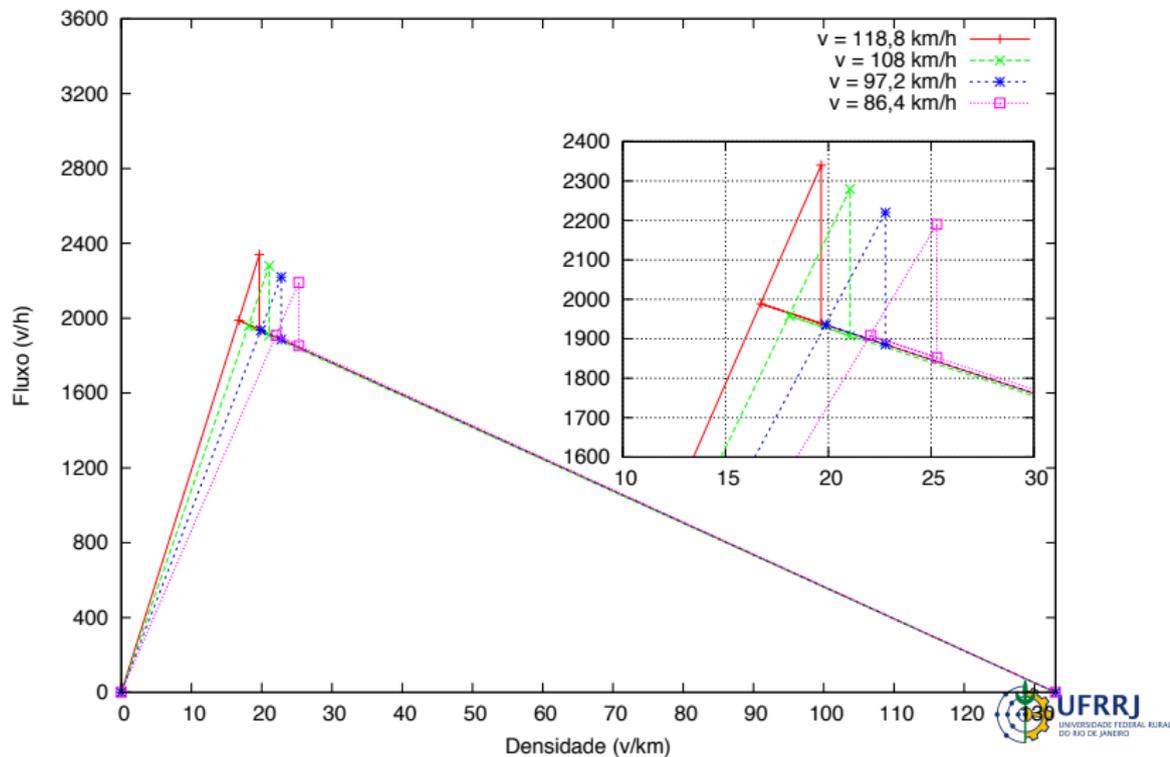
Modelo T-UFF: Testes - GRUPO 3

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.

Modelagem com duas 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

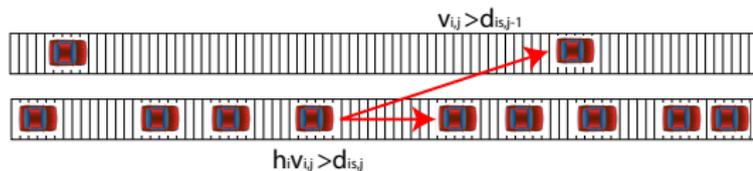
- Regras de mudança de faixa:
 - ▶ Motivação.
 - ▶ Segurança.
- Inversão do uso da faixa.
- Efeito *ping-pong*.

T-UFF: Múltiplas Faixas

- Regra de motivação:

T-UFF: Múltiplas Faixas

- Regra de motivação:
 - ▶ Esquerda para direita:

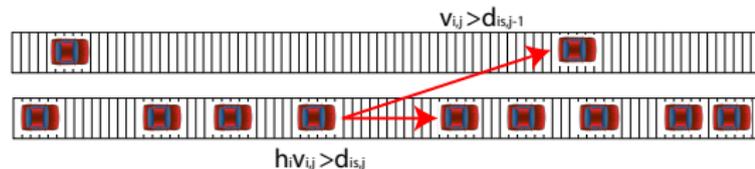


■ $(h_i \times v_{i,j} > d_{is,j}) \wedge (v_{i,j} > d_{is,j-1})$

T-UFF: Múltiplas Faixas

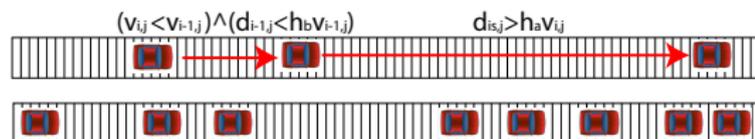
- Regra de motivação:

- ▶ Esquerda para direita:



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

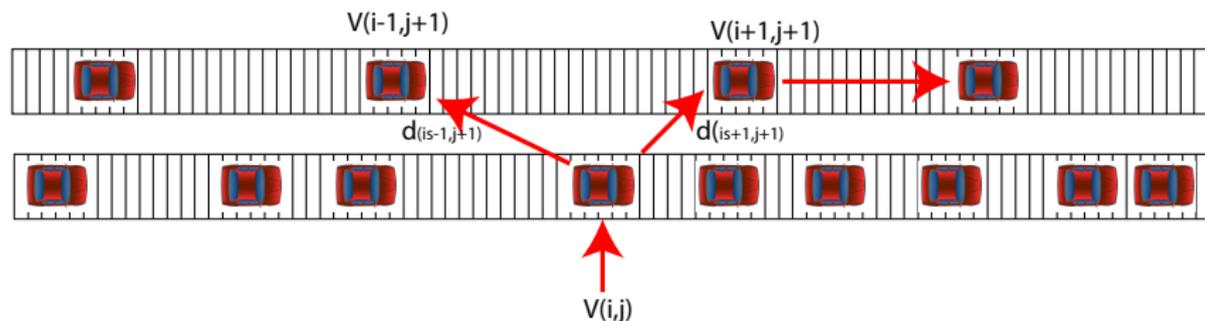
- ▶ Direita para esquerda:



