

## **SIMULAÇÃO BASEADA EM AGENTES INTELIGENTES: UM PROTÓTIPO APLICADO EM ESTUDOS DE MOBILIDADE URBANA**

Maria Aparecida Fernandes Almeida<sup>1</sup>

Carolina dos Santos Nunan<sup>2</sup>

### **RESUMO**

A Simulação Baseada em Agentes (SBA) tem se mostrado como uma ferramenta poderosa para tomada de decisões em Logística e Transporte. Este trabalho apresenta a aplicação da SBA na Modelagem de Fluxos de Tráfego Urbano na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). Os dados para Simulação do Tempo Médio de Deslocamento foram obtidos da Pesquisa Origem-Destino 2012 da Empresa de Transportes de Belo Horizonte (BHTRANS). Foram desenvolvidas experimentações utilizando a modelagem de Sistemas a Eventos Discretos com entidades individuais representando pessoas, automóveis, ônibus, bicicletas, caminhões e modais de transporte público que se deslocam entre os centros de duas cidades da RMBH. A modelagem foi ampliada com a criação de uma população de Agentes de Tráfego definidos em uma topologia de um Sistema de Informações Geográficas (GIS) real. Com o uso de software de modelagem foi feita a comparação dos Tempos de Deslocamentos dos dois modelos. O estudo conclui que a modelagem de Agentes é mais adequada a estudos de Mobilidade Urbana por ser mais realística. Ao contrário de abordagens centradas em indivíduos que atuam isoladamente nos fluxos, a SBA considera as interações internas e externas de uma população de atores que influenciam no desempenho de sistemas de fluxos.

**Palavras-chaves:** Simulação, Agentes Inteligentes, Mobilidade Urbana

---

1 – Professora Doutora, Pesquisadora em Pesquisa Operacional - Simulação do Departamento de Engenharia de Produção, Instituto Politécnico, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

2 – Professora Doutora, Pesquisadora em Logística e Mobilidade Urbana do Instituto de Ciências Gerenciais da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

## 1 INTRODUÇÃO

Os resultados da Pesquisa Origem e Destino 2012 mostram que são realizadas mais de 13 milhões de viagens por dia na Região Metropolitana de Belo Horizonte. Apesar de possuir vários sistemas de transporte, 31% das viagens são realizadas pelo modo individual (carro ou moto), que já alcançou o modo público coletivo. Os reflexos desta divisão modal são percebidos diariamente na dificuldade de deslocamento de todos os indivíduos. O tempo médio das viagens pelo modo coletivo, segundo a pesquisa, é de 62 minutos. Um dos esforços para mudar este panorama é a criação dos planos de mobilidade integrados ao planejamento do uso e ocupação do solo. Segundo o Plan Mob BH (Plano de Mobilidade da Região Metropolitana de Belo Horizonte (LOGIT, 2009) “o impacto do congestionamento urbano sobre o transporte coletivo pode ocorrer de formas distintas. O congestionamento, ao tornar o ônibus mais lento e menos confiável (por gerar uma grande variabilidade nos tempos de viagem), não só aumenta os custos operacionais do sistema e os custos generalizados de deslocamento dos usuários cativos, como incentiva a transferência para o automóvel o que, por sua vez, gera mais congestionamento viário”.

Outra faceta a ser considerada no Plano de Mobilidade é a redução da capacidade viária destinada ao tráfego geral, transferindo-a não somente para o transporte coletivo como também para o transporte não motorizado. Entretanto, torna-se necessário observar que grandes concentrações de fluxo também dependem de localizações na malha viária de escolas, hospitais, comércio, indústrias. Os testes de alternativas de cenários (mudanças de sentido de tráfego, especificação de fluxo, utilização de rotas alternativas, mudanças de tempos em semáforos, análise de fluxos aleatórios, entre outras) são impossíveis e dispendiosos no mundo real. Assim é possível lançar mão de modelos matemáticos e computacionais que visam auxiliar na tomada de decisões a respeito de sistemas complexos.

A Simulação de Sistemas é um método de testar cenários e comparar os resultados a fim de se ter a melhor decisão. Uma vez que o modelo de simulação tenha sido definido a otimização pode ser alcançada através de um processo iterativo, no caso de um sistema simples, mas esta se torna difícil quando a complexidade do sistema aumenta (MIHAITA, 2014).

A simulação do fluxo de tráfego é uma ferramenta poderosa para a análise, a reprodução e a previsão de uma grande variedade de problemas, o que seria de difícil análise com testes reais de tráfego.

