

# Um Processo para Avaliação de Balanceamento de Carga em Redes de Transporte Veicular Utilizando Adaptação Heurística

Maicon de B. do Amarante<sup>1</sup>, Ana L. C. Bazzan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Informática – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)  
Caixa Postal 15.064 – 91.501-970 – Porto Alegre – RS – Brazil

{mbamarante,bazzan}@inf.ufrgs.br

**Abstract.** *This paper describes the m-PATH, a process to guide the deploy and evaluation of the load balancing in vehicular traffic networks using a multi-agent approach capable to investigate microscopically the interaction between supply, demand and the specific behavior drivers, here treated as autonomous agents capable of perceiving state of the environment and adapt to it using heuristic replanning.*

**Resumo.** *Este artigo descreve o m-PATH, um processo para guiar a execução e avaliação do balanceamento de carga em redes de tráfego veicular, utilizando uma abordagem multiagente capaz de investigar microscopicamente a interação entre oferta, demanda e as particularidades do comportamento dos motoristas, aqui tratados como agentes autônomos capazes de perceber o estado do ambiente e se adaptar a ele utilizando replanejamento heurístico.*

## 1. Um desafio para as cidades inteligentes

A partir da segunda metade do século XX nos deparamos com o fenômeno do congestionamento, decorrente do rápido aumento da demanda por todos os meios de transporte. Este problema só tende a se agravar já que sistemas de transporte (vistos como um todo) têm um grande impacto na economia mundial. No caso do transporte veicular em particular, é notório que a demanda por mobilidade é uma das características da nossa sociedade. O impacto direto e indireto dos congestionamentos em áreas urbanas e interurbanas é imenso e resulta em custos que podem atingir até 1% do Produto Nacional Bruto (PNB).

Cotidianamente os motoristas trafegam de casa para o trabalho, esperando chegar aos seus destinos dentro do tempo estimado. Com este propósito, tomam decisões individuais sobre quais rotas usar, sem obedecer a nenhum tipo de coordenação, o que provavelmente leva ao uso balanceado da Rede de Tráfego Veicular (RTV). Entretanto, um estado de tráfego balanceado é de interesse coletivo, já que permite reduzir os tempos médios de viagem, beneficiando o sistema como um todo.

As cidades inteligentes terão que lidar com o problema dos congestionamentos com rapidez e baixo custo. Isto exige a descentralização das soluções, aproveitando a crescente capacidade computacional dos dispositivos móveis e dos sistemas embarcados. Para contribuir com a solução, propomos o *m-PATH*, um processo heurístico para guiar a execução e avaliação do balanceamento de carga em RTV's, utilizando uma abordagem multiagente capaz de investigar microscopicamente a interação entre oferta, demanda e o comportamento dos motoristas.

## 2. Discussões sobre este desafio

Assim como o *m*-PATH, muitas investigações abordam o problema dos congestionamentos. Recentemente [Zheng and Chen 2011] propuseram um modelo que utiliza funções de *payoff* capazes de refletir a heterogeneidade dos agentes, e também de medir o custo inerente a falta de coordenação. [Galib and Moser 2011] procuram contornar a falta de coordenação através da ação individual dos motoristas assistida pelo algoritmo *minority game*. Em [Tumer and Wolpert 2004], os pesquisadores utilizam um *framework* de sistemas coletivos para discutir o alinhamento do sistema com as preferências dos agentes no intuito de reduzir o congestionamento. [Klügl and Bazzan 2004] investigam os efeitos da comunicação, buscando formas eficientes de prever os volumes de tráfego em redes veiculares.

Estes e outros trabalhos estão fundamentalmente preocupados com o problema dos congestionamentos que desafia as cidades inteligentes. Estas investigações, assim como o *m*-PATH, sugerem a existência de uma interação *ambiente* ↔ *motorista* ↔ *ambiente* que precisa ser melhor estudada. Mas diferentemente destas e de outras abordagens, o *m*-PATH pretende fazer isso em um nível microscópico, aproximando os modelos computacionais das cidades de hoje, e das que esperamos encontrar no futuro.

