

Levantamento Expedito de Dados para Reprogramação Semafórica

Luis Vilanova*

1. Apresentação

Este trabalho discorre sobre os passos necessários para levantar os dados que serão utilizados no cálculo da reprogramação de um semáforo já existente. Não se aplica às situações em que o semáforo ainda será implantado. Especificamente, pretendemos divulgar um método expedito que simplifica bastante o volume de trabalho envolvido. Tem sido usado rotineiramente pela CET de São Paulo e tem mostrado, na prática, excelentes resultados, melhores inclusive do que o método tradicional. O item 5.5 explica tal aparente paradoxo.

O método expedito foi desenvolvido a fim de viabilizar a aplicação de programas simuladores de redes de semáforos, embora possa igualmente ser utilizado para subsidiar outros métodos de cálculo. O grande volume de trabalho exigido para carregar o simulador acaba desestimulando e, muitas vezes, impossibilitando seu uso. O propósito da criação do método foi o de oferecer um caminho factível que pudesse levar, através da utilização de simuladores com dados simplificados, a programações melhores do que aquelas feitas “no olho”, mesmo que não alcançasse a qualidade que adviria de uma pesquisa mais completa e detalhada.

É interessante comentar, neste ponto, que a dificuldade em levantar dados confiáveis acaba, muitas vezes, prejudicando a imagem do programa simulador. Quando a programação calculada pelo simulador é ruim, a tendência é culpar a sua qualidade e não a dos dados inseridos. O programa Transyt, indubitavelmente um aplicativo de primeira linha, foi criticado injustamente em São Paulo durante muitos anos. Quando, há dois anos, a CET de São Paulo terminou de produzir o simulador SIRI, que calcula a programação de redes de semáforos, a questão foi retomada. Lançar um simulador novo, sem cuidar do aspecto de levantamento de dados, seria, com certeza, condená-lo à execração. Procurou-se, então, criar um método de levantamento de dados que produzisse *inputs* confiáveis e que, simultaneamente, não exigisse demasiado esforço na pesquisa, o que terminaria inviabilizando a aplicação do programa, por motivos de ordem prática.

Os itens 2, 3 e 4, deste texto, dissertam sobre noções básicas do levantamento de dados, que servem tanto para a pesquisa tradicional como para a expedita.

O item 5 descreve as pesquisas expeditas, propósito principal deste trabalho e as compara com os métodos mais usuais.

O item 6 trata das pesquisas sobre pedestres e o item 7 do tempo de percurso dos veículos. O método expedito não se ocupou dessas pesquisas porque são bastante simples e não há necessidade de reduzir o trabalho envolvido. Apresentamos, tão somente, o tratamento que se costuma dar ao assunto.

Finalmente, o item 8 dá uma pincelada nos casos em que o semáforo ainda não está instalado, o que impede a aplicação do método expedito.

2. A importância do levantamento de dados

A etapa de levantamento de dados só ser encarada como uma “parte menos nobre” da Engenharia de Trânsito. Os responsáveis pela programação dos semáforos (que daqui em diante vamos chamar apenas de programadores) esboçam croquis dos movimentos que devem ser pesquisados, os entregam a pessoal geralmente não-qualificado que vai ao campo e realiza as medições encomendadas. As folhas de campo são tabuladas e o material é devolvido ao programador que lê os valores coletados e os transforma em valores de projeto, os quais serão utilizados para calcular a nova programação.

Este distanciamento entre o programador e a pesquisa em campo acarreta uma série de conseqüências negativas. Os dados voltam da rua e o programador só enxerga um monte de números frios e, muitas vezes, incompreensíveis. Não consegue interpretar os dados sob o prisma das características do local.

Somos da opinião que a Engenharia de Trânsito começa na etapa do levantamento de dados. Um perito que conheça o local, tanto no aspecto da configuração física como do comportamento do trânsito pode preparar pesquisas mais adequadas. Aspectos que tenham relevância serão mais bem detalhados. Não se gastará esforço em contagens burocráticas de movimentos sem importância. Quando os dados chegarem à mesa do programador, ele saberá interpretar os resultados e explicar aparentes anomalias. Possíveis erros de levantamento serão identificados mais facilmente e não creditados a ocorrências “estranhas” que teriam acontecido. Não estamos pregando nenhuma complexa metodologia. Apenas a de se debruçar sobre o problema e refletir um pouco antes de encomendar montanhas de pesquisas.