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

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

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

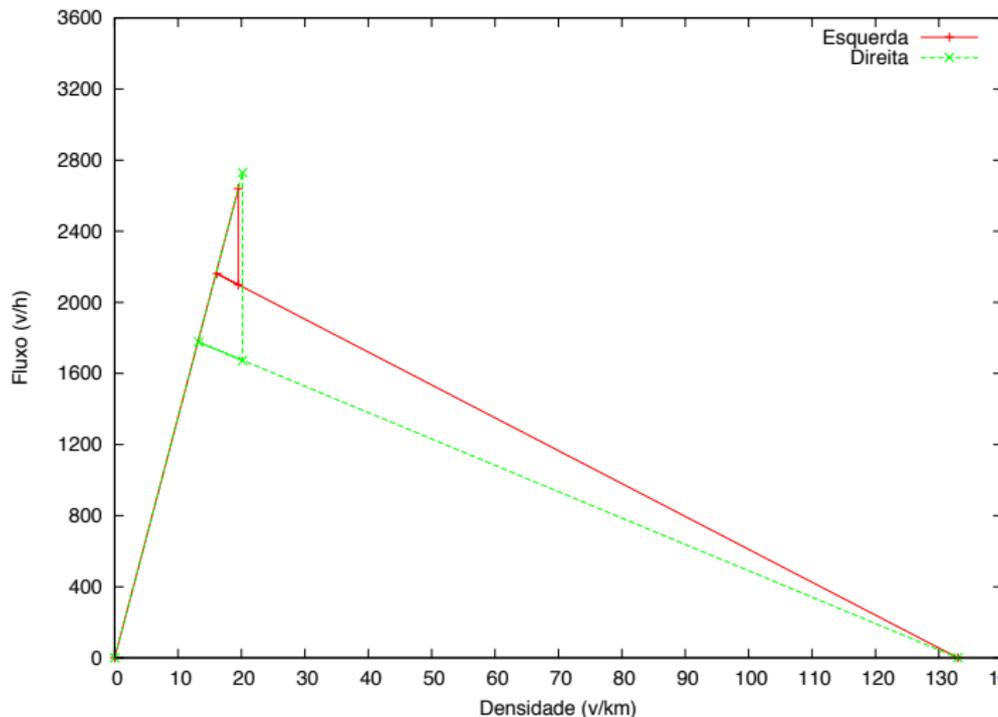
- **GRUPO 1:** Validação e calibração do modelo com FDP *Beta* ($a = 4$, $b = 8$).
- **GRUPO 2:** A influência das diferentes FDP *Beta*.
- **GRUPO 3:** Estudos de casos:
 - ▶ *i*) Via com quatro faixas.
 - ▶ *ii*) Simulação com veículo grande e lento.
 - ▶ *iii*) Via com pista interditada e a influência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

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

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

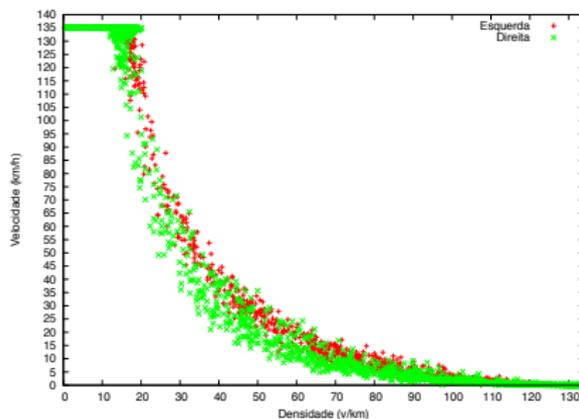
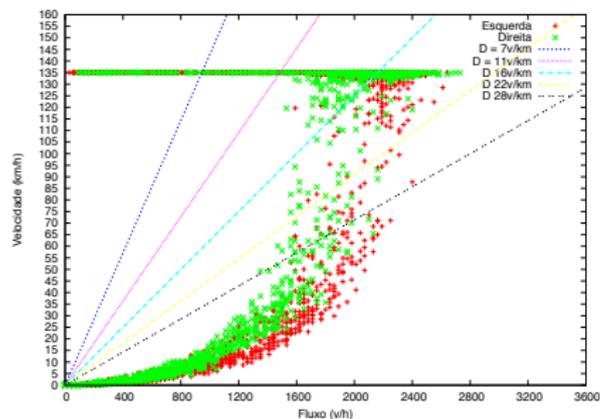
T-UFF: Múltiplas Faixas - Testes **GRUPO 1**

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



T-UFF: Múltiplas Faixas Testes - GRUPO 1

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

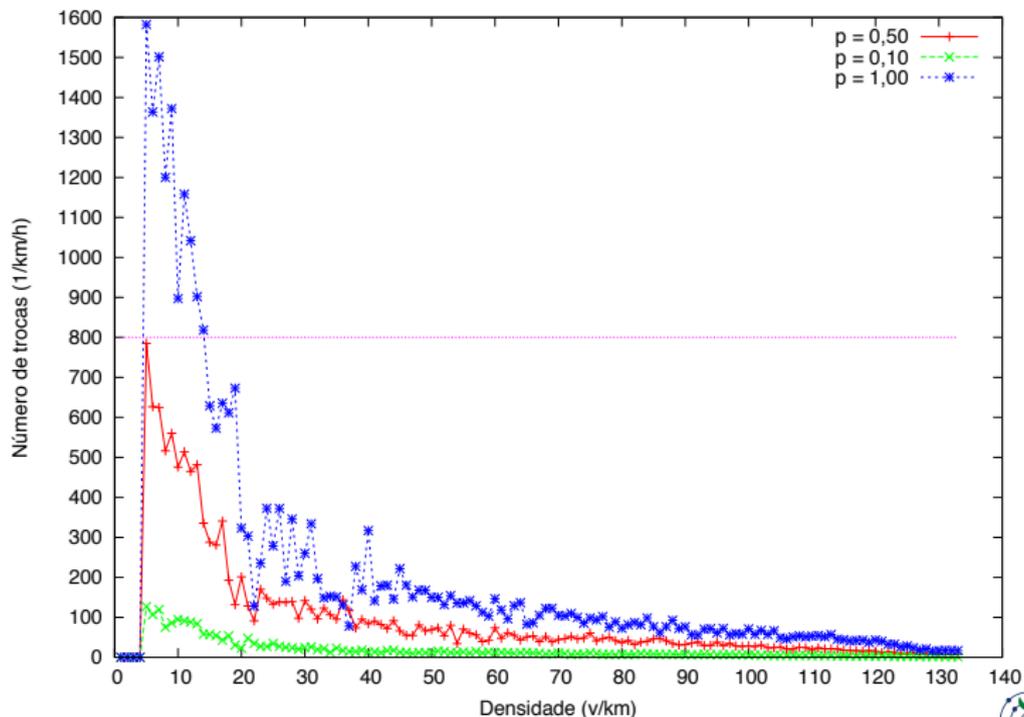


T-UFF: Múltiplas Faixas - Testes **GRUPO 1**

Frequência trocas - efeito *ping-pong*:

T-UFF: Múltiplas Faixas - Testes GRUPO 1

Frequência trocas - efeito *ping-pong*:

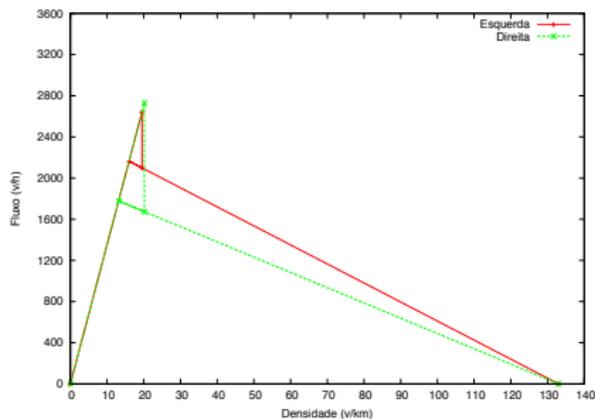
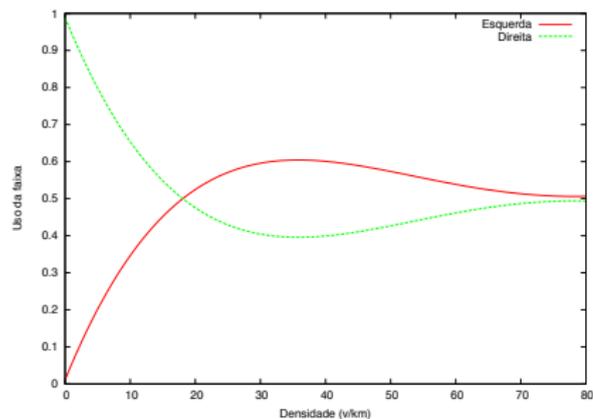


