

# **SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO EM CIDADES HISTÓRICAS: UM ESTUDO DE CASO EM OURO PRETO**

## **Alline de Castro Costa**

Departamento de Engenharia de Produção, Administração e Economia,  
Campus Universitário S/N, - UFOP, Ouro Preto, Minas Gerais, 35400000, Brazil  
[allinedcastro@hotmail.com](mailto:allinedcastro@hotmail.com)

## **Ms. Irce Fernandes G. Guimarães**

Departamento de Engenharia de Produção, administração e Economia, sala 68A, – UFOP  
Campus Universitário S/N, Ouro Preto, Minas Gerais, 35400000, Brazil  
[profirce@yahoo.com.br](mailto:profirce@yahoo.com.br)

## **Ms. Lásara Fabrícia Rodrigues**

Departamento de Engenharia de Produção, Administração e Economia, Sala 58, – UFOP  
Campus Universitário S/N, Ouro Preto, Minas Gerais, 35400000, Brazil  
[lasara@em.ufop.br](mailto:lasara@em.ufop.br)

## **Débora Petrone Clementino**

Departamento de Engenharia de Produção, Administração e Economia,  
Campus Universitário S/N, - UFOP, Ouro Preto, Minas Gerais, 35400000, Brazil  
[debora-petrone@hotmail.com](mailto:debora-petrone@hotmail.com)

## **Resumo**

As cidades históricas são hoje destinos de pessoas que buscam uma vida mais tranquila, estudantes e turistas. O crescimento da população nessas cidades acarreta no aumento do número de veículos e, conseqüentemente, o fluxo desses passa a não ser mais suportado pelas limitadas rotas dessas cidades, que foram projetadas no século XVII. Este trabalho analisa alternativas de controle do fluxo excessivo na cidade histórica de Ouro Preto-MG e analisa três diferentes cenários, através do método de simulação computacional. Algumas propostas são obtidas para encontrar o cenário que pode otimizar o tempo gasto para trânsito de automóveis em uma região da cidade. Dentro desses cenários analisam-se também os cenários futuros, considerando a taxa de aumento do número de veículos em Ouro Preto, disponibilizada pelo órgão DENATRAN. As simulações foram realizadas no Software Arena 13.0 e as análises estatísticas no Input Analyzer.

**Palavras-Chaves:** Simulação Computacional, Engenharia de Tráfego, Cidades Históricas.

## **Abstract**

The historical cities are today destiny of people who search for a quieter life, students and tourists. The population growth in these cities results in increasing the number of vehicles and, in consequence, their flow is no longer stood by the limited routes of these cities, which were projected in the seventeenth century. This project analyses excessive flow control alternatives in the historical city of Ouro Preto-MG and analyses three different scenarios, through the simulation method. Some proposals are obtained to find the scenario which would optimize the time spent in automobile traffic in one region of the city. Within these scenarios, the future scenarios are also analyzed considering the rate of increase in the vehicles number in Ouro Preto, provided by the agency DENATRAN. The simulations were performed in the Software Arena 13.0 and the statistics analyses in the Input Analyzer.

**Key-Words:** Simulation, Traffic Engineering, Historical Cities.

## 1. INTRODUÇÃO

As cidades históricas brasileiras vêm recebendo cada vez mais pessoas em busca de qualidade de vida, longe do estresse das grandes cidades, além do grande número de visitantes devido a seus atrativos turísticos. Isso faz com que o fluxo de automóveis em trânsito também aumente. Porém, tais cidades possuem uma capacidade física de desenvolvimento reduzida, e situações como ruas estreitas, trajetos irregulares planejados para uma época em que não havia grande intensidade do tráfego e a impossibilidade de grandes mudanças nas vias, devido à conservação do patrimônio histórico são os principais obstáculos para que seja obtido um trânsito eficiente nestas localidades.

À medida que a vida urbana se cristalizou e expandiu em torno das minas de ouro na cidade de Ouro Preto, a cidade tornou-se centro exemplar com traços característicos do urbanismo pré-industrial no padrão estabelecido no século XIX (HOSLTON, 1993).

Com a fundação da Universidade Federal de Ouro Preto, em 1969, a população da cidade aumentou e, conseqüentemente, o fluxo de veículos. Mas o aumento desse fluxo de veículos se deve mais ainda às recentes condições que favorecem o acesso à compra de veículos. E esse número vem crescendo a cada ano, mas a estrutura urbana permanece a mesma desde sua criação. Essa situação gera um problema de fluxo no trânsito, pois há um grande número de veículos circulando em um pequeno espaço, ao mesmo tempo.

Com o objetivo de otimizar esse fluxo, propõe-se mudanças no sentido do trânsito nas ruas, já que não se pode modificar as estruturas das cidades consideradas patrimônio histórico da humanidade mundial, as quais são protegidas pelo IPHAN (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional), que garante a preservação do acervo patrimonial de Ouro Preto.

O sistema estudado compreende as rotas que conectam os bairros Antônio Dias e Barra, as quais possuem um grande fluxo, por serem também caminhos do Centro Histórico à Barra, cuja rua principal, Rua dos Inconfidentes, dá acesso à Rua Pandiá Calógeras (Morro do Gambá) e à Avenida Lima Júnior (Curva do Vento), importantes passagens para a UFOP, o hospital Santa Casa, a empresa Novelis, dentre outros.

Por isso, o fluxo de carros e ônibus é intenso, limitado pelas ruas estreitas, de mão dupla, em que às vezes, não há possibilidade de transitar dois carros ao mesmo tempo, ocasionando em paradas e interrupção do fluxo. Na tentativa de melhorar e controlar o trânsito nessa região, um semáforo foi implantado em uma região próxima à de estudo, que fez com que o tempo em que os veículos entram no sistema estudado fosse mais controlado, e os fluxos da rota foram recentemente modificados. A Figura 1 apresenta o mapa da região em estudo.