É importante sublinhar a necessidade de que o programador acompanhe, pelo menos parcialmente, o desenrolar das pesquisas em campo. Desta forma, poderá aquilatar muito melhor tanto a qualidade como o significado dos dados registrados. Aconselhamos, inclusive, que o responsável pela programação também realize pessoalmente contagens e levantamentos, pois é uma ótima maneira de ganhar sensibilidade a respeito da rede que está encarregado de programar. Um programador experiente, numa vistoria, percebe uma série de fatores importantes que devem ser considerados. Mas se, além disso, ele toma uma atitude mais ativa e participa das contagens, dos levantamentos dos tempos de percurso, das medições do fluxo de saturação, etc., ele vai conseguir refinar a percepção das características relevantes do local. Uma coisa é perceber algo qualitativamente. Mas quando somos obrigados a quantificar o que estamos vendo, passamos a ganhar outra dimensão na própria percepção qualitativa.

3. Dados que é necessário levantar

Costuma-se representar uma rede de semáforos por um diagrama unifilar, composto de nós, sob a forma de círculos, que correspondem aos semáforos e de links, sob a forma

de setas, que representam os trechos das vias que fazem parte da rede. O sentido da seta do link mostra o sentido da circulação naquele trecho.

A figura 1 ilustra um diagrama que corresponde a uma rede de dois semáforos, instalados nos cruzamentos de uma avenida de dupla mão (com ou sem canteiro central, tanto faz), com duas transversais que constituem um binário.

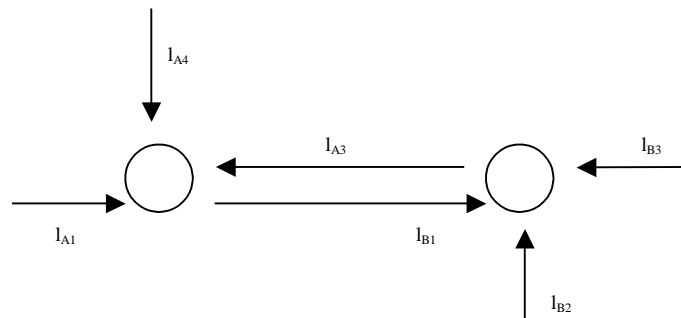


Figura 1

Os cruzamentos semaforizados são representados pelos círculos A e B. Os trechos das vias que se aproximam dos semáforos vindos de fora da rede são chamados de *links* externos. Trata-se das setas I_{A1} , I_{A4} , I_{B2} e I_{B3} na figura 1. Os trechos das vias que unem dois semáforos da rede são representados por setas que unem os círculos correspondentes. São chamados de *links* internos. São as setas I_{A3} e I_{B1} no exemplo. Repare que o trecho da via que liga os dois semáforos é subdividido em dois *links*, para poder representar os dois sentidos de direção que a via tem naquele trecho. O *link*, portanto, não corresponde apenas a um trecho de via, mas, sim, a um trecho de via que possui uma determinada mão de direção.

Feita esta introdução, vamos voltar ao tema do levantamento de dados.

Normalmente, as informações sobre os nós (semáforos) já constam nos cadastros do arquivo técnico. Caso contrário, vistorias em campo deverão anotar os seguintes dados:

- a) Movimentos que são liberados em cada um dos estágios do ciclo;
- b) Seqüência dos estágios;
- c) Estágios que são dependentes de demanda (por exemplo, botoeira);
- d) Horários de entrada e saída de cada um dos planos;
- e) Para cada plano:
 - e1) Tempo do ciclo;
 - e2) Tempo de cada um dos estágios;
 - e3) Tempos dos entreverdes;
 - e4) Defasagem

As informações a respeito dos *links* constituem a parte principal do trabalho de pesquisa.

