

## **CONDIÇÕES DE ESCOAMENTO DE TRÁFEGO: CIDADE DO PORTO**

CARLOS M. RODRIGUES

*PROFESSOR AUXILIAR, CITTA – FEUP*

AMÉRICO PIRES DA COSTA

*PROFESSOR ASSOCIADO, CITTA – FEUP*

ANTÓNIO JÚLIO VASCONCELOS

*PROFESSOR AUXILIAR CONVIDADO, CITTA – FEUP*

### **RESUMO**

A análise das condições de escoamento de tráfego numa dada área geográfica faz-se normalmente com o objectivo de se obter uma avaliação global das condições de escoamento de tráfego na rede, e, se possível, a identificação dos locais com maiores dificuldades de circulação. Esta avaliação deve ser feita na perspectiva do utilizador, o que requer que se seleccione(m) indicador(es) fácil(eis) de medir, que permita(m) obter uma medida com aproximação aceitável do modo como os utilizadores fazem essa avaliação.

Nesta comunicação apresentam-se os indicadores utilizados para caracterizar as condições de escoamento de tráfego bem como os resultados obtidos numa recolha de dados realizada em alguns arruamentos representativos da Cidade do Porto, ao longo de um ano, com uma periodicidade bimestral.

### **1. INTRODUÇÃO**

O aumento da mobilidade das pessoas, traduzido não só pelo número crescente de viagens que realizam, mas também pelas maiores distâncias que percorrem, e o facto da escolha do modo de transporte não ser a mais favorável sob o ponto de vista da ocupação do espaço viário, tornam cada vez mais complexa a tarefa da gestão e controlo do tráfego. Esta situação agrava-se em zonas urbanas consolidadas onde a estrutura viária não está, nem é possível prepará-la, para corresponder, de uma forma sustentável, às necessidades dos volumes crescentes de transporte individual motorizado, conduzindo a situações de congestionamento recorrente, que se traduzem na imprevisibilidade dos tempos de percurso, em perdas de tempo e nos aumentos do consumo de combustível e das emissões poluentes. Este problema, apesar

de não ser recente, apresenta uma nova dimensão no espaço (maiores áreas abrangidas) e no tempo (períodos de ponta mais alargados). Em conclusão, verifica-se não apenas a degradação da qualidade de vida dos cidadãos, quer dos que desejam viajar, quer dos que não o fazendo ficam sujeitos aos impactes negativos que dele resultam, mas também a perda de competitividade económica dessas zonas.

Assim, importa analisar as condições de escoamento de tráfego em zonas urbanas, quer num plano macroscópico, com o objectivo de se obter uma avaliação global das condições de escoamento de tráfego na rede e em alguns percursos previamente definidos, quer num plano microscópico, com vista a identificar os locais com maiores dificuldades de circulação.

Esta avaliação deve ser feita na perspectiva do utilizador, o que requer que se selecione(m) indicador(es) fácil(eis) de medir, que permita(m) obter uma medida com aproximação aceitável do modo como os utilizadores fazem essa avaliação. Em geral é aceite que o tempo de percurso, associado a outros parâmetros calculáveis a partir deste, como sejam a velocidade, o tempo parado, o atraso, etc., preenchem os pressupostos enunciados.

Para a obtenção dos tempos de percurso a técnica mais comum consiste em registar, de forma manual, os tempos de passagem, em secções pré-definidas, de um veículo-teste incorporado na corrente de tráfego que se pretende avaliar. Esta recolha de dados pode ser realizada de forma automática se o veículo-teste estiver equipado com instrumentação capaz de registar com bastante rigor a sua evolução no espaço. No Laboratório de Análise de Tráfego da FEUP está em fase final de desenvolvimento um projecto que visa dotar um veículo corrente de um sistema, tendo por base equipamento de posicionamento GPS apoiado por sensores de outro tipo, que permite registar a respectiva trajectória e obter outras características dinâmicas. Uma outra possibilidade de obter o tempo de percurso é fazer-se a leitura da matrícula e o registo dos instantes de passagem no início e fim do segmento de uma sucessão de veículos. Neste caso, o tempo de percurso obtém-se pelas diferenças entre instantes registados, associados em pares que se fazem corresponder ao mesmo veículo através do confronto das matrículas disponíveis, sendo que a digitalização da imagem e o reconhecimento automático das matrículas trazem significativas melhorias ao processo.