T-UFF: Múltiplas Faixas - Testes **GRUPO 1**

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

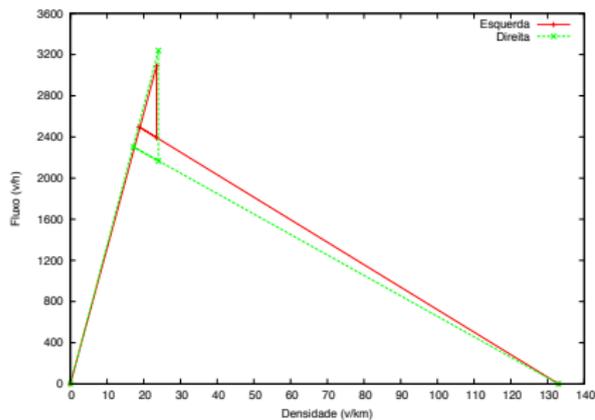
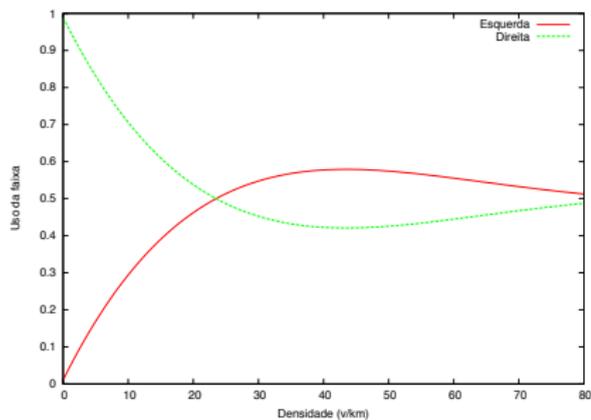


T-UFF: Múltiplas Faixas - Testes **GRUPO 2**

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

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

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

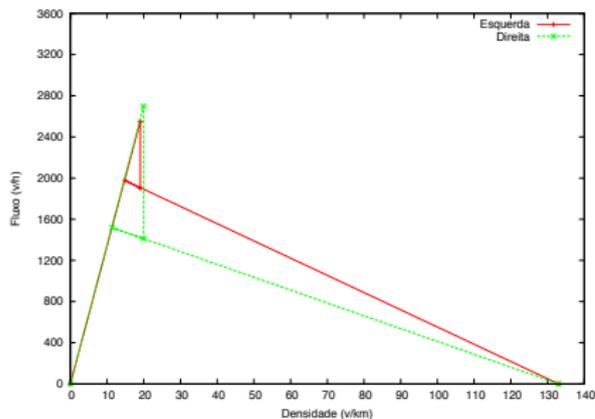
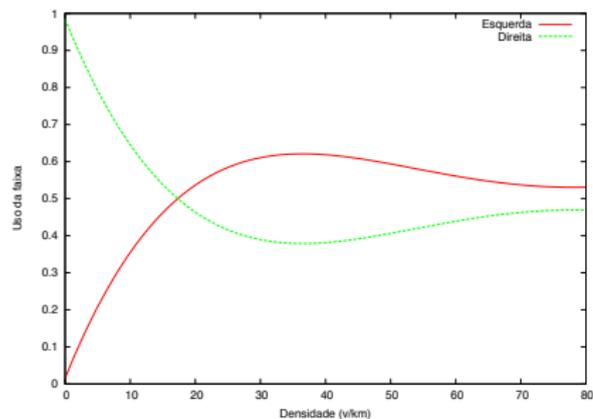


T-UFF: Múltiplas Faixas - Testes **GRUPO 2**

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

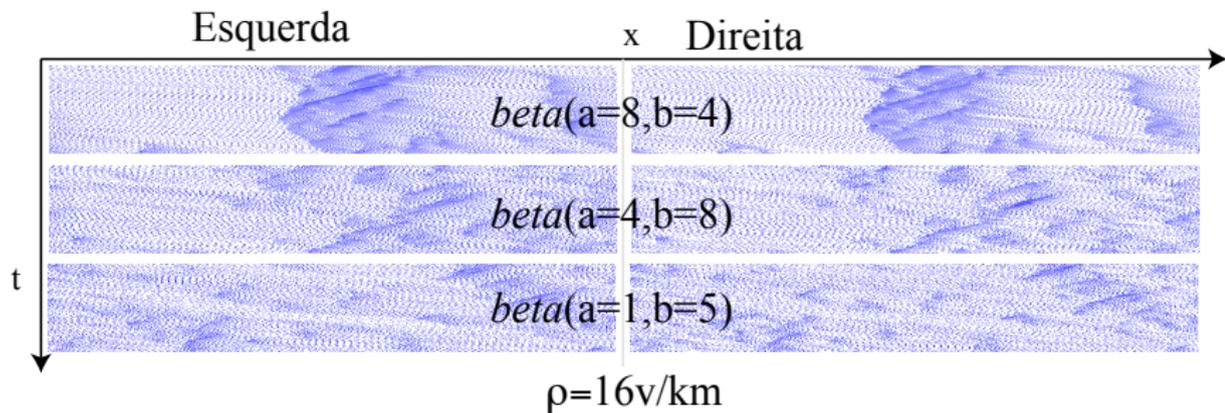
T-UFF: Múltiplas Faixas - Testes **GRUPO 2**

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



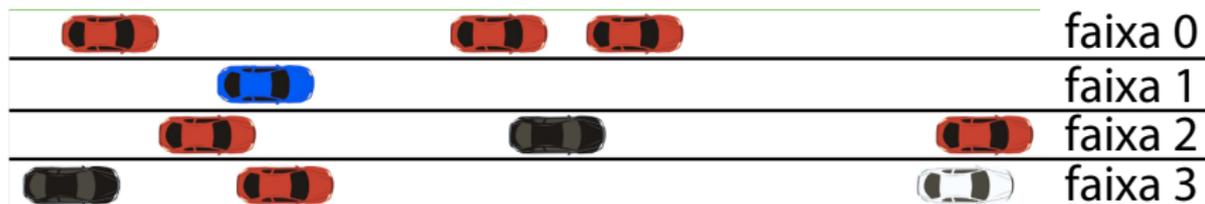
T-UFF: Múltiplas Faixas - Testes **GRUPO 2**