Figura 1 – Mapa representativo da área em estudo – Google Maps acesso em 11/07/2012

O principal objetivo deste estudo é avaliar o trânsito e apontar alternativas que otimizem o fluxo de veículos do local estudado. Para isso, será utilizado o software Arena 13.0, e apresentados 3 cenários, incluindo o cenário atual (Cenário 1) e dois cenários alternativos (Cenário 2 e 3). Estes cenários alternativos diferem em relação ao sentido de rota das ruas, o fluxo de veículos e o tempo gasto no percurso. Além desses cenários, foi desenvolvido outro cenário (Cenário 4) para analisar o impacto no sistema em estudo do aumento na demanda de veículos devido ao crescente emplacamento de veículos no Brasil.

Devido a essa realidade, esse estudo foi realizado utilizando a Simulação Computacional. Segundo Law e Kelton (2000), a simulação é uma técnica usada por computadores para imitar ou simular as operações ou processos de várias espécies do mundo real. Com a simulação, é possível avaliar intervalo de chegada dos veículos, tempo de percurso dos automóveis, a taxa de utilização das vias e a formação de filas.

O presente estudo analisa se essas modificações realmente melhoraram o trânsito na região em relação ao tempo gasto para o trânsito nas rotas, sendo a melhor rota aquela que é transitada em menor tempo, considerando as limitações que os logradouros de Ouro Preto possuem, as rotas de ônibus e o conforto dos motoristas.

Como recurso e base de estudos têm-se a Engenharia de Tráfego, que vem para permitir o uso de técnicas de modo a viabilizar o trânsito e permitir a redução do número de acidentes, diminuir o tempo de viagem e até mesmo aumentar a segurança do local estudado.

Para apresentar os resultados alcançados, organizou-se este artigo da seguinte forma: nas seções 2, 3 e 4 serão apresentados os levantamentos teóricos que deram base para este estudo, apresentam-se os principais conceitos de engenharia de tráfego, do trânsito na cidade de Ouro Preto (MG) e da simulação computacional. A seção 5 apresenta a metodologia utilizada e a seção 6 mostra os cenários analisados. A seção 7 apresenta o modelo computacional e a 8 os resultados alcançados. Para finalizar, são apresentadas, na seção 9, as considerações finais, seguidas das referências utilizadas neste estudo.

## **2. ENGENHARIA DE TRÁFEGO**

O aumento no número de veículos circulantes e a insuficiência das vias em absorvê-los, faz com que o trânsito nas cidades fique cada vez mais complicado.

Engenharia de Tráfego trata de planejamento, projeto geométrico e operação de tráfego, visando o movimento conveniente de pessoas e mercadorias, sendo essencial em todos os seus ramos a obtenção de dados de tendências dos transportes e tráfego para toda uma região e as condições de tráfego nos locais específicos de estudo, conforme Leite (1980).

Ainda segundo o mesmo autor, o levantamento de dados e características do fluxo envolvem os seguintes itens:

- Veículos e fatores humanos;
- Cadastro físico das vias e facilidades existentes e características geométricas recomendáveis;
- Capacidade das vias e interseções, sistema de transporte em massa e dados de acidentes e conflitos;
- Volumes de tráfego, origem e destino;
- Parâmetros de tráfego;
- Tempo de percurso, demoras e velocidade local; e iluminação.

Portugal (2005) afirma que para avaliar o desempenho e analisar o impacto de políticas e estratégias de controle do tráfego é necessária a modelagem do comportamento do fluxo na infraestrutura viária. Ainda segundo ele, diante da complexidade do sistema de tráfego, em particular o urbano, à medida que envolve inúmeras variáveis relacionadas tanto com a oferta quanto com a demanda viária, a técnica de simulação, dentre as diversas técnicas utilizadas, tem-se constituído uma importante ferramenta para auxiliar o engenheiro de tráfego, permitindo apontar soluções para os vários problemas encontrados no trânsito.

Nas cidades históricas, o problema está na questão, de muitas vezes, sua estrutura viária não permitir mudanças necessárias para essa absorção, sabendo que o patrimônio histórico, artístico e cultural dessas cidades não pode sofrer alterações.

De acordo com Oliveira (2010), um aprofundamento nos estudos neste setor pode acarretar na melhoria do tráfego urbano. Mas para que isso ocorra, são necessárias grandes mudanças nas estruturas viárias, demandando altos investimentos públicos e dificultando sua realização, principalmente nas cidades históricas, em que muitas vezes não é permitida a execução dessas mudanças.

### **3. TRÂNSITO NA CIDADE DE OURO PRETO**

À medida que o tempo passa, o trânsito das cidades vem se tornando cada vez mais complicado, sendo necessários alguns ajustes para que este flua de maneira mais tranquila e principalmente de uma forma mais eficiente.

Nas cidades históricas, a grande dificuldade está no fato de que as vias muitas vezes não permitem grandes mudanças, pois estas não conseguem absorver grande parte desse fluxo. Essas vias são de pequeno porte e na maioria das vezes somente é possível absorver o trânsito em um único sentido, fazendo com que o outro necessite de um maior tempo e uma maior distância para chegar a uma determinada localidade.