A impossibilidade prática de se obter o tempo de percurso para o universo de todos os veículos que circulam em todas as ruas de uma determinada zona geográfica durante um certo intervalo de tempo obriga a que se recorra a uma amostra suficientemente representativa, quer no espaço (vias representativas) quer no tempo (reflectindo as variações do tráfego ao longo do tempo), de forma a não invalidar as conclusões que se retiram.

A cidade do Porto, dado o efeito de atracção que exerce sobre as áreas urbanas adjacentes e a estrutura viária que apresenta, é apontada como um exemplo de uma zona em que as

condições de circulação são deficientes, sendo esta uma das principais preocupações da população. Assim, integrado num estudo mais amplo de caracterização da qualidade de vida na cidade do Porto, foi efectuada uma recolha de dados de tráfego em alguns arruamentos representativos da cidade, ao longo de um ano, com uma periodicidade bimestral, com vista a caracterizar as condições de escoamento de tráfego e a identificar os segmentos da rede onde as condições de circulação são mais difíceis.

## **2. METODOLOGIA**

### **2.1. Indicadores**

A avaliação das condições gerais de escoamento de tráfego pressupõe que sejam seleccionados indicadores que reflectam o modo como os utilizadores da rede viária fazem a apreciação das condições de circulação e, cumulativamente, sejam fáceis de medir. O tempo de percurso, definido como o intervalo de tempo gasto a percorrer a distância entre dois pontos da rede viária (segmento) preenche os requisitos anteriores, embora, só por si, não permita quantificar as condições de circulação. De facto, este indicador está associado à distância e, por outro lado, tempos de percurso elevados tanto podem significar situações de congestionamento em segmentos com boas características geométricas como corresponder a condições de circulação fluida em segmentos com características geométricas e/ou de operação restritivas.

A velocidade, sendo uma distância percorrida por unidade de tempo, não apresenta um dos inconvenientes referidos anteriormente e é facilmente calculável, desde que seja conhecido o comprimento do segmento. Assim, considerou-se a velocidade de percurso, definida como o quociente entre a distância percorrida e o tempo de percurso, incluindo neste não apenas o intervalo de tempo em que o veículo está em movimento (tempo de marcha), mas também o tempo parado, considerando-se, para este efeito e por razões práticas, o tempo parado como o intervalo de tempo correspondente a uma velocidade instantânea inferior a 5 km/h, estimada pelo condutor.

Embora a velocidade de percurso possa reflectir as condições de circulação, já que um aumento dos volumes de tráfego tem como consequência o aumento da concentração e, consequentemente, uma diminuição da velocidade, este indicador está ainda associado às características geométricas das vias. Por este motivo, é útil considerar-se um parâmetro que, independentemente do tipo de vias, tenha em conta apenas as condições de circulação, nomeadamente o tempo que “se perde” em virtude de se estar parado. Assim, considerou-se a proporção do tempo parado definido como o quociente entre o tempo parado e o tempo de percurso. Note-se que tempos de paragem elevados podem estar associados a estrangulamentos pontuais da rede, nomeadamente intersecções saturadas ou a funcionar perto

do regime de saturação, ou a condições de escoamento de tráfego correspondentes a situações de congestionamento.