Na atualidade, as simulações de Fluxo de Tráfego e Transportes utilizam modelos de Sistemas a Eventos Discretos (SED). Entretanto, a análise por SED considera apenas as entidades de fluxo de forma individualizada, isto é, cada veículo em um fluxo é considerado por si só, sem a interação com outros e com o ambiente. Este trabalho propõe o uso da Simulação Baseada em Agentes (SBA).

Em sistemas de transportes, um grande número de entidades autônomas tais como passageiros, motoristas ou operadores que buscam seus objetivos dentro de um contexto de compartilhamento e capacidade restrita da infraestrutura. As entidades individuais interagem entre si e com a infraestrutura de transporte (com filas e junções) e produzem comportamentos complexos, globais e emergentes (congestionamentos). Em sistemas de transporte tradicionais as interações entre entidades são mais implícitas, mediadas pelo ambiente de transporte. As interações implícitas são complementadas pelas interações explícitas que conduzem o comportamento global do sistema. A simulação de fluxo de tráfego é uma boa reprodução da situação da vida real.

A hipótese central deste trabalho é que na utilização de agentes emerge o comportamento global do sistema. O tempo de viagem de um veículo não depende somente dele mesmo conforme proposto na modelagem SED, mas de outros veículos, de pessoas, das condições de infra-estrutura da malha viária e de outras variáveis não facilmente identificáveis.

Este artigo está organizado como se segue. Esta seção 1 apresenta uma visão geral sobre o trabalho. A seção 2 apresenta o referencial teórico sobre os modelos de simulação de agentes, de mobilidade urbana e de fluxos de tráfego para entendimento da pesquisa. A seção 3 apresenta a metodologia utilizada. A seção 4 apresenta a aplicação da modelagem de agentes na simulação de tempos de deslocamentos de indivíduos usuários de diversos modais de transporte entre duas cidades da região metropolitana de Belo Horizonte. A seção 5 apresenta a conclusão do artigo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Modelos de Simulação

Nos últimos 50 anos da história da Simulação foram desenvolvidos diversos tipos de visões do mundo: eventos, processos e objetos. Desde as pesquisas pioneiras (NADOLI, 1993) até a atualidade estas visões não mudaram muito. Entretanto, novos paradigmas de modelagens múltiplas surgiram nas últimas duas décadas, entre eles o uso da Inteligência Artificial (IA).

IA é o estudo de como construir sistemas de computador que exibem inteligência de alguma maneira. A combinação da IA com a Simulação resultou em muitos avanços na área de manufatura, logística, análise econômica, entre outras; para a resolução de problemas complexos. Os modelos podem ser híbridos compostos de Simulação a Eventos Discretos (SED), Dinâmica de Sistemas (DS) e Agentes Inteligentes (AI) originando o que é denominado atualmente de Múltiplos Métodos de Simulação (MMS).

Na Simulação a Eventos Discretos (SED), a operação do sistema é representada como uma sequência cronológica de eventos discretos. O estado muda no modelo em pontos aleatórios de um espaço discreto no tempo. O tempo representa tempos de atividades, atrasos e entidades que competem por recursos do sistema (FRANKLIN, 2012).

A Dinâmica de Sistemas (DS) foi desenvolvida por Jay W. Forrester na década de 1950 (GRIGORYEV, 2014). A *System Dynamics* "estuda as características de realimentação da atividade industrial para mostrar como a estrutura organizacional, a amplificação (em políticas) e os atrasos de tempo (em decisões e ações) interagem para influenciar o sucesso de a empresa".

Em DS, duas formas de modelagem são empregadas para caracterizar um sistema:

- Abordagem *Soft*: é baseada nos diagramas de enlaces causais utilizando-se de uma perspectiva mais qualitativa. A modelagem *Soft* é fundamentada em crenças e suposições do modelador sobre como o sistema trabalha.
- Abordagem *Hard*: se caracteriza por utilizar diagramas de fluxo e estoque, fornecendo uma perspectiva mais quantitativa. O modelo *Hard* surge a partir do diagrama de enlace causal.

Para abordar um problema com DS é preciso descrever o comportamento do sistema como um número de laços de realimentação interativos, equilibrando ou reforçando e talvez atrasando estruturas (BORSHCHEV, 2014). Uma análise pode ser subdividida em três etapas. Primeiro, a geração de um diagrama de causa e efeito, que será transferido para um diagrama de estoque e fluxo em uma segunda etapa e, finalmente, a formulação de um modelo matemático. Para transferir o diagrama de laço causal para um diagrama de estoque e fluxo de simulação, os elementos devem ser distinguidos por seus atributos.