## 3. *m*-PATH: proposta e arquitetura

O *m*-PATH - Processo para Avaliação de balanceamento de carga em redes de Transporte veicular utilizando adaptação Heurística, baseado em sistemas *multiagente* - propõem um processo (abordagem) e uma arquitetura. Respectivamente, abordagem e arquitetura, serão apresentadas nas Seções 3.1 e 3.2.

### 3.1. Abordagem proposta

O *m*-PATH é um processo para guiar a execução e avaliação do balanceamento de carga em RTV's, utilizando adaptação heurística do replanejamento durante a viagem. O principal objetivo do *m*-PATH é investigar a interação entre a percepção que o agente possui do tráfego e a consequente adaptação através da mudança de rota durante a viagem. A Figura 1(a) apresenta um ciclo onde o estado do ambiente influencia na percepção do agente, e a ação do agente influencia no estado do ambiente. Através do *m*-PATH espera-se responder a seguinte questão: *Conforme as condições de oferta e demanda do ambiente, e de percepção/ação dos agentes que trafegam na RTV, como será o balanceamento de carga nesta RTV?*

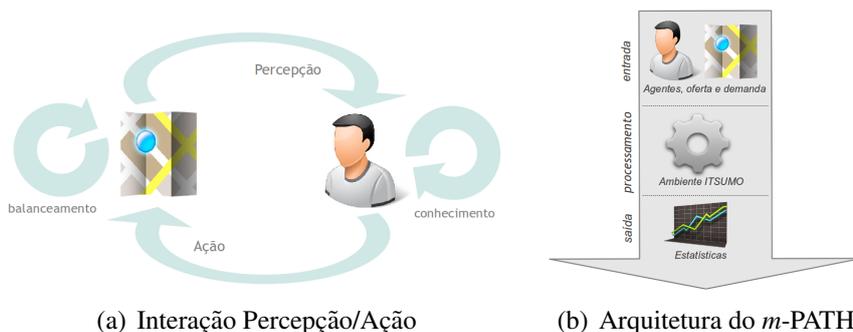


Figura 1. Abordagem e Arquitetura do *m*-PATH

O processo proposto pelo *m*-PATH consiste de um fluxo de atividades que possui como *entradas* as características da rede de tráfego em nível de oferta (RTV) e demanda (viagens) e das características que definem o comportamento dos agentes. O *processamento* prevê a atuação dos agentes em um nível que seja possível considerar suas particularidades de ação e percepção, assim como as particularidades da própria RTV (vias, pistas, semáforos, cruzamentos, etc). Este nível de detalhamento exige o uso de um modelo microscópico de simulação, onde o agente (motorista) atua sobre o ambiente, trafegando e percebendo o tráfego na RTV, para então atuar e se adaptar, replanejando sua rota durante a viagem.

Os agentes são caracterizados por sua *capacidade de percepção* do estado da RTV e sua *capacidade de ação* de replanejar a rota durante a viagem. A percepção poderá ser completa, parcial ou parcial estendida pela comunicação veículo-a-veículo (V2V). Agentes com percepção completa conhecem o estado de toda a RTV. Os que possuem percepção parcial, conhecem o estado das arestas por onde trafegaram. Os agentes com percepção parcial estendida pela comunicação, possuem ainda, a capacidade de receber informações sobre o estado da rede através de outros agentes. Combinando estas três capacidades de percepção com a habilidade/inabilidade (ação) de replanejar as rotas durante a viagem, teremos seis tipos de agentes que contemplam a abordagem do *m*-PATH. O *m*-PATH prevê um método heurístico para o replanejamento de rotas durante a viagem, baseado no atraso do agente, que será detalhado no final da Seção 3.2.

A Tabela 1 mostra as combinações e os tipos de agentes daí provenientes.