O tempo de percurso pode ser medido em condições de circulação fluida, ou seja, em situações em que a velocidade não é condicionada pela presença de outros veículos (escoamento livre) mas apenas dependente das características geométricas do troço e das condições fixas de operação (sinalização, disposições regulamentares, estado do pavimento, etc.) e em situações correntes, seja em períodos de ponta, seja em períodos fora da hora de ponta em que a presença de outros veículos condiciona a velocidade. Então, pode ser considerado um outro indicador, atraso, definido como a diferença entre os tempos de percursos e o tempo de referência, sendo este respeitante ao escoamento livre. Valores de atraso elevados conjugados com proporções de tempo parado reduzidas significam, regra geral, que o avanço dos veículos se processa de modo mais ou menos constante, mas sob constrangimentos que permanecem ao longo da deslocação, indiciando condições de circulação próximas do congestionamento. Uma vez que o atraso, referido anteriormente, depende da extensão do segmento dever-se-á adoptar o atraso por quilómetro, definido como o quociente entre o valor do atraso e a distância percorrida.

Os indicadores referidos são fáceis de obter, pressupõem o conhecimento das extensões dos segmentos bem como dos tempos de percurso, e a sua utilização conjugada permite caracterizar as condições de escoamento de tráfego, na perspectiva do utilizador, bem como identificar segmentos críticos, ou seja, aqueles em que as condições de circulação são mais difíceis.

## **2.2. Amostra**

O registo dos indicadores referidos para o universo de todos os veículos que circulam em todas as ruas de uma determinada zona geográfica é, na prática, impossível. Assim, dever-se-á escolher um conjunto de eixos viários com características geométricas e de operação diversificadas (auto-estradas urbanas, ruas de dois sentidos e de sentido único, vias circulares e radiais, etc.) mas que tenham em comum o facto de assegurarem essencialmente a função mobilidade (vias colectoras e distribuidoras principais), já que o objectivo será avaliar a maior ou menor facilidade com que os veículos se deslocam. As vias seleccionadas devem ser subdivididas em tramos elementares, segmentos, de forma a constituírem troços em que as características físicas e de tráfego sejam homogéneas e a facilitar a identificação dos pontos críticos da rede que justifiquem eventual intervenção, quer geométrica quer de gestão de tráfego. Por outro lado, a consideração de segmentos possibilita a definição à posteriori e consequente avaliação de percursos diversos no conjunto da rede, com uma lógica de funcionamento específica ou de ligação entre pólos de atracção distintos.

Para além da dimensão espaço, a amostra deverá ainda ser representativa na dimensão tempo, devendo ser especificado se se pretende avaliar a rede nos períodos de ponta (manhã e/ou tarde) ou fora do período de ponta. O número de observações deverá ser o suficiente, de forma a não invalidar as conclusões que se pretendem retirar. Por outro lado, as observações devem ser realizadas em simultâneo e num período de tempo suficientemente curto, para que não haja flutuações significativas na procura na rede e, sempre que se utilizem dias distintos, deverá haver a preocupação de não seleccionar dias em que estejam previstos eventos especiais que podem influenciar a procura, a não ser que o motivo do estudo seja a caracterização das condições de circulação nesses dias.

### **2.3. Recolha de dados**

A obtenção dos indicadores referidos pressupõe medir o tempo de percurso entre dois pontos da rede viária, sendo conhecida a distância percorrida entre esses pontos. Para tal, devem ser registados os instantes de passagem em locais previamente seleccionados (secções de controlo), materializados de uma forma que não permita ambiguidades quanto à sua localização precisa. Os segmentos, compreendidos entre as secções de controlo adjacentes, são as unidades mais pequenas para as quais são calculados a velocidade de percurso, a proporção de tempo parado e o atraso por quilómetro. Alguns dos segmentos podem ser agregados de forma a constituírem percursos, correspondentes a parte ou à totalidade de uma viagem, que serão igualmente objecto de avaliação.

Para o registo do instante de passagem utiliza-se o método do observador móvel adaptado, que consiste num veículo-teste integrado na corrente de tráfego, conduzido por um condutor que deve adoptar uma velocidade representativa das condições de circulação da corrente de tráfego em que se insere, respeitando a sinalização e regras de boa conduta ao volante.