De acordo com Oliveira (2010), no caso de Ouro Preto (MG), o Ministério Público de Minas Gerais, juntamente com o IPHAN e a Prefeitura Municipal divulgou no dia 04 de abril de 2008, um Termo de Ajuste de Conduta (TAC). Esse tem como função regulamentar o trânsito no centro histórico, especialmente de veículos pesados, apresenta alternativas para o intenso fluxo de automóveis, e requisita o aumento da fiscalização do trânsito pelo Departamento de Trânsito de Ouro Preto (OUROTRAN).

Ainda segundo Oliveira (2010), o trânsito sofreu alterações através do TAC que foram as seguintes: instalação de balizadores que impedem o trânsito de veículos pesados em 12 ruas, eliminação do estacionamento da Praça Tiradentes e a criação de um passeio central para o melhor fluxo de turistas. O TAC previu também a sinalização do centro histórico de Ouro Preto, como: retirada de placas desnecessárias ou deteriorada, regulamentação das operações de carga e descarga, determinando locais e horários fixos, sendo proibidas essas transações na Praça Tiradentes e na Rua São José.

Essas medidas adotadas pelo TAC foram responsáveis por mudanças positivas no centro histórico, permitindo que o trânsito flua de forma mais eficiente e também que o patrimônio histórico, cultural e artístico seja preservado.

Segundo Castriota *et.al.*(2010), o Programa de Aceleração do Crescimento das Cidades Históricas, lançado pelo Governo Federal em outubro de 2009, propôs destinar, nos próximos anos, R\$ 890 milhões para a preservação do patrimônio histórico nacional. As cidades históricas contempladas poderão receber obras de requalificação e infraestrutura urbana e de recuperação de monumentos e imóveis públicos. Este recurso poderá ser utilizado pelo poder público municipal que poderá realizar obras de reurbanização, desenho urbano, ordenamento do trânsito e sinalização.

Castriota *et al.*(2010) também afirmam que algumas questões ligadas à infraestrutura física do centro histórico e seu uso podem ser apontadas como um problema que influencia diretamente no fluxo de veículos, tais como: a falta de acessibilidade (calçadas inadequadas), a falta de manutenção adequada das vias de circulação, o trânsito congestionado e o estacionamento deficiente, o transporte público precário, a poluição sonora e visual, o crescimento populacional e urbano desordenado, a concentração de serviços no centro da cidade.

Ainda segundo Castriota *et.al.*(2010), outra série importante de problemas liga-se a questões institucionais, tais como a falta de articulação entre as ações das diversas secretarias e órgãos públicos, a descontinuidade dos programas e projetos, a falha na comunicação do poder público com a população e a falta de planejamento na organização dos eventos para o grande público, que podem agravar os problemas relacionados com o trânsito, principalmente em cidades históricas.

Zanirato(2008) afirma que as principais consequências do tráfego em cidades históricas podem ser percebidas nas ruas estreitas e cheias de carros, sem estacionamentos e sujeitas a altas doses de ruídos e contaminação, gerando danos ao patrimônio histórico edificado, como a perda de atrativos e de potencialidade turística. Afirma também que os danos negativos se estendem aos habitantes dessas localidades, pois o automóvel é a principal fonte de emissão de contaminantes de efeito local e responsável por três quartos da contaminação atmosférica mundial.

Também visando a melhorias no trânsito da cidade, existem algumas ferramentas que podem ser utilizadas para facilitar a realização de estudos e experimentos e auxiliar na análise de resultados, como por exemplo, a Simulação Computacional.

#### 4. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

A simulação é uma ferramenta da Pesquisa Operacional, utilizada para representar a realidade através de programas computacionais. Com a elaboração de um modelo baseado no sistema real e, a partir da análise dos resultados apresentados, é possível chegar a um novo cenário que seja mais apropriado e que aperfeiçoe o processo.

Segundo Portugal (2005), a palavra “simulação” deriva do latim “Simulatus”, que significa “imitar”. Pode ser definida como uma imitação de uma situação real utilizando modelos.

De acordo com Duarte (2003), a simulação é a importação da realidade para um ambiente controlado onde se pode estudar o comportamento do mesmo, em diversas condições sem que ocorram os riscos físicos e/ou grandes custos envolvidos.

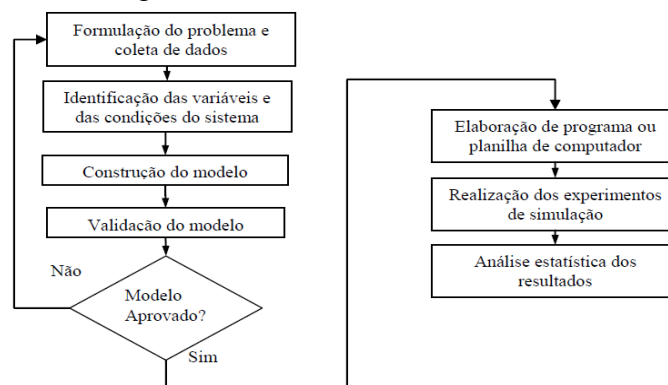


Figura 2 – Etapas do processo de Simulação. Andrade(2004).

De acordo com a Figura 2, os passos para a realização de um modelo de simulação partem da formulação do problema em questão seguida da coleta de dados, determinando quais são as variáveis necessárias e quais condições do sistema este modelo deve respeitar. Após o modelo ser construído, ocorre a validação desse modelo, a construção do modelo computacional, realização dos experimentos e logo após os resultados são gerados, fazendo com que através da análise destes, chega-se em alguma solução viável dentro das condições especificadas.

Segundo Joaquim (2005), a simulação pode ser entendida como uma ferramenta que permite avaliar o comportamento e o desempenho de determinados sistemas submetidos às mais variadas condições, possibilitando o aprimoramento de sistemas que necessitam serem dinâmicos, para que possam manter a competitividade e, conseqüentemente, a qualidade na produção ou prestação de serviços.