**Tabela 1. Tipos de agentes do *m*-PATH.**

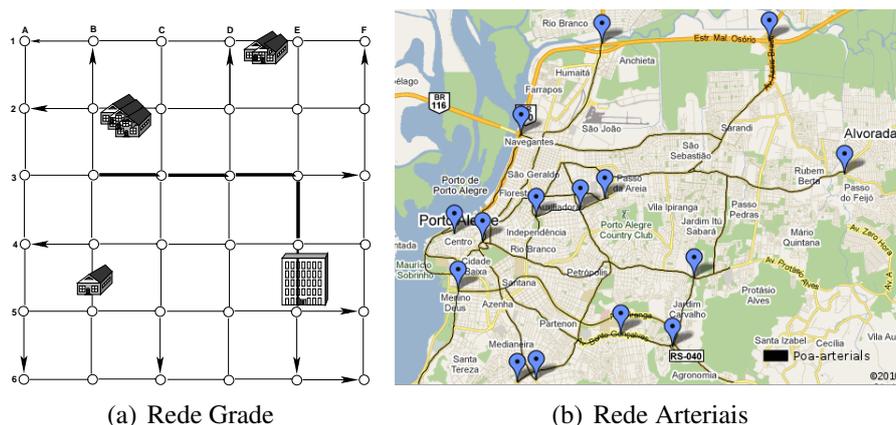
Percepção	Replanejamento	Nickname
Completa	Não	F
	Sim	FR
Parcial	Não	P
	Sim	PR
Parcial e Comunicação	Não	PC
	Sim	PCR

As diferentes capacidades de percepção estão combinadas alternadamente com e sem a capacidade dos agentes replanejarem suas rotas durante a viagem. Deste modo, é possível verificar o impacto que a percepção do agente exerce com e sem a possibilidade de replanejar as rotas durante a viagem. Isso permitirá responder o quanto um determinado tipo de agente é influenciado pela capacidade de replanejar rotas.

### 3.2. Arquitetura

O *m*-PATH possui uma arquitetura com três níveis operacionais dispostos de acordo com a Figura 1(b), que obedece a estrutura do processo apresentada na Seção 3.1. Cada nível representa um nível do processo, dividido em entrada, processamento e saída. O nível de *entrada* compreende os agentes, a oferta e a demanda. O nível de *processamento* é o ambiente onde os elementos do nível de entrada interagem, o simulador ITSUMO. Finalmente, no nível de *saída*, os resultados serão extraídos para que sejam geradas as estatísticas.

Para representação da oferta foram utilizadas duas RTV's, uma topologia estilo *Manhattan Street* (grafo grade 6x6), aqui chamada de Grade, demonstrada pela Figura



**Figura 2. Infraestrutura de Oferta**

2(a). A segunda é uma representação de algumas vias arteriais da cidade de Porto Alegre/RS, aqui chamada de Arteriais, cuja região do mapa utilizada para criação da RTV é demonstrada pela Figura 2(b). Ambas possuem um número relativamente grande de rotas possíveis, em conformidade com as necessidades propostas nesta abordagem. A demanda é composta por um conjunto de viagens, que são representadas pelos seus pontos de origem e destino. A geração da demanda consiste em escolher estes nodos a partir de distribuições de probabilidades. Esta demanda é gerada com base em uma matriz OD, e poderá ser de dois tipos: gerada com probabilidades arbitrariamente determinadas (demanda OD), ou gerada com probabilidades uniformemente distribuídas entre todos os nodos da rede (demanda uniforme).

A demanda OD para a rede Grade parte do pressuposto que há uma grande área comercial no nodo E4E5 que concentra os destinos, e que há três áreas residenciais principais nos nodos B5B4, E1D1 e C2B2, que concentram as origens. Já demanda OD da rede Arteriais partiu da escolha das 15 áreas demarcadas na Figura 2(b), representando pontos que concentram grande parte das origens e destinos dos motoristas que trafegam diariamente de casa para o trabalho.