Diagrama espaço tempo - diferentes FDPs



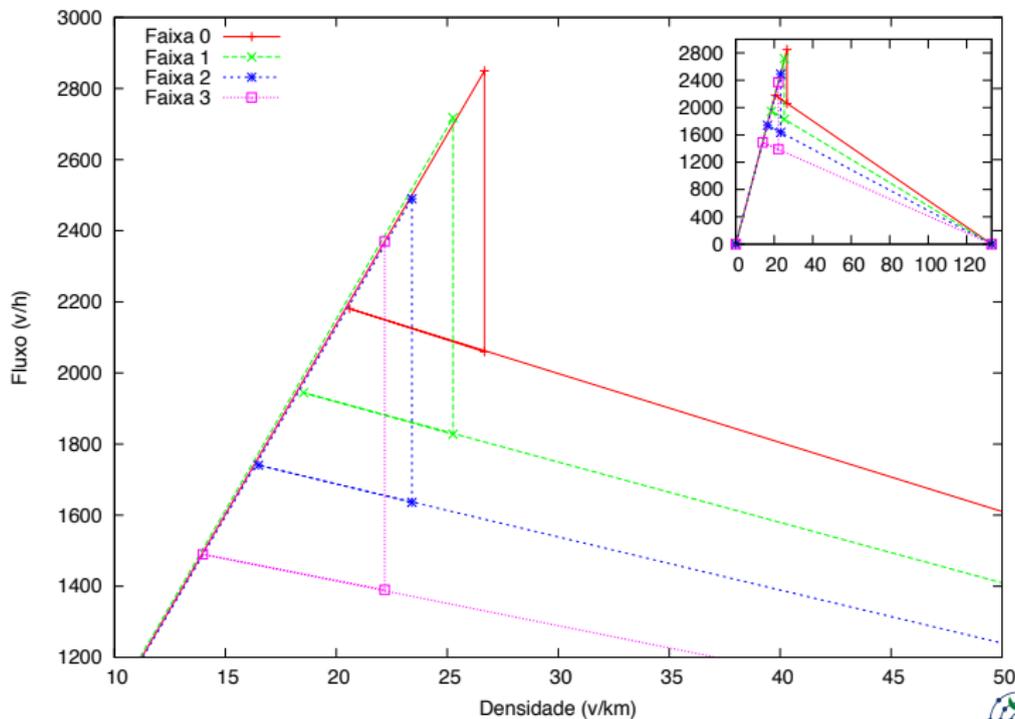
T-UFF: Múltiplas Faixas - Testes **GRUPO 3**

Estudo de caso: Via com quatro faixas



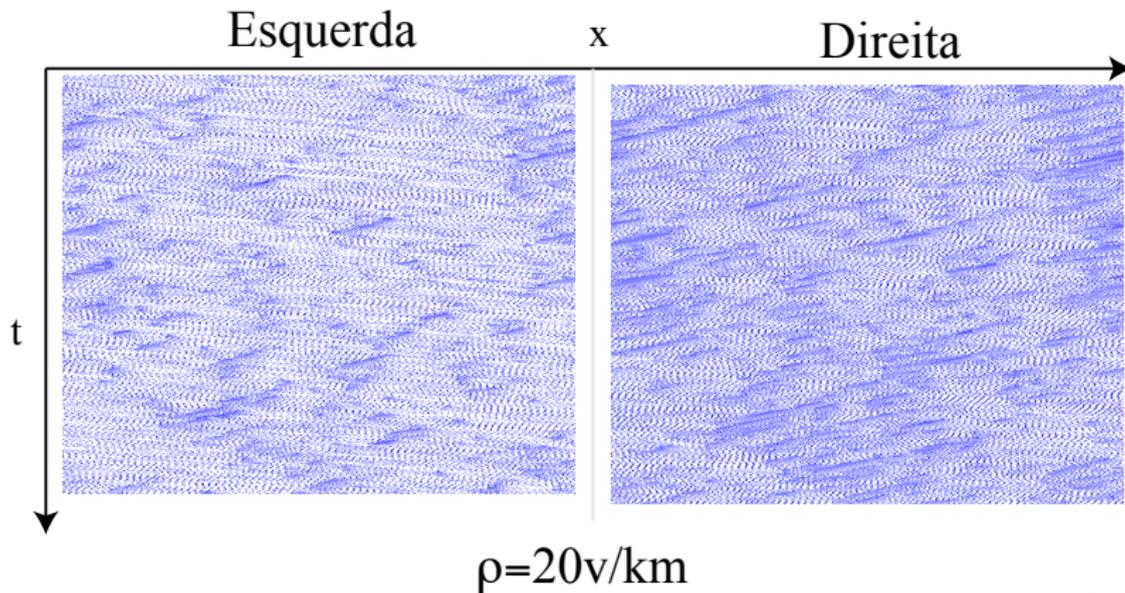
T-UFF: Múltiplas Faixas - Testes **GRUPO 3**

Estudo de caso: via com quatro faixas



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

Estudo de caso: via com quatro faixas



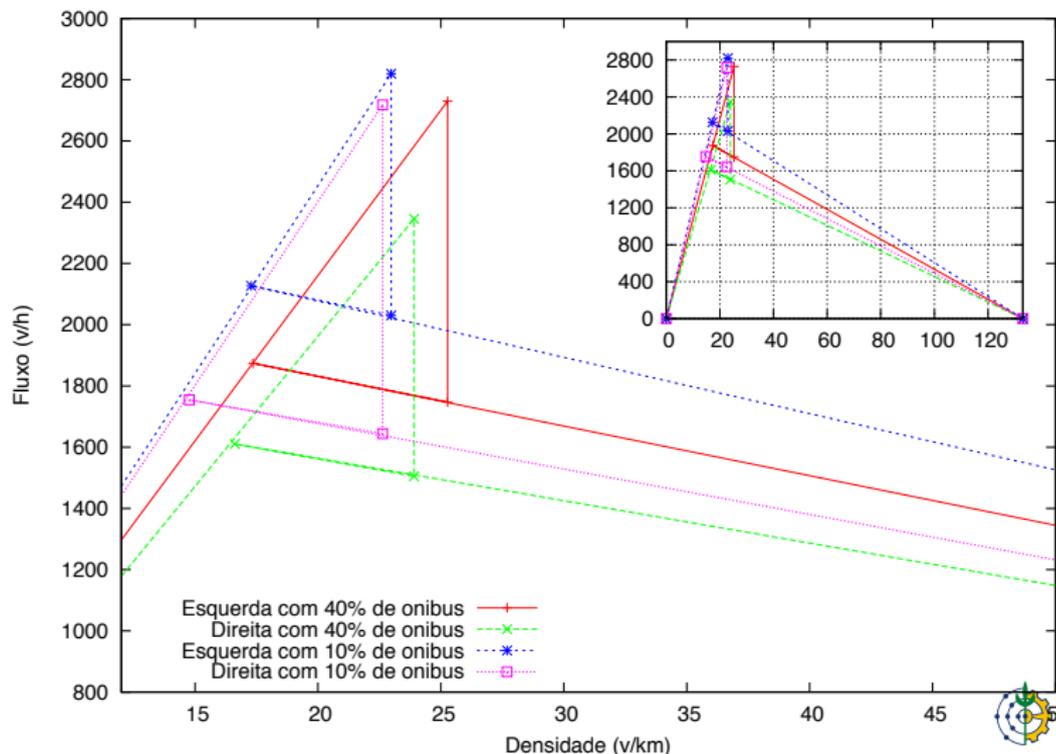
T-UFF: Múltiplas Faixas - Testes **GRUPO 3**