A Simulação baseada em Agentes (SBA) ou Modelagem baseada em Agentes (MBA) é método de modelagem computacional para simulação de processos dinâmicos que envolvem agentes autônomos. Um agente autônomo atua, por si só, sem direção externa em resposta a situações que encontra durante a simulação. Modelar uma população de agentes autônomos, cada qual com suas características e comportamentos próprios que interagem extensivamente é uma característica definidora de uma SAB (MACAL, 2014).

Segundo Macal (2014) a SBA traz a noção de comportamento, tomada de decisão e interação aplicada na modelagem de diferentes sistemas. Os agentes podem representar pessoas ou grupos de pessoas. As relações entre os agentes representam processos de interação social.

Uma SBA pode ser utilizada, por exemplo, para modelar a transmissão de doenças infecciosas para se entender os padrões de transmissão pelo contato de indivíduos com outros. A estrutura típica de um modelo baseado em agentes é sintetizada por Macal (2014) como sendo composta por:

- Agentes, seus atributos e comportamentos.
- Relacionamento entre agentes e métodos de interação. É o entendimento da topologia de conectividade que define como e com quais agentes existirá a interação;
- Ambiente do agente: os agentes vivem e interagem em seu ambiente, em soma com outros agentes.

Dependendo dos objetivos do projeto de simulação, dos dados disponíveis e da natureza do sistema que está sendo modelado - diferentes problemas podem exigir métodos

diferentes. Além disso, às vezes não é claro no início do projeto qual nível de abstração e qual método deve ser usado (BORSHCHEV, 2013).

O modelador pode começar com, por exemplo, um modelo de DS altamente abstrato e mudar mais tarde para um modelo SED mais detalhado. Ou, se o sistema é heterogêneo, os diferentes componentes podem ser descritos usando diferentes métodos, conforme encontrado em Borshchev (2013).

## 2.2. Modelos de Agentes

O termo Agente tem diversas definições nos mais diferentes campos de estudo. Por exemplo, na Ciência da Computação têm-se os Agentes de Software. Embora não haja um consenso universal na definição precisa para os tipos de agentes, os pesquisadores concordam que um objeto, um sistema computacional ou um programa pode ser classificado como agente se possui as seguintes propriedades (FRANKLIN, 2012), (MACAL, 2014):

- *Autonomia*: um agente deve ter algum controle sobre suas ações e deve trabalhar sem a intervenção humana (FRANKLIN, 2012). Um agente autônomo deve ser auto-dirigido. Pode funcionar independentemente de seu ambiente e suas interações com outros agentes. Falar sobre o comportamento de um agente é referir-se a um processo geral que liga as informações que o agente detecta de seu ambiente e das interações para suas decisões e ações (MACAL, 2014).
- *Sociabilidade*: ele deve ser capaz de se comunicar com outros agentes ou com operadores humanos.
- *Reatividade*: o agente deve ser capaz de perceber e reagir face às mudanças do seu ambiente.
- *Pró-atividade*: ele deve ter capacidade cognitiva e ser capaz de aprender pela experiência. Um agente não deve somente responder com uma reação a certo estímulo, mas deve tomar iniciativa como parte de um objetivo mais complexo dirigido ao comportamento.
- *Modularidade*: os agentes são modulares ou auto-contidos. Um agente é identificável, uma entidade discreta com um conjunto de características ou atributos, comportamentos e capacidade de tomada de decisões. O requisito da modularidade implica que o agente tem uma fronteira, que delimita se algo faz parte ou não desse

agente ou se possui uma característica que pode ser compartilhada com os agentes (MACAL, 2014).

- *Condicionalidade*: um agente tem um estado que varia ao longo do tempo. Assim como um sistema tem um estado que é um conjunto de suas variáveis de estado, um agente também tem um estado que representa sua condição, definida por variáveis essenciais associadas à sua situação atual. O estado de um agente consiste em um conjunto ou subconjunto de seus atributos e seus comportamentos. O estado de um modelo baseado em agentes é o estado coletivo de todos os agentes juntamente com o estado do ambiente. Os comportamentos de um agente estão condicionados ao seu estado. Como tal, quanto mais rico for o conjunto de estados possíveis de um agente, mais rico será o conjunto de comportamentos que ele pode ter (MACAL, 2014).

O conceito de modelagem baseada em agentes é a colocação de agentes no sistema e estes evoluem através da interação com outros agentes. A modelagem baseada em agentes utiliza ferramenta de simulação orientada a objetos. Portanto, não é um novo evento discreto na visão de mundo, mas um grupo de aplicações que são modelados com a visão de mundo de objetos. Classes são usadas para definir o estado do agente e comportamentos e instâncias são colocadas no modelo. Os agentes (objetos) interagem com o sistema e evoluem no tempo.