Os agentes utilizam o algoritmo A\* para obter a rota que liga a origem ao destino, inclusive nos replanejamentos durante a viagem. A sua percepção do tráfego reflete o estado das arestas da RTV definido através de uma função de custo baseada na ocupação da aresta. Utilizando a percepção completa, o agente conhece os custos de todas as arestas da RTV. Com a percepção parcial, irá considerar os custos apenas das arestas por onde trafegou. A percepção parcial poderá ser estendida pela comunicação V2V, quando o agente (receptor) pede informações aos demais agentes ao seu redor sobre o estado da RTV.

No nível de processamento, foi utilizado o ITSUMO, *Intelligent Transportation System for Urban Mobility*, uma ferramenta de código aberto que permite modelar os atores do tráfego (motoristas, semáforos, e até mesmo veículos autônomos) como agentes autônomos; lida com controle semafórico e com replanejamento durante a viagem, permitindo até mesmo estudar a interação entre ambos, demanda e oferta. Em [Bazzan et al. 2011] há uma descrição detalhada do ITSUMO.

Devido a sua relevância, é importante detalhar a heurística de replanejamento du-

rante a viagem utilizada pelo  $m$ -PATH. Este mecanismo é baseado no chamado **fator de atraso** (DR). Quando o agente atinge a aresta  $e^i \in \mathcal{P}^j$ , onde  $\mathcal{P}^j$  é a rota calculada no início da viagem do agente  $j$ , o agente irá avaliar o quanto está atrasado em comparação ao tempo estimado. Se o tempo gasto até o momento é  $\tau$  vezes maior que o esperado, então o motorista irá replanejar. Em nossos experimentos,  $\tau=3$ , o que equivale a três vezes atrasado em relação ao tempo previsto (em *steps*). Foi escolhido este valor para evitar replanejamentos que não reduziriam o tempo médio de viagem dos agentes ( $\tau < 3$ ), e para que não fosse ignorada uma grande quantidade de replanejamentos que teriam um impacto positivo se fossem realizados ( $\tau > 3$ ).

#### 4. Resultados preliminares

Os experimentos foram realizados nas RTV's Grade, com demanda de 4200, 6000 e 8000 viagens, e Arteriais, com 20, 30 e 40 mil viagens. A análise dos resultados está organizada através de uma estratégia *bottom-up*, partindo de uma visão detalhada dos resultados para construir uma visão global. Desta forma é possível identificar comportamentos individuais e a partir daí generalizar padrões de comportamento coletivos. Esta estratégia de análise está representada por três níveis de uma árvore: a oferta (raiz), a similaridade de ação e de percepção dos agentes (nível intermediário), e a demanda (folhas). Devido a restrição de espaço, iremos discutir apenas algumas generalizações encontradas até o momento, conforme o tipo de agente.

**Agentes F:** este tipo de agente tem um bom desempenho (tempo médio de viagem menor que os demais tipos) apenas em viagens curtas, piorando rapidamente em viagens longas. Isto demonstra que a visão completa do estado da rede tende a criar áreas de interesse comum na RTV, para onde os agentes acabam trafegando simultaneamente. **Agentes FR:** há uma tendência do replanejamento melhorar o desempenho da percepção completa a medida que as viagens ficam mais longas, diminuindo a distância percorrida e tempo de percurso. Entretanto, mesmo obtendo resultados melhores que os agentes F, o desempenho do replanejamento para estes agentes é inferior aos de percepção parcial com capacidade de replanejamento (PR e PCR).

**Agentes P:** se comparados com agentes que replanejam suas rotas, possuem um desempenho melhor em viagens curtas. Se comparados com agentes que não replanejam, seu desempenho tende a melhorar a medida que as viagens ficam mais longas. Ao contrário do que ocorria com os agentes F, a visão parcial do estado da rede inibe o surgimento de áreas de interesse comum, o que melhora o desempenho destes agentes. **Agentes PR:** tem um bom desempenho tanto em viagens curtas quanto nas longas, mas nitidamente são superiores a percepção global a medida que as viagens ficam mais longas.