O processo de simulação permite que várias possibilidades sejam testadas, fazendo com que a análise das mudanças causadas por ele sejam previstas no computador, não sendo necessária a implementação da ideia para saber de suas consequências. Isso permite maior eficiência e menor transtorno.

Segundo Hillier *et. al.* (2010) para a preparação da simulação de um sistema real, um modelo de simulação tem diversos blocos construtivos básicos, que são descritos a seguir:

- Estado do Sistema: um exemplo é o número de clientes em um sistema;

- Identificação dos possíveis estados que podem ocorrer no sistema;
- Possíveis eventos: como exemplo, temos chegadas e terminos de atendimento em um sistema de filas que podem ocasionar mudanças no estado do sistema;
- Uma provisão para um relógio simulado, que vai registrar a passagem do tempo (simulado);
- Um método para gerar eventos aleatoriamente de diversos tipos;
- Uma fórmula para identificar as transições de estado que são geradas pelos diversos tipos de eventos.

De acordo com Portugal (2005), o papel da simulação é modelar o comportamento e as interações entre os elementos, permitindo assim uma avaliação prévia da situação. É considerado um instrumento poderoso que permite determinar o melhor sistema a ser melhorado ou modificado.

Segundo Carvalho (2003), as atividades relacionadas ao processo de modelagem podem ser resumidas conforme esquema iniciado pela construção do modelo, passando pela transformação de modelo conceitual para computacional e chegando aos testes experimentais (simulação), visando à busca das melhores ou da melhor alternativa (Figura 3).

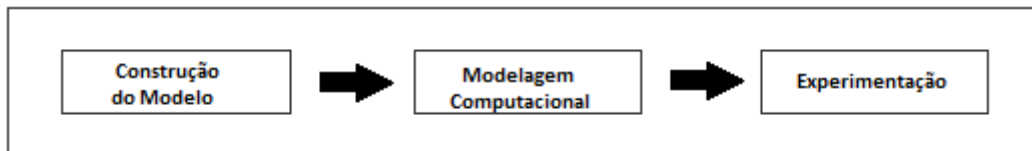


Figura 3 – Atividades do processo de modelagem e simulação Carvalho (2003)

A simulação vem como uma alternativa para a solução de problemas, onde a implementação prévia seria inviável, pois as mudanças poderiam causar consequências que prejudicaria ainda mais o sistema. Com ela, pode-se adotar metodologias para um estudo prévio, e assim, através de análises dos resultados, pode-se chegar a uma solução mais otimizada dentro do sistema.

## 5. METODOLOGIA

No desenvolvimento deste trabalho foi utilizada a versão de estudante do *software* Arena 13.0, para a criação da simulação dos modelos e dos cenários propostos. O computador utilizado no estudo deste sistema foi Intel (R) Core (TM) 2 Duo 2.2 GHz e 3 GB de RAM sob plataforma Windows 7 Home Basic. Foram feitas três replicações, e o critério utilizado para parada foi o tempo de 1(um) ano.

Os dados utilizados dentro do processo de simulação foram coletados de forma manual utilizando cronômetro na forma hh:mm:ss. O registro destes dados foram feitos em uma planilha devidamente numerada e com as identificações de cada processo. A coleta foi realizada de forma aleatória, em 20 dias não consecutivos, no período de 01/03/2012 à 10/04/2012, para que os dados tornassem a simulação o mais perto do real possível.

Esse conjunto de dados coletados foi tratado no aplicativo Input Analyser, que é disponível no *software* Arena 13.0, para que fossem determinadas as respectivas distribuições estatísticas de cada trajeto e cada entrada de veículos dentro do sistema.

## 6. CENÁRIOS

O ambiente de estudo está localizado no Largo Frei Vicente Botelho, situado no Bairro Antônio Dias, em Ouro Preto (MG). Este trecho é responsável por absorver o fluxo de veículos vindo da Praça Tiradentes, pela Rua das Mercês (Chegada C), Rua Carlos Tomás (Chegada B) e Rua Xavier da Veiga(D), do fluxo que vem do Bairro Antônio Dias, pela Rua Felipe dos Santos (Chegada A) e Rua Coronel Serafim (Chegada F) e do fluxo que vem da Barra, pela Rua Antonio Martins (Chegada E). Quanto às saídas desse sistema, as possíveis rotas são pela Rua Carlos Tomás (Saída B), Rua Felipe dos Santos (Saída A), Rua Xavier da Veiga (Saída D), Rua Antônio Martins (Saída E), Rua Coronel Serafim (Saída F), sendo todas de sentido duplo.

Antes de os estudos começarem, a estrutura das vias e seus fluxos foram modificados, determinando o primeiro cenário para análise. Em cada figura, os nomes e os sentidos dos fluxos de cada rota foram representados, de modo a ilustrar o modelo em estudo e favorecer o entendimento.

Para que o estudo obtivesse todos os valores necessários para a simulação, foi necessária a observação da rota atual, e assim foi criada uma estimativa desses valores. Para Chegada F, foi considerada uma taxa de chegada de uma entidade a cada cinco horas, sabendo que não foi possível coletar dados no local, pois sua taxa de chegada é praticamente nula. O mesmo foi feito para as rotas R6, R8 e R7, onde foi considerado o tempo de percurso baseando-se no tamanho da rota e uma velocidade média de 40km/h. Os recursos utilizados no desenvolvimento da simulação foram baseados no comprimento de cada rota e tendo como base o comprimento médio de um veículo de 4 metros, de acordo com Schmitz *et.al.*(2002). Assim, foi possível considerar a capacidade de cada rota.