A Simulação Multi-agente com AI é uma abordagem “bottom-up” embora seja feita a análise das características dos indivíduos e comportamentos; o modelo das características dos indivíduos é estabelecido. O indivíduo é mapeado como agente e suas características individuais são mapeadas como propriedades destes agentes e o comportamento individual é mapeado como métodos dos agentes. É usada a simulação para os indivíduos independente de cada um e o fenômeno das interações pelo raciocínio auto-regulatório, comunicação e mecanismo de coordenação entre os agentes, então estudando a estrutura do sistema como sua função. Isto é o processo de reproduzir o sistema real de partes para o todo e do comportamento de cada indivíduo como o comportamento todo.

Segundo Labarthe (2007) um sistema Multi-agente exhibe comportamento auto-organizativo como resultado da aplicação de regras locais quando um padrão ou estrutura se forma como resultado de sua interação que não foi causada por um agente externo.

Franklin (2012) aponta outros atributos opcionais que podem estar contidos em um agente:

- *Adaptação*: Os agentes podem adaptar-se para mudanças em seu ambiente.
- *Mobilidade*: Um agente pode mover-se de um sistema a outro.
- *Cooperação e Colaboração*: os agentes podem em algumas circunstâncias trabalhar juntos em um evento específico, de maneira a atingir uma determinada meta. Cada agente, geralmente, se beneficia desta competição.
- *Negociação*: os agentes podem ser capazes de negociar uns com os outros, geralmente na forma de cooperação.

A modelagem baseada em agentes tornou-se uma ferramenta popular para entendimento de sistemas complexos (LABARTHE, 2007). É um dos métodos mais naturais de simular sistemas que contém entidades que exibem comportamentos complexos (FRANKLIN, 2012)

Macal (2014) apresenta as topologias mais comumente utilizadas para representar as interações entre os agentes:

- *Sopa ou Caldo (Soup)*: é um modelo não-espacial no qual os agentes não têm um atributo locacional;
- *Grade ou arranjo (Grid ou lattice)*: A localização do agente é feita em uma célula de uma grade ou matriz indexada. Por exemplo, nos Autômatos Celulares a representação dos padrões de interação e informação do local disponível em células em uma grade indexada;
- *Espaço Euclidiano*: os agentes estão dispostos em espaços 2D ou 3D. A localização de um agente é dada por suas coordenadas relativas ou geoespaciais;
- *Sistema de Informações Geográficas (GIS)*: os agentes se movem e interagem em caminhos de paisagens geoespaciais reais. A localização de um agente é uma unidade geográfica, por exemplo, o código postal ou por coordenadas geoespaciais;
- *Redes*: as redes podem ser estáticas (com links pré-especificados) ou dinâmicas

(links determinados endogenamente pela criação de mecanismos de relacionamento. A localização de um agente é a localização do nó relativo na rede;

A modelagem baseada em agentes é capaz de prever mais realisticamente o impacto global devido a pequenas mudanças nos comportamentos individuais.

Franklin (2012) enumera algumas áreas de aplicações desta modelagem:

- *Fluxos*: evacuação, tráfego, gerenciamento;
- *Mercados*: estoques, agentes de software, simulação estratégica;
- *Organizações*: riscos operacionais e projeto organizacional;
- *Difusão*: difusão da inovação e adoção de dinâmicas.

### **2.3 Modelos de Simulação em Mobilidade Urbana**

Os Modelos de Simulação têm sido aplicados com sucesso no planejamento de Mobilidade Urbana em diversos países com abordagens que merecem destaque. Carotenuto (2011) apresentou um modelo de simulação no subúrbio de Ostia-Acilia em Roma na Itália. Neste estudo, o modelo de simulação apontou a viabilidade de supressão do serviço regular de ônibus público é suprimido em certos dias, sendo substituído por serviços de ônibus em demanda. O objetivo da agência de transporte público foi a racionalizar o serviço reduzindo o número de veículos / km e melhorando o serviço em termos de confiabilidade e redução dos tempos de espera (CAROTENUTO; SEREBRIANYB; STORCHIC, 2011). Songy et al. (2015) apresentam um modelo de simulação de mobilidade urbana quando da ocorrência de terremotos no Japão.

Uma ampla faixa de modelos e teorias foi desenvolvida para responder os problemas de congestionamento no trânsito. Estes modelos são concebidos de acordo com a escala de aplicação (redes, ligações, interseções); a representação do processo (determinístico ou estocástico) ou escala de variáveis independentes (contínuas ou discretas).