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



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

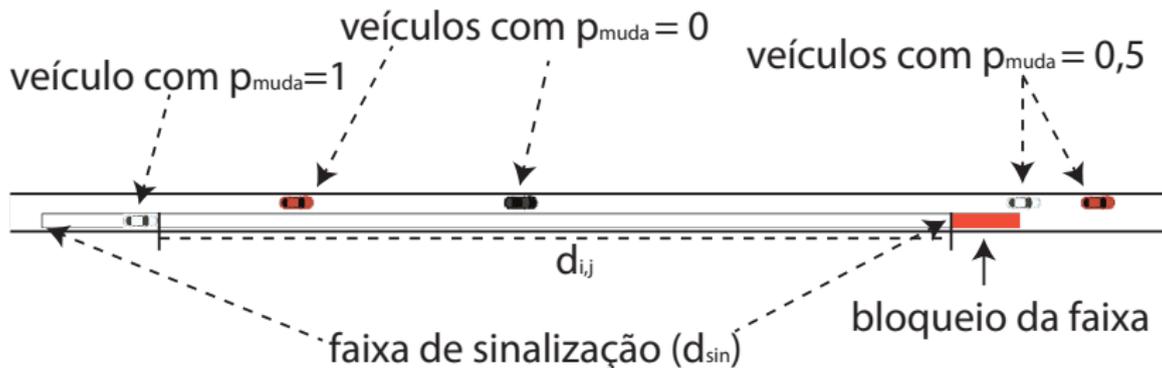
Estudo de caso: via interditada

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



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

Estudo de caso: via interdita

- Direita para esquerda:

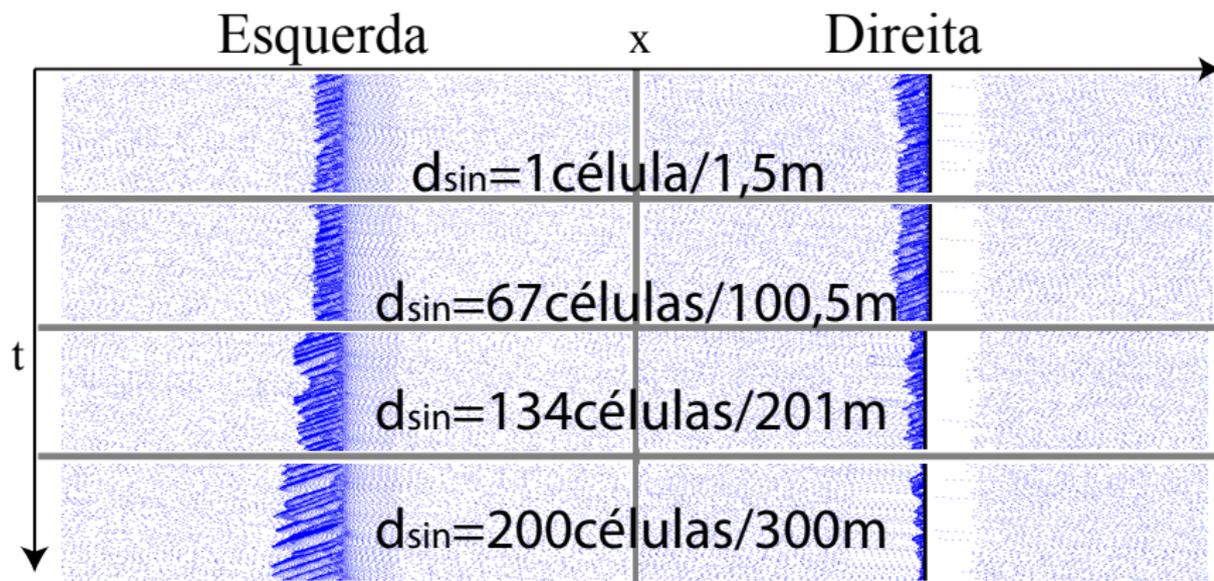
$$\blacktriangleright \left((h_i \times v_{i,j} > d_{is,j}) \wedge (v_{i,j} > d_{is,j-1}) \right) \vee (d_{i,j} \leq d_{sin})$$

- 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



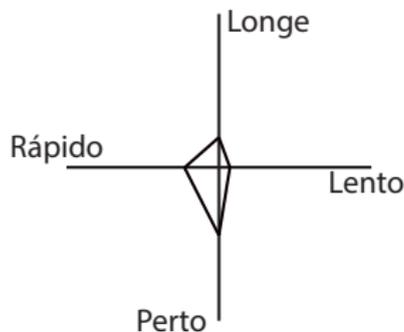
$$\rho = 11v/km$$

T-UFF: Múltiplas Faixas

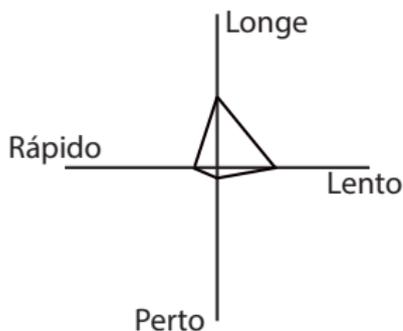
- Características inerentes a uma via com múltiplas faixas.
- Flutuação no procedimento de mudança de faixa (regras de motivação e regras de segurança).
- Reprodução das três fases do fluxo, efeito *ping-pong* e inversão do uso da faixa.