O Cenário 1 corresponde à situação atual do sistema estudado, ou seja, representa a estrutura das vias no momento em que o estudo foi iniciado, e é ilustrado pela Figura 4. As setas representam o sentido dos fluxos de veículos que estão dentro deste sistema. A rota R8, nesse cenário, funciona apenas para um trânsito local.

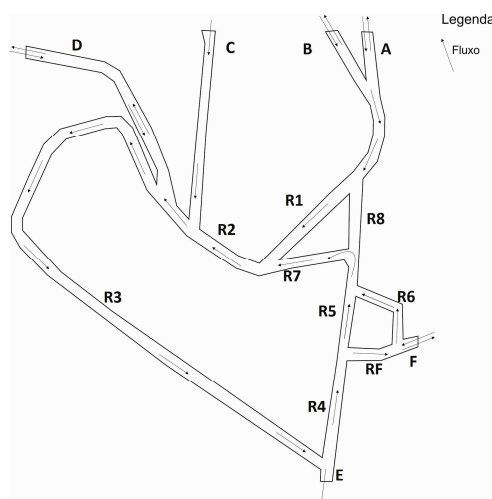


Figura 4 – Cenário 1 (Real)

O Cenário 2, mostrado na Figura 5, representa uma configuração que já esteve em funcionamento no passado. Essa configuração foi mudada para a configuração mostrada no Cenário 1. As setas determinam a mudança no fluxo de veículos, onde algumas vias passam a absorver o trânsito também no sentido contrário (duplo sentido). A rota R8, que no cenário real era uma via não utilizada (apenas trânsito local), neste cenário ela é utilizada para levar o fluxo que vem das chegadas A e B com destino à rota R4 ou à rota RF.

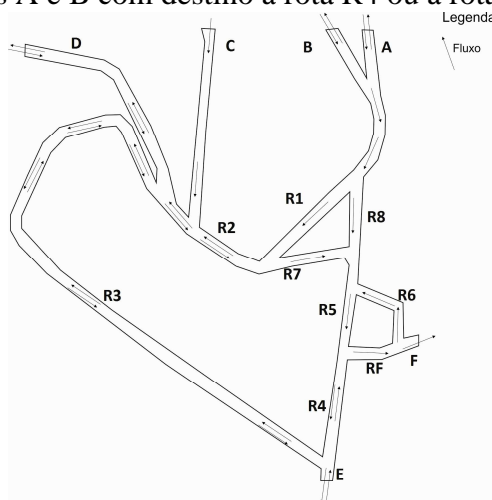


Figura 5 – Cenário 2 (Antigo)

No Cenário 3, foi proposta uma única modificação no trânsito atual (Cenário 1), que ficará mais clara após a observação e análise dos resultados de simulação do Cenário 1. Esta única

modificação faz com que a rota R3 passe a absorver também o fluxo no outro sentido, onde seu espaço deixará de ser apenas para estacionamento dos dois sentidos e passe a absorver parte do trânsito de quem entra no sistema pela chegada E e deseja ir para o centro (saída D). Ainda neste cenário, a rota R8 volta a ser apenas para trânsito local, pois o fluxo que vem das chegadas A e B segue para a rota R1 apenas. A Figura 6 representa esta nova proposta. Nesse cenário, foi considerado que aproximadamente 70% das entidades que utilizavam, no Cenário 1, a combinação das rotas R5-R7-R2 utilizariam a rota R3. Essa escolha deve-se à observação do cenário atual (Cenário 1) e do cenário anterior (Cenário 2) onde percebeu-se que a maioria dos carros que utilizam a rota R5-R7-R2 passariam a usar a rota R3 devido às suas melhores condições de pavimentação e inclinação. Essa escolha foi necessária devido à impossibilidade de coleta dos dados, já que esse é um cenário proposto e o fluxo de veículos não utilizam mais esses sentidos.

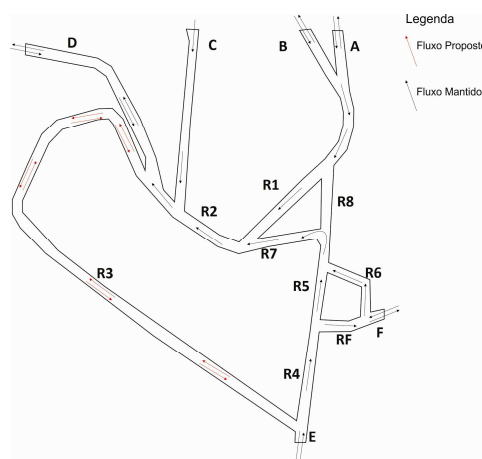


Figura 6 – Cenário 3 (Proposto)

O Cenário 4 mostra os impactos no sistema estudado em relação ao aumento do fluxo de veículos nos próximos anos. Para isso, foi calculada a taxa média de aumento do número de veículos em Ouro Preto – MG utilizando dados do DENATRAN (Departamento Nacional de Trânsito), que foi de 6,35% por ano. Esse cenário representa o fluxo dentro do sistema considerando o crescimento esperado para os próximos cinco anos. Assim, foi considerada uma taxa média de 31,75% de aumento no número de entidades. Como esse cenário não propõe alterações na configuração do sistema, esse ainda pode ser visualizado na Figura 3.

## 7. MODELO COMPUTACIONAL

A proposta deste estudo é baseada em um modelo de simulação de fluxo de trânsito, onde o estudo do sistema em questão é representado pela Figura 4. Foi realizada a simulação no *software* Arena 13.0, na versão de estudante, do fluxo de veículos em um determinado trecho no centro histórico da cidade de Ouro Preto – MG.