### 2.3.1. Modelos de Fluxos

Os Modelos de Fluxos consideram as interações entre veículos e entre eles e seu ambiente envolvente. Estes modelos são classificados em modelos microscópicos, mesoscópicos e macroscópicos, dependendo do nível de detalhes fornecidos para a interação entre veículos. Estes modelos podem ser tanto modelos simples ou de múltiplas faixas que permitem as ultrapassagens de veículos. Neste caso, três peças devem ser avaliadas; necessidade do motorista para a mudança de faixa, a viabilidade de mudança de faixa e sua trajetória. Os modelos de fluxos mais realistas consideram os sinais de trânsito e limites de velocidade para a interação.

- *Modelos Microscópicos:* estes modelos são computacionalmente complexos. Eles fornecem modelagem precisa de padrões de mobilidade de todos os automóveis como a aceleração / desaceleração, distância mínima para o carro anterior. Até mesmo o comportamento e tempo de reação do motorista são simulados com base em uma teoria comportamental. Eles são desenvolvidos para simular ambientes livres de acidentes. Descrevem o comportamento do sistema em um alto nível de detalhe com a simulação de entidades entrando no sistema (veículos, motoristas) e calcula a cada passo a posição, a velocidade e a aceleração de cada entidade ou do comportamento dos motoristas.
- *Modelos Macroscópicos:* estes modelos concentram o fluxo dinâmico de grandes grupos de veículos. Eles descrevem a velocidade, a densidade e fluxo de veículos num local definido e o tempo.
- *Modelos Mesoscópicos:* o fluxo de tráfego é modelado como uma função densidade de probabilidade, enquanto as interações entre veículos individuais e os efeitos de agrupamento também são levados em consideração. Um exemplo típico é o modelo de fila em que os segmentos de estrada são apresentados por filas do tipo “First In First Out” (FIFO) com características macroscópicas que regem os comportamentos dos veículos individuais. Cada fila tem uma capacidade limitada, bem como uma capacidade máxima. Portanto, um carro não pode mudar de fila, a menos que sua própria fila não exceda a sua capacidade em curso e a fila de destino ainda tenha um lugar livre para aceitá-lo.

### 2.3.2. Modelos de tráfego

Os modelos de tráfego, ou trânsito, são responsáveis por modelar o caminho seguido por um carro (Origem-Destino ou OD), ajustando o comportamento (pré-determinado ou estocástico), bem como os semáforos e sinais de parada nos cruzamentos. Eles consistem de duas partes; planejamento de viagem e planejamento do caminho onde ambos são influenciados pelo tempo e pelo comportamento humano. A origem e o destino de um planejamento de viagem são decididos com base no local de residência e necessidades da pessoa (indo para o trabalho, para as compras, etc.). O caminho selecionado também não é aleatório, o motorista vai selecionar normalmente o mais rápido ou o mínimo.

## 3 METODOLOGIA

Em uma SBA, os agentes são usados para modelar o comportamento em nível individual com o comportamento global emergindo como resultado de suas regras comportamentais e interações.

A pesquisa teve por objetivo investigar a aplicação de Agentes Inteligentes na Modelagem de Fluxo Urbano em laboratório. O processo de investigação envolveu o levantamento bibliográfico preliminar, a elaboração do plano da pesquisa como a busca de fontes, leitura do material e organização de informações para modelagem computacional.

Quanto aos objetivos, a pesquisa é exploratória com a finalidade de identificar os princípios da modelagem de agentes em sistemas de fluxos urbanos da cidade de Belo Horizonte. A região foi seccionada (faixa de latitude/longitude -19.9230, -43.9563) usando *OpenStreetMap* conforme mostra a Figura 1. A origem foi determinada como sendo o centro da cidade de Belo Horizonte e o destino como centro da cidade de Contagem, Minas Gerais.



Figura 1: Mapa da Origem-Destino

Fonte: Elaborado pelas autoras com uso do OpenStreetMap

Quanto à natureza das variáveis estas são estocásticas. O método de abordagem do problema é de pesquisa quantitativa com simulações computacionais. Quanto ao procedimento para a coleta de dados foi utilizado o banco de dados da Pesquisa Origem-Destino 2012 da BHTRANS. Segundo a BHTRANS (2012) “... a Pesquisa Origem-Destino domiciliar, ou simplesmente Pesquisa OD como é mais conhecida, é a principal ferramenta de planejamento da mobilidade urbana. Ela fornece um retrato dos principais padrões de deslocamento das pessoas na RMBH, correspondentes a um dia útil típico”. Como se trata de uma pesquisa de alta complexidade é realizada de 10 em 10 anos. A Pesquisa OD 2002 foi realizada pela Fundação João Pinheiro, e a última em 2012, coordenada pela Agência de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte, contando com participação técnica da BHTRANS (2012).