T-UFF com Comportamentos de Motoristas

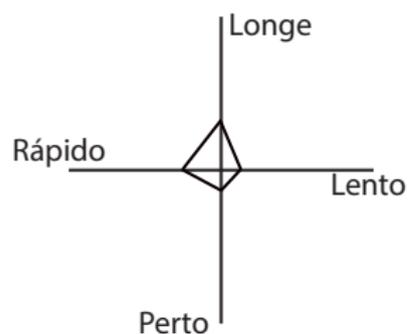
T-UFF: Comportamentos de Motoristas



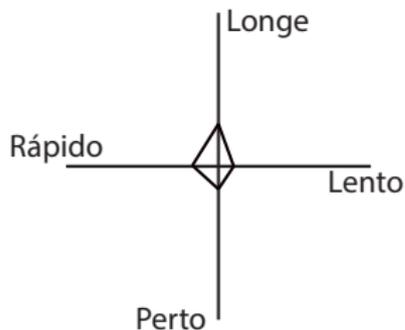
Hunter/Tailgater - Ousado



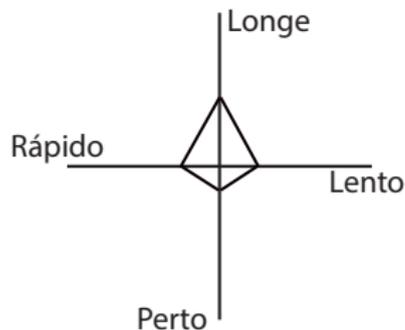
Ultraconservative - Lento



Planner - Estrategista



Flow conformist - Padrão

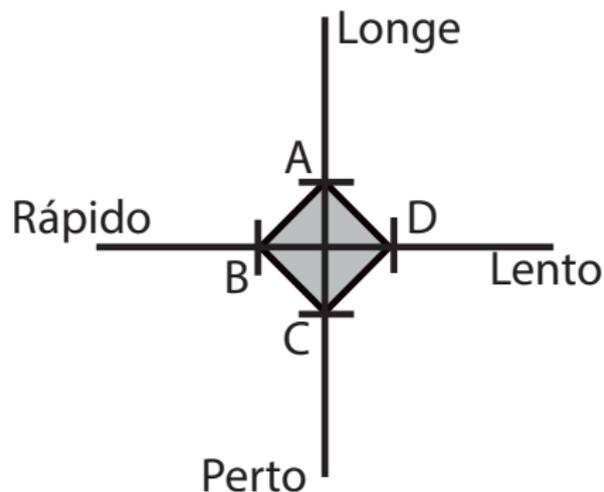


Extremist - Equilibrado

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

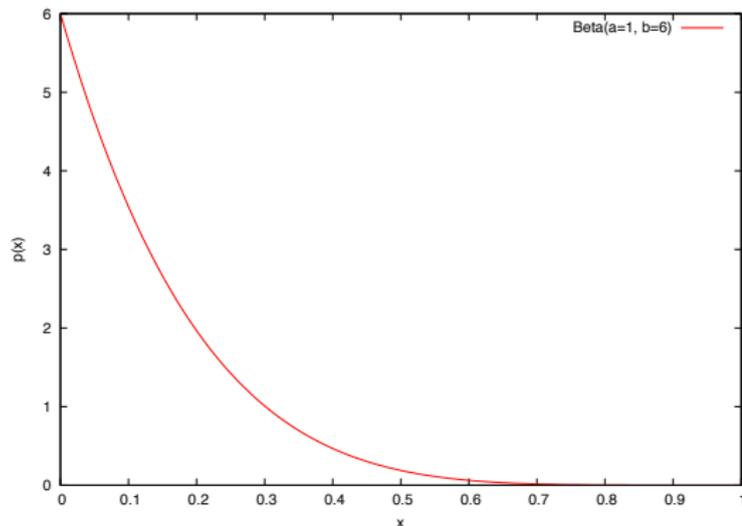
Classificação do motorista no modelo T-UFF:

- **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*:

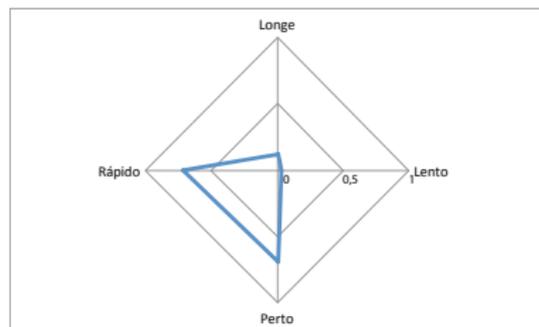
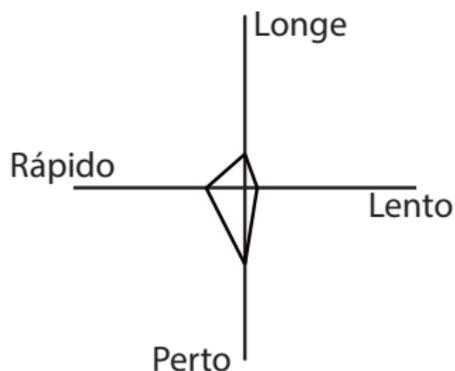
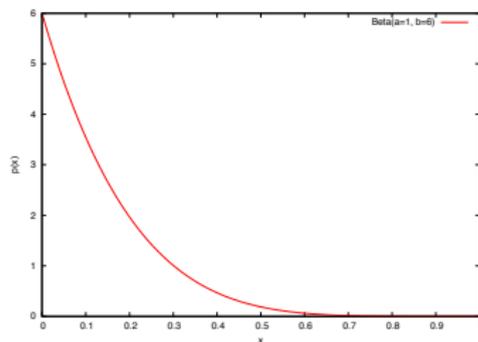
- Percepção da distância e ajuste de velocidade:
FDP $Beta(a = 1, b = 6)$.
- Valores de $\alpha \rightarrow 0$.



T-UFF: Comportamentos de Motoristas

Comportamento do motorista *ousado*:

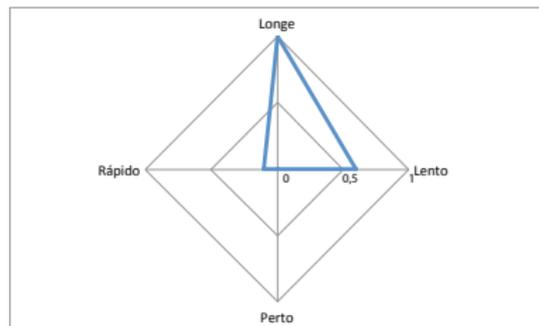
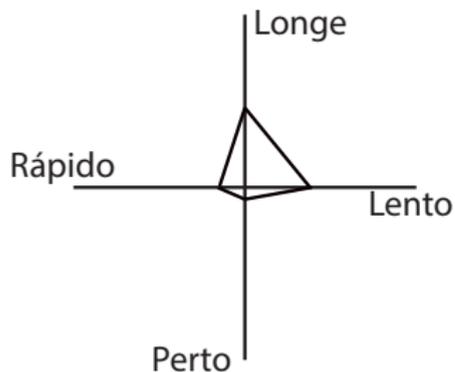
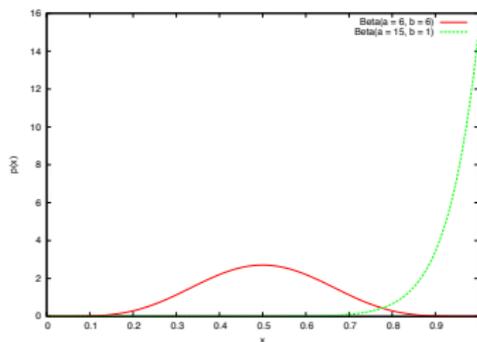
- Percepção da distância e ajuste de velocidade: FDP $Beta(a = 1, b = 6)$.
- Valores de $\alpha \rightarrow 0$.