A simulação é iniciada pela entrada dos veículos no sistema - (*Create*) representado pelas chegadas A, B, C, D, E e F, seus respectivos processos de travessia - (*Process*), representado pelas rotas R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8 e RF, suas decisões dentro do processo (*Decide*), onde foram coletadas as porcentagens do número de veículos que seguiam em cada sentido e por fim as saídas dessas entidades do sistema estudado - (*Dispose*), que pode ser representadas pelas saídas A, B, D, E e F. A Figura 7 representa o modelo de simulação utilizado neste estudo.



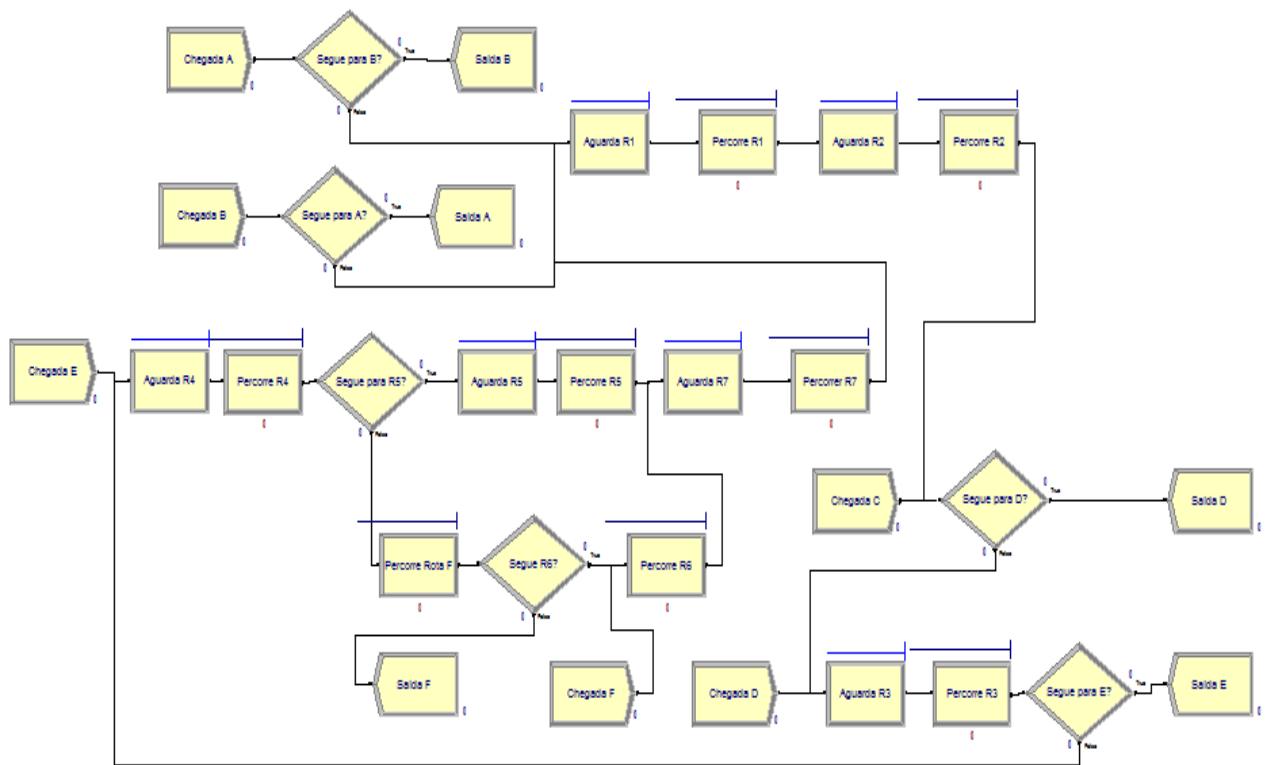


Figura 7 – Representação do modelo.Simulação do *software* Arena 13.0 (2012)

## 8. RESULTADOS

Os resultados obtidos desta simulação e representados pelo Gráfico 1 e pela Tabela 1, demonstram que o tempo médio total que a entidade permanece em processo no sistema teve uma variação entre os três cenários analisados, onde a maior delas foi no Cenário 2. Mas pode-se observar também que nesse mesmo cenário o tempo médio em fila foi maior.

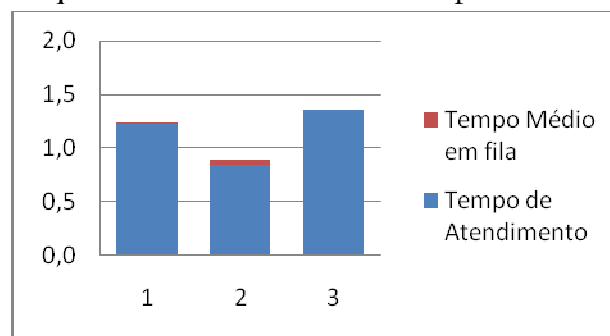


Gráfico 1 – Tempo e Número de Veículos Médios (min.), entre os Cenários 1, 2 e 3

O tempo médio no sistema equivale à soma do tempo médio em trânsito com o tempo médio em fila. No cenário 2, o tempo médio no sistema foi de 0,8866 minutos, o que comparado com o Cenário 1 (1,2368 minutos) e o Cenário 3 (1,3593 minutos), percebe-se uma redução de 28,31% em comparação com o Cenário 1 e de 34,8% em relação ao Cenário 3.

Em relação ao tempo médio em fila, pode-se observar que o Cenário 2 apresenta o maior valor. A Tabela 1 apresenta a porcentagem média das filas em relação ao tempo médio total no sistema em cada cenário. Pode-se observar que a variação no tempo médio no sistema foi influenciada principalmente pelo tempo médio em trânsito, e não pelo tempo de espera em fila, pois seu valor é ínfimo.