Quanto à possibilidade de controle sobre as variáveis de estudo foram feitos experimentos em laboratório para observação do comportamento do modelo com o uso do software Anylogic. A topologia escolhida para os agentes é de Sistema de Informações Geográficas (GIS) na qual os agentes simulados se movem em um trecho viário real. Entretanto, não foram consideradas características como tempos de paradas em sinalização, interseções e bifurcações.

#### 4. SIMULAÇÃO DOS TEMPOS DE DESLOCAMENTOS – ORIGEM-DESTINO

Os dados utilizados nas simulações foram obtidos do banco de dados da tabela “Viagens internas” da Pesquisa Origem-Destino da BHTRANS (2012).

	A	B	C	D	E	F
	Tipo de indivíduo	Município origem	Município destino	PO DE DESLOCAM	MEIO_TRANSH	MEIO_TRANSPORTE
2	1	BELO HORIZONTE	BELO HORIZONTE	0:03	Apé	1
3	1	BELO HORIZONTE	BELO HORIZONTE	0:04	Apé	1
4	2	BELO HORIZONTE	BELO HORIZONTE	0:05	Apé	1
5	2	BELO HORIZONTE	BELO HORIZONTE	0:05	Apé	1
6	1	SANTA LUZIA	SANTA LUZIA	0:10	Apé	1
7	1	SANTA LUZIA	SANTA LUZIA	0:10	Apé	1
8	1	BELO HORIZONTE	SANTA LUZIA	0:20	Apé	1
9	1	SANTA LUZIA	BELO HORIZONTE	1:00	Apé	1
10	2	BELO HORIZONTE	SANTA LUZIA	0:25	Apé	1
11	2	SANTA LUZIA	BELO HORIZONTE	0:59	Apé	1
12	3	BELO HORIZONTE	SANTA LUZIA	0:15	Apé	1
13	3	SANTA LUZIA	BELO HORIZONTE	0:15	Apé	1
14	4	BETIM	BETIM	0:30	Apé	1
15	4	BETIM	BETIM	0:15	Apé	1
16	1	BETIM	BETIM	0:10	Apé	1
17	1	BETIM	BETIM	0:10	Apé	1
18	1	BELO HORIZONTE	BELO HORIZONTE	0:10	Apé	1
19	1	BELO HORIZONTE	BELO HORIZONTE	0:10	Apé	1

Figura 2: Extração de dados da Pesquisa Origem-Destino

Fonte: BHTRANS (2012)

Do banco de dados da pesquisa Origem-Destino mostrado na Figura 2 foram utilizados apenas os dados de tempo médio de deslocamento entre as cidades de Belo Horizonte-Contagem. No ambiente de pesquisa foram feitas experimentações com o uso da simulação a eventos discretos considerando dezenove entidades individuais. Cada indivíduo (pessoa, veículos, transporte urbano) foi identificado com o prefixo I conforme mostra a Tabela 1.

Tipos	Origem-Destino	Tempo de Deslocamento
I1: Pessoa de Automóvel Carona	Belo Horizonte - Contagem	42:53
I2: Pessoa Dirigindo Automóvel	Belo Horizonte - Contagem	43:01
I3: Bicicleta	Belo Horizonte - Contagem	33:00
I4: Caminhão	Belo Horizonte - Contagem	48:20
I5: Escolar	Belo Horizonte - Contagem	45:27
I6: Metrô / Trem Metropolitano	Belo Horizonte - Contagem	1:27:06
I7: Moto	Belo Horizonte - Contagem	33:15
I8: Ônibus coletivo urbano	Belo Horizonte - Contagem	1:25:20
I9: Taxi	Belo Horizonte - Contagem	00:31:40

Tabela 1: Tempos de deslocamentos dos indivíduos

Para a simulação utilizando agentes foram definidos nove agentes no software Anylogic conforme mostrado na Figura 3:

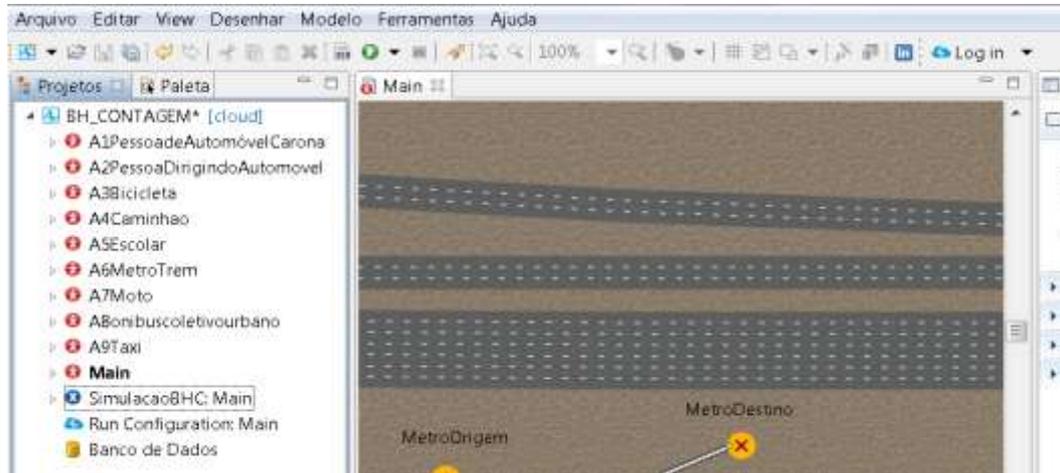


Figura 3: Definição dos agentes

Fonte: Elaborado pelas autoras com uso do software Anylogic

Foram definidos diferentes tipos de agentes para a interação entre os mesmos e verificação dos efeitos de uns sobre os outros. A Figura 4 mostra a tela 3D da simulação.



Figura 4: Diferentes tipos de Agentes

Fonte: Elaborada pelas autoras

Foram utilizados modelos mesoscópicos para reprodução do fluxo de tráfego, portanto, não foram feitas a distinção e nem traçado do comportamento individual dos veículos no sistema. Os agentes foram especificados em termos de probabilidades considerando o comportamento dos agentes de tráfego que se movem juntos.

A Tabela 2 mostra os tempos de deslocamentos simulados quando os indivíduos são transformados em agentes que interagem entre si, com outros e com o meio ambiente. A análise das Tabelas 1 e 2 permite mostrar que os tempos de deslocamentos quando utilizados agentes são bem maiores. Observa-se que os transportes públicos são menos afetados pela mudança.

Como os indivíduos modelados como agentes que interagem isso significa na prática que um ônibus ou caminhão afetam o tráfego de um automóvel ou vice-versa. Uma moto pode afetar ou ser afetada pelo fluxo de veículos em determinado sentido. Embora o Plan Mob BH (LOGIT, 2009) afirme que o metrô - e outros sistemas que trafegam em condições de segregação total - não são afetados pelo grau de saturação da rede viária quando se modela por agentes nota-se que mesmo o usuário de metro sofre as conseqüências do fluxo viário.

<b>Tipos</b>	<b>Origem-Destino</b>	<b>Tempo de Deslocamento</b>
A1: Pessoa de Automóvel Carona	Belo Horizonte - Contagem	48:22
A2: Pessoa Dirigindo Automóvel	Belo Horizonte - Contagem	47:65
A3: Bicicleta	Belo Horizonte - Contagem	34:00
A4: Caminhão	Belo Horizonte - Contagem	52:10
A5: Escolar	Belo Horizonte - Contagem	48:18
A6: Metrô / Trem Metropolitano	Belo Horizonte - Contagem	1:36:19
A7: Moto	Belo Horizonte - Contagem	37:25
A8: Ônibus coletivo urbano	Belo Horizonte - Contagem	1:35:40
A9: Taxi	Belo Horizonte - Contagem	00:41:20

*Tabela 2:* Tempos de deslocamentos de populações de agentes

Fonte: Elaborada pelas autoras

A simulação é geralmente mais fácil de aplicar do que métodos analíticos. Enquanto modelos analíticos requerem um número muito grande de simplificações para torná-los matematicamente tratáveis, os modelos de simulação não apresentam tais restrições. Observações mais profundas podem ser efetuadas sobre quais, variáveis são as mais importantes para o desempenho do sistema e de como elas interagem. Os gargalos no fluxo de agentes podem ser mais facilmente identificados.

## 5. CONCLUSÕES

Uma teoria pode ser simulada e sua qualidade verificada medindo-se a distância entre os resultados reais obtidos e os verificados dentro do ambiente computacional. A simulação é uma boa reprodução da situação da vida real. É um método de testar cenários e comparar os resultados a fim de se ter a melhor decisão.