T-UFF: Comportamentos de Motoristas

Comportamento do motorista *lento*:

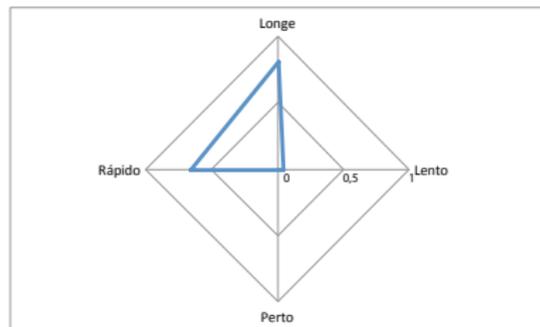
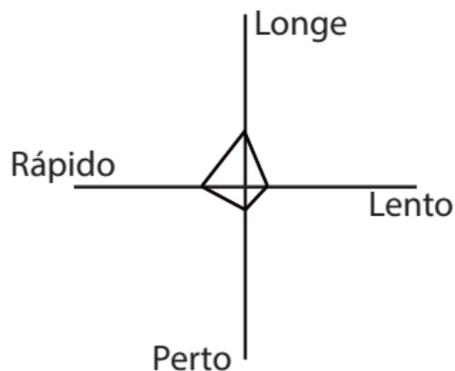
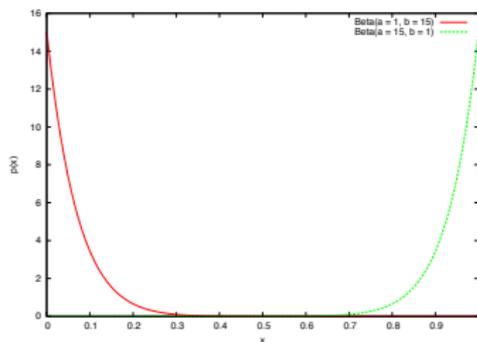
- Percepção da distância : FDP
 $Beta(a = 15, b = 1)$.
- Valores de $\alpha \rightarrow 1$.
- ajuste de velocidade: FDP
 $Beta(a = 6, b = 6)$.
- Valores de $\alpha \rightarrow 0,5$.



T-UFF: Comportamentos de Motoristas

Comportamento do motorista *estrategista*:

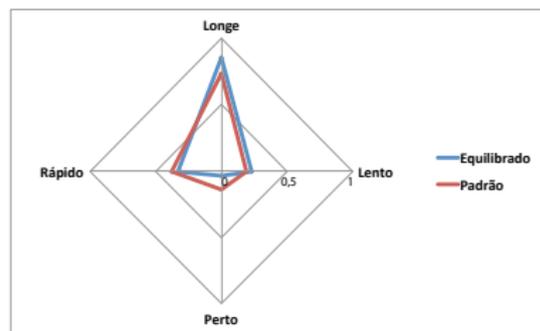
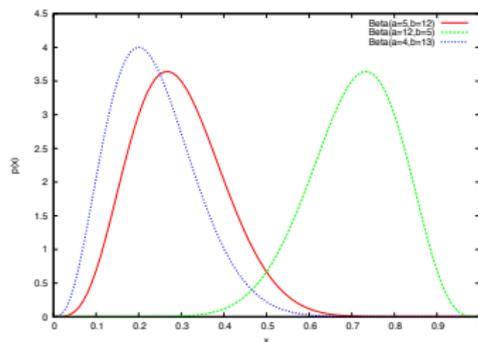
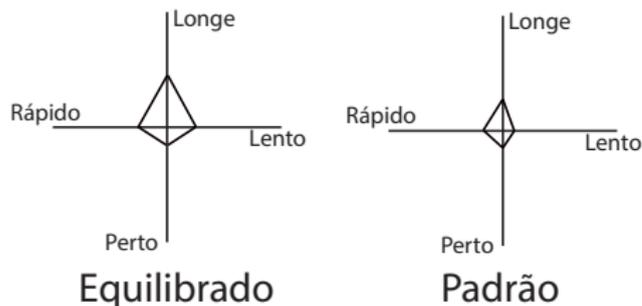
- Percepção da distância : FDP
 $Beta(a = 15, b = 1)$.
- Valores de $\alpha \rightarrow 1$.
- ajuste de velocidade: FDP
 $Beta(a = 1, b = 15)$.
- Valores de $\alpha \rightarrow 0$.



T-UFF: Comportamentos de Motoristas

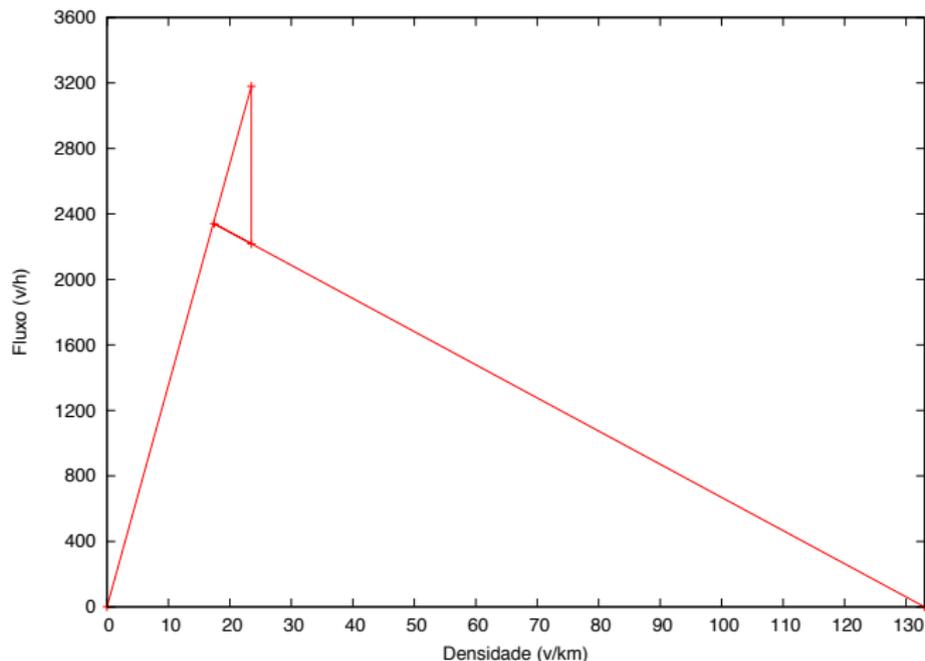
Comportamentos do motorista *equilibrado* e motorista *padrão*:

- 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 $\alpha \rightarrow 0.2$.