Cenários	Tempo Médio em Fila (%)
1	0,0096%
2	5,03%
3	0,0004%

Tabela 1 –Tempo Médio em Fila em relação ao Tempo Médio no Sistema

Em relação ao **WIP** (*work in process*), que é representado pelo número médio de veículos em no sistema, foi possível perceber, de acordo com a Tabela 2, que ocorreu também uma redução desse valor, diminuindo aproximadamente 2 carros no Cenário 1 e 3 carros no Cenário 3, em comparação com o Cenário 2.

Cenários	WIP
1	7,4925
2	5,3729
3	8,2379

Tabela 2 – Número médio de entidades em filano sistema

De acordo com a Tabela 3, foi possível observar o tempo médio de utilização de cada recurso e a taxa média de utilização por rota. No Cenário 2, pode-se observar que ocorre o aumento de quatro rotas, sendo estas: R2\_2, R3\_2, R4\_2, as quais são os sentidos contrários das rotas R2, R3 e R4 (as vias se tornam de duplo sentido), e a rota R8, que nos Cenários 1 e 3 são apenas para trânsito local. No Cenário 3, a única rota que se modifica dentro do sistema comparando-se com o primeiro cenário é a rota R3\_2, que é o sentido oposto ao da rota R3 (duplo sentido).

Rotas	Taxa de Utilização Média		
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
R1	0,08602136	0,05422798	0,07087965
R2	0,07982511	0,00702387	0,06579844
R2_2	-	0,08936582	-
R3	0,08159268	0,00393908	0,0717864
R3_2	-	0,01601265	0,05107539
R4	0,1117	0,07251372	0,03503212
R4_2	-	0,02359068	-
R5	0,0150641	0,07574505	0,00471538
R6	0,00543892	0,02354991	0,00553272
R7	0,01711993	0,0998	0,0054716
R8	-	0,07419092	-
RF	0,2721	0,4878	0,0809291

Tabela 3 – Taxa de utilização média de cada uma das rotas nos Cenários 1, 2 e 3

Pode-se observar que a taxa de utilização da rota RF diminuiu no Cenário 3 devido à subdivisão do fluxo vindo da Chegada E, passando também a percorrer a rota R3 que nesse cenário absorve o fluxo nos dois sentidos. De acordo com o Gráfico 2, que foi realizado através da soma de todas as rotas em cada cenário posteriormente dividido pelo número de rotas (Tabela 3), que representa a taxa média de utilização dos recursos nos três cenários obteve uma redução apenas no Cenário 3.

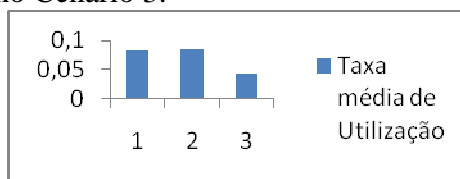


Gráfico 2 – Taxa Média de Utilização das Rotas nos Cenários 1, 2 e 3

No Cenário 4 são analisados os impactos do aumento da chegada de entidades no sistema estudado num período de cinco anos, ou seja, esse cenário representa os impactos no Cenário 1 daqui a cinco anos.

O Gráfico 3 apresenta o tempo médio em fila, o tempo médio em trânsito e o tempo médio no sistema para os Cenários 1 e 4. Pode-se perceber um aumento no tempo médio em fila no Cenário 4 em relação ao Cenário 1, fazendo com que o tempo médio da entidade dentro do sistema aumentasse consideravelmente. Já o tempo médio em trânsito permaneceu inalterado.

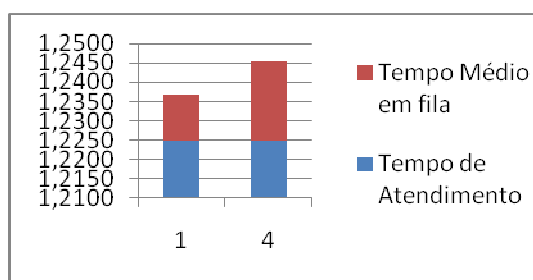


Gráfico 3 – Comparação do Tempo médio total entre o Cenário 1 e 4.

O número médio de veículos no sistema passou de 7,4925 no Cenário 1 para 11,0651 veículos no Cenário 4, ou seja, representou um aumento de 47,7%. Esses resultados confirmam os resultados relacionados com o tempo médio em fila, pois a medida que os veículos permanecem mais tempo em fila, e por consequência no sistema o número médio de veículos no sistema aumenta. Essa comparação dos cenários foi necessária, para a observação do aumento das filas no sistema, depois de passados cinco anos.

Rotas	Taxa de Utilização Média	
	Cenário 1	Cenário 4
R1	0,08602136	0,12610000
R2	0,07982511	0,11710000
R3	0,08159268	0,11970000
R4	0,11170000	0,16390000
R5	0,01506410	0,02212089
R6	0,00543892	0,00948750
R7	0,01711993	0,02511148
RF	0,27210000	0,39840000

Tabela 4 – Comparação entre as taxas de utilização média entre os Cenários 1 e 4

Na Tabela 4, pode-se observar que a utilização dos recursos, representados pelas rotas no sistema, tendem a aumentar à medida que se aumentam as taxas de chegada (Cenário 4). Além disso, a taxa média de utilização das rotas passou de 0,0836 no Cenário 1 para 0,1227 no Cenário 4. Comparando os resultados obtidos no Cenário 4 com o Cenário 1, pode-se perceber que, com o aumento do número de veículo, aumentarão os problemas com o funcionamento do sistema, ocasionando dificuldades na fluidez do trânsito, o que poderá requerer mudança ou até mesmo estudos mais aprofundados. Com isso, pode-se perceber que o sistema, nas mesmas condições atuais, está sendo cada vez mais solicitado, devido ao aumento do número de veículos circulantes em Ouro Preto – MG.