A aplicação deste método implica o registo de variáveis sendo, para isso, necessário um auxiliar com funções de navegação/registo. As variáveis registadas são o instante de passagem nas secções de controlo, o tempo parado e a causa das paragens (semáforo, paragem de autocarro, etc.). Relativamente ao tempo parado, utilizou-se o conceito de “paragem múltipla” que traduz situações, normalmente ligadas à existência de filas de espera, em que há avanços a velocidade muito reduzida misturados com tempos significativos de imobilização. Para estas situações, enquanto a velocidade não exceder a ordem dos 5 km/h o tempo é contabilizado como tempo parado.

Para medir os tempos poderão ser utilizados cronómetros de mão, de elevada precisão e com possibilidade de parar momentaneamente a indicação do tempo do mostrador sem parar realmente a contagem, o que facilita a leitura e registo dos tempos de passagem numa dada secção. Os dados são registados em folhas, previamente preparadas, que devem incluir o

esquema simplificado do percurso a realizar, a localização das secções de controlo, campos de preenchimento para o início/fim de cada paragem, o motivo da paragem e campos para dados gerais, tais como, o dia/hora de realização da tarefa, o nome dos operadores e o estado do tempo.

### **3. APLICAÇÃO À CIDADE DO PORTO**

Uma aplicação dos conceitos anteriormente referidos à cidade do Porto foi realizada entre Julho de 2002 e Julho de 2003, baseada na repetição, em seis campanhas de observação distintas, de idênticas técnicas e metodologias à mesma amostra espacial da rede viária da cidade.

Cada uma das campanhas, com excepção da primeira, englobou seis períodos de observação distintos, realizados em duas semanas e distribuídos por três dias consecutivos a meio de cada semana, no período da hora de ponta da manhã. No caso da primeira campanha de recolha de dados, dificuldades operacionais levaram a que fosse necessário realizar algumas das observações na segunda-feira e também na sexta-feira da mesma semana.

Para além dos 36 (6 campanhas vezes 6 períodos de observação por campanha) períodos observados no total, a mesma amostra da rede foi percorrida no dia 1 de Agosto de 2002, fora das horas de ponta habituais, com o objectivo de determinar, dentro dos limites da realidade possível, os tempos de percurso numa situação de regime de circulação livre (tempo de referência, para o cálculo do atraso), com velocidades apenas dependentes de condicionalismos legais ou pelas características geométricas da rede viária.

Para cada uma das observações, dada a extensão de rede a percorrer e a intenção de se procurar concentrar a recolha de dados num período de tempo suficientemente curto para que as condições de circulação não variassem muito em função da procura existente, foram mobilizadas duas viaturas em simultâneo. Em cada viatura seguiam um condutor e um operador, fazendo este o registo das variáveis observadas em folhas previamente preparadas para o efeito com a descrição gráfica simplificada do itinerário a percorrer. A título de curiosidade refira-se que foi necessário utilizar, no total, 1440 destas folhas de registo de dados.

A selecção da amostra da rede a percorrer revestiu-se de alguma complexidade, dado que se pretendia de algum modo caracterizar as condições de circulação da cidade no seu conjunto, mas também conseguir um grau de resolução das variáveis observadas que permitisse tirar conclusões válidas para algumas zonas individualizadas consideradas mais críticas. Ao mesmo tempo conviria conseguir a integração de troços da rede com características geométricas muito diversas, uma vez que na rede viária da cidade do Porto se pode considerar

que à hierarquia funcional dos seus diversos arcos nem sempre corresponde uma graduação equivalente das respectivas características físicas (largura da via, um ou dois sentidos de circulação, existência de estacionamento, tipo de pavimento, tipo de regulação das intersecções, etc.).

A amostra retida acabou por incluir troços em auto-estrada urbana, ruas de dois sentidos e de sentido único, vias circulares e radiais e de características diversificadas, mas tendo em comum entre si o facto de assegurarem uma função reconhecidamente importante nas deslocações automóveis na cidade do Porto.