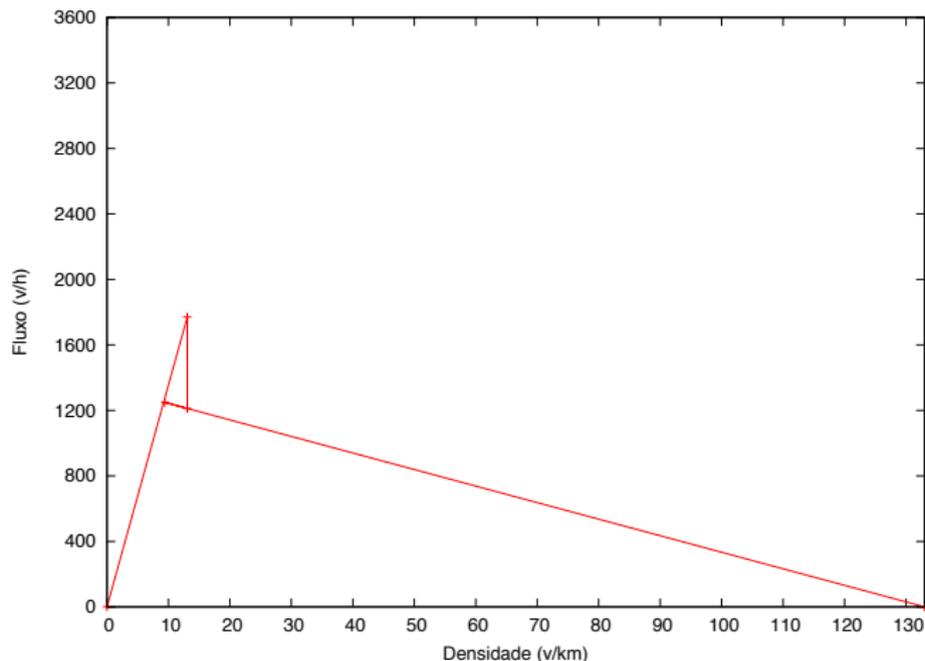
T-UFF: Comportamentos de Motoristas

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



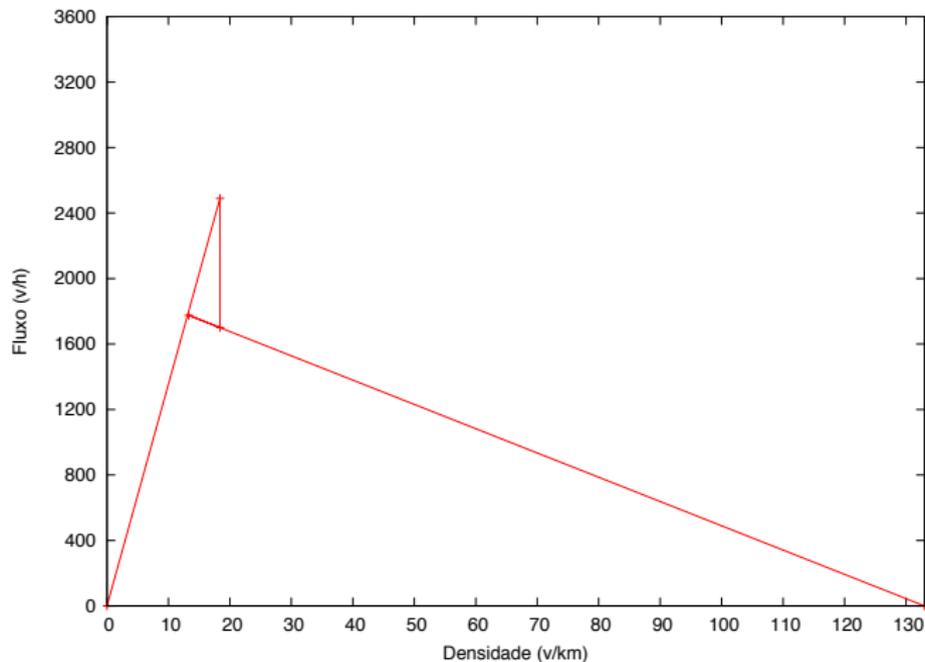
T-UFF: Comportamentos de Motoristas

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



T-UFF: Comportamentos de Motoristas

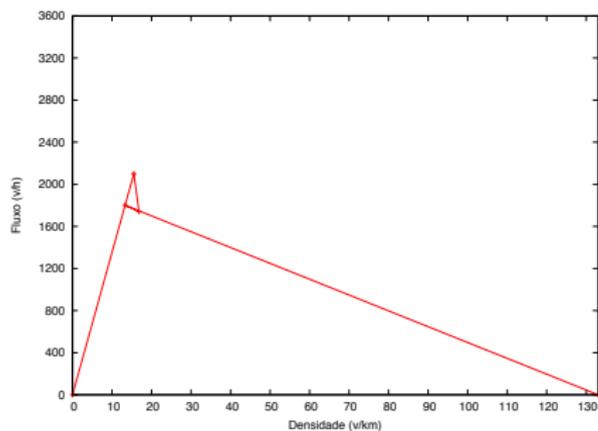
Diagrama fluxo-densidade do comportamento do motorista *estrategista*:



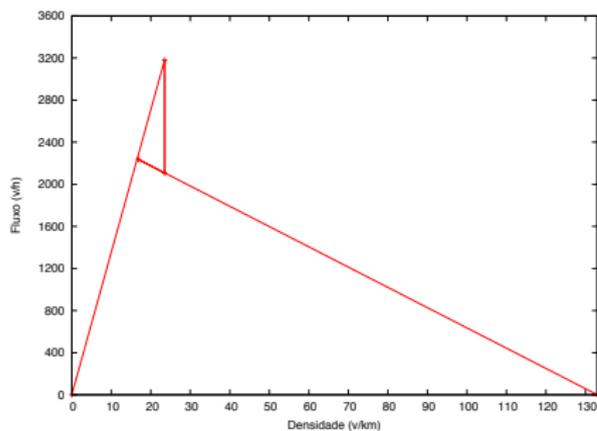
T-UFF: Comportamentos de Motoristas

Diagrama fluxo-densidade

Motorista *equilibrado*



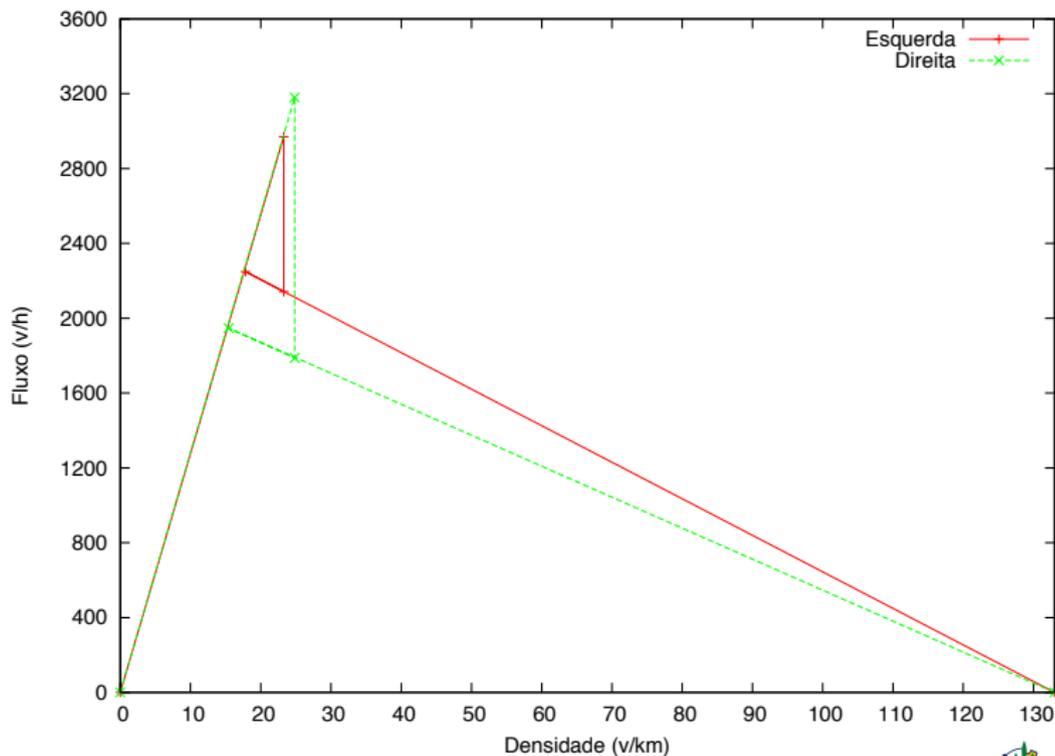
Motorista *padrão*:



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