## 9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando que o sistema analisado pertence ao patrimônio histórico, deve-se garantir não só a satisfação de quem em Ouro Preto vive, mas também a capacidade de absorção do constante fluxo vindo do turismo, proporcionando maior fluidez no trânsito e consequentemente maior conforto para os turistas.

A base para o estudo em questão foi o Cenário 1, a partir do qual foram montados outros dois cenários, voltando ao antigo (Cenário 2) e propondo uma nova ideia (Cenário 3). O Cenário 4 mostrou os impactos no sistema estudado em relação ao aumento do fluxo de veículos nos próximos anos. Os resultados adquiridos pela simulação computacional foram que, em relação aos tempos totais gastos de atravessamento, o cenário 2 obteve melhores resultados em relação aos cenários 1 e 3. Nesse quesito, houve uma redução de 28,31% em comparação com o Cenário 1 e de 34,8% em relação ao Cenário 3. Já em relação ao Cenário 4, pode-se afirmar que o tempo médio em fila aumentará comparando com a realidade atual. Consequentemente, o tempo total médio da entidade dentro do sistema será maior, o que pode comprometer o fluxo caso a estrutura permaneça a mesma.

O presente artigo foi responsável pelo maior contato com a simulação computacional e como esta pode influenciar positivamente na análise das possíveis mudanças sem que as alterações

físicas sejam feitas. Os dados de alguns cenários tiveram que ser deduzidos e com isso aumentava a chance de erros dentro da simulação, pois estes não se tratavam de dados coletados e baseados em distribuições.

Mediante as análises apresentadas, a simulação permitiu uma visualização das mudanças que poderão ser feitas dentro de um sistema, sem que essas sejam realmente executadas, ou seja, sem que a estrutura física do sistema seja alterada. Isto permitiu que uma análise mais crítica fosse feita e que as medidas a serem adotadas posteriormente ao estudo fossem analisadas.

Vale ressaltar que, há uma tendência que se aumente ainda mais o número de veículos automotores em todas as localidades o que pode ocasionar aumento do fluxo dentro dos sistemas e fazer com que filas apareçam. Alerta-se aqui a necessidade de um estudo constante e mais aprofundado das consequências, possibilidades de ações e mudanças para que o deslocamento dentro dessas localidades não se torne um problema grave e que venha prejudicar o turismo e até mesmo os moradores da cidade histórica de Ouro Preto – MG.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANDRADE, E. L., Introdução à Pesquisa Operacional, LTC, Rio de Janeiro, 2004.
- [2] BRASIL. Departamento Nacional de Trânsito. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>. Acesso em 10 de Maio de 2012.
- [3] CARVALHO, L.S. Modelagem e Simulação: Poderosa ferramenta para a otimização de operações logísticas. Disponível em: <<http://www.sitedalogistica.com.br>>. Acesso em 03 de Maio de 2012
- [4] CASTRIOTA, L.B.; ARAÚJO, G.M.; CARDOZO, K.; SOUSA, V.P. PAC Cidades Históricas – Oportunidade para a conservação integrada? Revista de História, Vol. 16, No 2, 2010.
- [5] DUARTE, R.N. Simulação Computacional: Análise de uma célula de manufatura em lotes do setor de autopeças. Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Itajubá, novembro de 2003.
- [6] HILLIER, F.S.; LIEBERMAN, G.J. Introdução à Pesquisa Operacional. 8.ed. Porto Alegre: AMGH : Bookman ; São Paulo (SP) : McGraw-Hill, 2010
- [7] HOSLTON, J. A Cidade Modernista: Uma crítica de Brasília e sua utopia. Ed. Schawarez. São Paulo, 1993.
- [8] JOAQUIM, E.D. Análise de um novo centro cirúrgico para o Hospital Universitário Cajuru: Estudo de caso baseado em simulação computacional. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba, 2005.
- [9] LAW, A.M.; KELTON, W.D. Simulation, modeling and analysis. 3 ed. Boston: McGraw-Hill, 2000.
- [10] LEITE, J.G.M. Engenharia de Tráfego: Métodos de Pesquisa, características de Tráfego, Interseções e Sinais Luminosos. São Paulo, Companhia de Engenharia de Tráfego-CET, p.362, 1980.
- [11] MUNIZ, L. R., Aplicação da simulação computacional para análise do tráfego no cruzamento central da cidade histórica de Mariana- MG . 2008, Trabalho de conclusão de curso ( Graduação em Engenharia de Produção – curso de Engenharia de Produção). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto – MG, 2008.
- [12] OLIVEIRA, T.L.; GUIMARÃES, I.F.G.; RODRIGUES, L.F.; MARTINS, F.R., Simulação Computacional Aplicada ao tráfego: uma análise do fluxo de veículos na Praça Tiradentes em Ouro Preto – MG, 2010.
- [13] PORTUGAL, L.S. Simulação de tráfego: conceitos e técnicas de modelagem. Rio de Janeiro: Interciência; 2005
- [14] SCHMITZ, M.; HÜBNER, J.F. Uso de SMA para avaliar estratégias de decisão no controle de tráfego urbano. Seminário de Computação em Blumenau-SC, 2002.
- [15] ZANIRATO, S. H., A mobilidade nas cidades históricas e a proteção do patrimônio cultural, Revista eletrônica de turismo cultural, USP, Vol. 2, 10p, 2008.