A simulação é considerada uma ferramenta poderosa para a análise, a reprodução e a previsão de uma grande variedade de problemas, o que seria de difícil análise com testes reais no ambiente produtivo. Novos sistemas de transporte, podem ser testados antes de alocarem recursos para sua aquisição e/ou implementação. As hipóteses sobre como ou porque da ocorrência de certos fenômenos podem ser testadas. Uma vez criado, um modelo pode ser utilizado inúmeras vezes para avaliar projetos e políticas propostas. Através de simulações novos procedimentos operacionais, regras de decisão de estruturas organizacionais podem ser criadas.

Os agentes podem representar diversas coisas: veículos, unidades de equipamentos, projetos, produtos, idéias, organizações, investimentos, pedaços de terra, pessoas em diferentes papéis. O uso de agentes inteligentes na análise de fluxos de tráfego apresentou um comportamento mais realístico dos tempos de deslocamento entre as duas cidades escolhidas para o estudo.

A simulação mostra como realmente um sistema opera, em oposição à maneira com que todos pensam que ele opera. No caso apresentado há uma nítida diferença nos resultados de deslocamentos quando veículos, transporte público e pessoas interagem no mesmo instante da simulação.

A Simulação a Eventos Discretos pura mostrou-se ineficiente para modelos mais realísticos de tráfegos, sendo preferível o uso da Simulação Baseada em Agentes.

Trabalhos futuros poderão incluir mais características de interações da população de agentes tais como horário dos deslocamentos, temporização dos sinais de trânsito, diversas origens e destinos.

## REFERÊNCIAS

BH TRANS. **Pesquisa Origem e Destino**, Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, Belo Horizonte: Empresa de Transportes de Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <http://www.bhtrans.pbh.gov.br/portal/page/portal/portalpublico/Temas/BHTRANS/PesquisaOrigemDestino>. Acesso em: Ago, 2017.

BORSHCHEV, Andrei. Multi-Method Modeling, **Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference**, R. Pasupathy, S.-H. Kim, A. Tolk, R. Hill, and M. E. Kuhl, eds, 2013, p. 4089-4100.

CAROTENUTO, Pasquale; SEREBRIANYB, Artem; STORCHIC, Giovanni. Flexible services for people transportation: a simulation model in a discrete events environment, **Proceedings Social and Behavioral Sciences**, n. 20, p. 846–855, 2011.

FRANKLIN, Chris, **Multi-objective Optimisation using Agent-based Modelling**, Stellenbosch University, 2012.

GRIGORYEV, Ilya, **AnyLogic 7 in Three Days: A Quick Course in Simulation Modeling**, Anylogic, USA: 2014

KIM, Chang-Seop; TANNOCK, James; BYRNE, Mike; FARR, Richard; CAO, Bing; ER, Mahendrawathi, **State-of-the-Art Review: Techniques to Model the Supply Chain in an Extended Enterprise**, Operations Management Division, University of Nottingham, VIVACE Consortium Members, 2004.

LABARTHE, Olivier et al. Toward a methodological framework for agent-based modelling and simulation of supply chains in a mass customization context. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 15, n. 2, p. 113-136, 2007.

LOGIT, Engenharia Consultiva. Plano de Gerenciamento da Demanda e Diretrizes Para Melhoria da Oferta – Revisão, **Plano de Mobilidade Urbana de Belo Horizonte**, Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte S. A., Belo Horizonte, 2009.

MACAL, Charles; NORTH, Michael, Introductory Tutorial: Agent-Based Modeling and Simulation, In: **Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference**, A. Tolk and S. Y. Diallo and I. O. Ryzhov and L. Yilmaz and S. Buckley and J. A. Miller (eds), 2014.

MIHAITA, Adriana Simona; CAMARGO, Mauricio; LHOSTE, Pascal. Optimization of a complex urban intersection using discrete event simulation and evolutionary algorithms In: **19th World Congress The International Federation of Automatic Control**, Cape Town, South Africa. August 24-29, 2014

NADOLI, G.; BIEGEL, J. E. Intelligent Manufacturing-Simulation Agents Tool (IMSAT) In: **ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation**, Vol. 3, No. 1, January, 1993, p. 42-65.

SONGY, Xuan; ZHANGY, Quanshi, SEKIMOTOY, Yoshihide, SHIBASAKIY, Ryosuke, YUANZ, Nicholas Jing; XIEZ, Xing. A Simulator of Human Emergency Mobility following Disasters: Knowledge Transfer from Big Disaster Data, Proceedings of the Twenty-Ninth AAAI Conference on Artificial Intelligence, Austin, Texas, USA, 2015.