Por outro lado, é possível identificar como parte da amostra observada três conjuntos de segmentos que formam percursos bem caracterizados: um percurso de tipo circular ligando a parte ocidental à parte oriental da cidade através da VCI, com características de auto-estrada urbana (4,830 km); uma ligação mais curta entre dois pólos centrais, Avenida dos Aliados e Rotunda da Boavista, feita por vias distintas em razão dos sentidos únicos que predominam na área atravessada (2,443 km – 2,515 km); o conjunto de 6 vias radiais que se concentram na Rotunda da Boavista, a qual representa hoje uma centralidade de comércio e serviços que progrida cada vez mais em relação à baixa tradicional (7,591 km).



Fig. 1 – Rede observada

A rede observada em cada período totaliza 29,9 km. Ao longo dessa extensão foram localizados 55 secções de controlo, mas estas apenas permitem definir 44 segmentos independentes, pois não há um encadeamento único de todo o itinerário observado, já que

algumas das secções de controlo são as “pontas” isoladas de linhas independentes entre si. É para cada um destes segmentos que são calculados os diversos indicadores utilizados na caracterização da rede.

#### **4. ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE CIRCULAÇÃO**

Com base nos dados recolhidos, foram calculados os três parâmetros considerados como definidores das condições de circulação rodoviária nos períodos observados: velocidade de percurso, proporção do tempo parado e atraso (em relação a uma situação de circulação em regime livre).

A exploração dos dados obtidos para seu relacionamento com as variáveis finais pretendidas foi realizada tomando como unidade de tratamento aquilo que se designou por “segmento”, cujos comprimentos variam entre 0,299 km e 1,912 km. Uma primeira leitura dos resultados pode portanto ser efectuada à escala mais detalhada dos segmentos.

No entanto, como já foi atrás referido, certos segmentos espacialmente consecutivos e com características afins foram agregados em “percursos”, permitindo uma análise mais global do funcionamento de certas ligações no interior da cidade.

Finalmente, as variáveis foram também consideradas em conjunto, de modo a ser possível tirar algumas conclusões para a rede toda em geral, numa visão mais macroscópica do seu funcionamento.

##### **4.1. Análise dos segmentos**

Se considerados todos os valores obtidos para os 44 segmentos nos seis períodos de observação distintos, verifica-se, como seria de esperar, que há segmentos em que a dispersão de valores é maior que noutros. Em 40% dos segmentos verificaram-se variações das velocidades, de um período para outro, superiores a 50%.

Se considerarmos os valores médios das mesmas velocidades para cada segmento, teremos uma variação entre um mínimo de 6,8 km/h e um máximo de 48,0 km/h, sendo que este máximo ocorre na VCI (auto-estrada urbana com velocidade legalmente limitada a 90 km/h). Apenas um dos segmentos apresenta uma média das velocidades abaixo dos 10 km/h, embora 8 deles apresentem pelo menos um valor isolado abaixo deste limite. Por outro lado, 25% dos segmentos têm esse valor médio entre 10 km/h e 15 km/h.

Ao fazer uma análise à proporção do tempo parado, também calculada a média deste parâmetro para cada segmento nas seis épocas de observação, constata-se que aquele varia



entre o mínimo de 4% e o máximo de 76%. Em 5 segmentos os veículos estão parados, em média, mais de metade do tempo total de percurso e apenas em cerca de um terço dos casos a proporção do tempo parado desce abaixo dos 25 %.

Sabendo-se da particular sensibilidade dos condutores ao facto de serem obrigados a gastar parte do seu tempo completamente parados no trânsito, os valores encontrados talvez expliquem em grande medida a insatisfação generalizada sobre as condições de circulação na cidade do Porto que todos os inquéritos parecem mostrar.

Tomando como referência os atrasos calculados em relação aos tempos de percurso em regime livre, verifica-se que a média do atraso varia entre o valor de 0,6 min/km e o valor de 3 min/km.

Em 12 segmentos o atraso é inferior a 1 min/km, mas em 10 outros segmentos o mesmo atraso é superior a 2 min/km.