**Agentes PC:** tendem a melhorar seu desempenho a medida que as viagens ficam mais longas, ainda que sejam inferiores aos agentes PCR. Seu desempenho é superior se comparado com outros agentes sem capacidade de replanejamento, o que demonstra a importância da comunicação V2V para estes agentes. **Agentes PCR:** em geral, tem o melhor desempenho que qualquer tipo de agente a medida que as viagens ficam mais longas. Além da notável superioridade em viagens longas, os agentes PCR conseguem manter um desempenho equilibrado em todas as classes.

Um comportamento observado, e que merece nossa atenção, é a interação oferta-demanda quando analisadas sob a ótica do replanejamento durante a viagem. Na rede

Grade os agentes com percepção completa ou parcial tem um desempenho melhor ao replanejar em condições de demanda uniforme. Entretanto, na rede Arteriais, estes agentes tem um desempenho melhor ao replanejar na demanda OD. Esta observação evidencia a importância de considerarmos a natureza das condições de oferta e demanda do ambiente, antes de adotarmos políticas ou tecnologias que não são adequadas ao ambiente.

## 5. No caminho da solução

As cidades inteligentes têm como grande desafio lidar com a crescente demanda por mobilidade, e conseqüentemente os congestionamentos por ela causados. Instrumentos que permitam avaliar as soluções de um ponto de vista descentralizado e mostrando resultados em nível microscópico, são imprescindíveis. Através das observações realizadas até o momento através do *m*-PATH, estamos cientes da sua utilidade para contribuir neste desafio.

Foi possível evidenciar que a informação sobre o estado da rede, sua topologia e características de demanda tem um impacto muito grande no desempenho dos motoristas. Podemos perceber que há situações em que a informação detalhada sobre o estado da rede será prejudicial para os motoristas. Também podemos evidenciar que o replanejamento de viagem via de regra é benéfico em viagens longas, e contribui pouco em viagens curtas. Podemos ainda verificar a importância da comunicação V2V, e o acréscimo no desempenho dos motoristas proporcionado por esta técnica. As conclusões realizadas até o momento, nos permitem dizer que a inteligência de que as cidades precisam começa a partir de análises, em níveis cada vez mais detalhados, para que as soluções possam atacar efetivamente *onde* e *como* os problemas exigem.

## Referências

- Bazzan, A. L. C., de B. do Amarante, M., Azzi, G. G., Benavides, A. J., Buriol, L. S., Moura, L., Ritt, M. P., and Sommer, T. (2011). Extending traffic simulation based on cellular automata: from particles to autonomous agents. In Burczynski, T., Kolodziej, J., Byrski, A., and Carvalho, M., editors, *Proc. of the Agent-Based Simulation (ABS / ECMS 2011)*, pages 91–97, Krakow. ECMS.
- Galib, S. M. and Moser, I. (2011). Road traffic optimisation using an evolutionary game. In *Proceedings of the 13th annual conference companion on Genetic and evolutionary computation, GECCO '11*, pages 519–526, New York, NY, USA. ACM.
- Klügl, F. and Bazzan, A. L. C. (2004). Simulated route decision behaviour: Simple heuristics and adaptation. In Selten, R. and Schreckenberg, M., editors, *Human Behaviour and Traffic Networks*, pages 285–304. Springer.
- Tumer, K. and Wolpert, D. (2004). A survey of collective intelligence. In Tumer, K. and Wolpert, D., editors, *Collectives and the Design of Complex Systems*, pages 1–42. Springer.
- Zheng, C. and Chen, Y. (2011). Price of anarchy in transportation networks with heterogeneous agents. In *Proceedings of the 2011 Fourth International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization, CSO '11*, pages 56–60, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.