#### **4.2. Análise dos percursos**

Quando agregados os segmentos em cada um dos três grupos de percursos anteriormente referidos, continua a haver bastante semelhança dos valores ao longo das diferentes épocas, mas pode verificar-se a diferença de comportamentos de percurso para percurso.

Ao longo da VCI as velocidades são mais elevadas que na restante rede, mas situam-se ainda, em média, ligeiramente abaixo dos 40 km/h. A proporção do tempo parado fica-se, como seria de esperar neste tipo de via, por valores da ordem dos 8 % e o atraso médio é de 0,8 min/km.

Nos percursos nos dois sentidos entre a Avenida dos Aliados e a Rotunda da Boavista não há grandes diferenças entre sentidos, embora os arruamentos percorridos sejam distintos. As velocidades médias andam pelos 17 ou 18 km/h, mas verificam-se proporções do tempo parado de 25 % e 30 % e atrasos inferiores a 2 min/km.

No conjunto de acessos à Rotunda da Boavista não há homogeneidade entre as várias radiais observadas, provavelmente porque umas estão na sequência de vias de entrada na cidade e outras correspondem mais a abordagens a partir do seu interior. Em todo o caso, as velocidades médias apenas ultrapassam ligeiramente os 20 km/h em poucos casos, havendo casos em que a proporção de tempo parado excede os 50 % e há atrasos de 3 e mesmo mais minutos por quilómetro percorrido.

#### **4.3. Análise da rede**

Para caracterizar o funcionamento do conjunto de toda a rede foram calculadas as médias globais dos diversos parâmetros utilizados neste trabalho.

A velocidade média de circulação obtida foi de 17,0 km/h, com um desvio padrão de apenas 0,4 km/h, não se tendo observado nenhuma tendência generalizada significativa de alteração em qualquer dos sentidos ao longo do ano que decorreu entre a primeira e a última das observações. A proporção de tempo parado médio achada foi de 36 %, com um desvio padrão correspondente de 2 %, o que quer dizer que, em média, os condutores estão parados no trânsito mais de um terço do tempo da deslocação que efectuam. O atraso médio obtido para toda a rede foi de 1,6 min/km, com um desvio padrão de 0,1 min/km. Pelo que, só na amostra observada, demorou-se em média mais 48 minutos a percorrê-la que o que seria necessário se houvesse total fluidez de circulação.

Os valores encontrados não surpreendem ninguém, antes correspondem qualitativamente a outros resultados obtidos por outras vias de análise e à opinião que parece generalizada entre os técnicos ligados à gestão da rede rodoviária da cidade e entre os próprios condutores que habitualmente nela circulam.

Com a finalidade de tentar identificar também alguns pontos críticos da rede, foram classificados todos os segmentos segundo o critério da velocidade média encontrada (classes: abaixo de 10 km/h, entre 10 e 15 km/h e acima de 15 km/h) e da proporção média do tempo parado (classes: acima de 50 %, entre 50 e 40 % e abaixo de 40%). Como já foi anteriormente referido, a intervenção dos dois critérios é importante, pois a existência de uma elevada proporção do tempo parado em simultâneo com velocidades não muito baixas pode indicar que a circulação se pode fazer facilmente ao longo da via e é interrompida por motivos muito localizados no espaço, presumivelmente nas intersecções. Pelo contrário a coexistência de proporções do tempo parado baixas com velocidades também baixas pode indiciar que a resistência ao avanço se encontra distribuída ao longo do percurso, com mais probabilidade de se dever a causas mais ligadas aos arcos que aos nós da rede.

Com este procedimento, a matriz elaborada permitiu estabelecer a prioridade das intervenções a realizar nos segmentos críticos, das quais poderá decorrer uma melhoria das condições de escoamento de tráfego, directamente nesses locais e indirectamente no conjunto da rede.

## **BIBLIOGRAFIA**

Costa, A. P., Vasconcelos, A. J., Rodrigues, C. M., Carvalho, R. P. – “Condições de Escoamento de Tráfego – Cidade do Porto”. Relatório Final. Centro de Transportes – FEUP. Porto. 2003.