Deve-se medir o Fluxo de Saturação de todos os *links*. Geralmente, é possível adotar o mesmo valor para todos os planos. Entretanto, ocorrem situações em que o Fluxo de Saturação varia significativamente de acordo com o período do dia. O exemplo mais

comum é o de um *link* que tem estacionamento proibido na aproximação do semáforo durante o horário de pico e estacionamento permitido no resto do dia. Deverão ser coletados os dois valores a fim de conseguir representar adequadamente cada uma das situações.

No semáforo crítico, é necessário medir o Fluxo durante todo o intervalo do dia em que o trabalho de reprogramação será levado a cabo. (item 5.1)

É necessário medir o Fluxo em todos os *links* para cada um dos planos. Portanto, antes da pesquisa de Fluxo ser iniciada, já devemos saber quais serão os períodos de vigência de todos os planos a fim de poder preparar as contagens correspondentes a cada um deles dentro do seu período de atuação.

No que se refere ao tempo de percurso, basta medi-lo nos *links* internos. Como o tempo de percurso deve ser pesquisado numa situação de trânsito livre, ele não depende de variações nas características do trânsito ao longo do dia. Portanto, para cada *link interno*, um único valor servirá para todos os planos.

4. Vistoria prévia

Antes de preparar/encomendar uma pesquisa, deve-se ir ao local e fazer uma vistoria prévia, que tem a função de preparar a logística do trabalho. Serão verificados os seguintes itens:

- a) Dimensionamento da quantidade de pesquisadores para cada semáforo;
- b) Atribuição a cada pesquisador dos movimentos que deverá levantar;
- c) Identificação dos grupos de semáforos que devem, obrigatoriamente, ser pesquisados simultaneamente;
- d) Determinação dos dias de semana e horários em que cada pesquisa será desenvolvida;
- e) Marcação do local exato do cruzamento em que deverão ser posicionados os pesquisadores;
- f) Identificação de estabelecimentos comerciais que possam servir de suporte ao pessoal durante a pesquisa. (banheiro, lanches, etc.);
- g) Confirmação dos movimentos que devem ser contados. Verificação dos movimentos proibidos, dos movimentos que podem ser contados simultaneamente pela mesma pessoa; identificação de eventuais movimentos que podem ser desprezados;
- h) Levantamento dos locais de pontos de ônibus;
- i) Reconhecimento de características locais que possam vir a interferir na pesquisa como, por exemplo, escolas que gerem uma demanda concentrada em curtos períodos do dia.

Alguns dos itens listados não precisam ser tratados por técnicos de trânsito, pois são atividades do tipo administrativo, mas várias tarefas deverão ser executadas pelo próprio programador.

Tomando por base a vistoria prévia e o cadastro anterior, serão elaborados os formulários que serão preenchidos pelo pessoal de campo durante o desenrolar da pesquisa.

5. Pesquisa expedita

Este item constitui o cerne deste trabalho. Nele, vamos descrever um método que exige menos esforço para levantar os dados de campo, tanto na quantidade de recursos humanos e materiais como no tempo despendido.

A par destas vantagens, os técnicos que o utilizam têm conseguido resultados ou equivalentes ou ainda melhores do que aqueles obtidos pelos métodos tradicionais.

5.1. Dados para a determinação da Tabela Horária

Antes de entrar propriamente no tema do levantamento de dados, será útil fazer alguns comentários sobre a Tabela Horária, onde são programados os instantes de entrada e saída dos planos.

À primeira vista, parece ser bastante óbvia a determinação dos instantes em que devem ocorrer as trocas de planos. Pode-se imaginar que basta atribuir um plano específico para cada período de pico e um para cada período de entre-picos, madrugada inclusive.

É muito comum encontrar uma tabela horária para dias úteis com, mais ou menos, a seguinte configuração:

Plano 1 - das 6:00 às 9:00 (pico da manhã)
Plano 2 - das 9:00 às 12:00
Plano 3 - das 12:00 às 14:00 (pico do almoço)
Plano 4 - das 14:00 às 17:00
Plano 5 - das 17:00 às 20:15 (pico da tarde)
Plano 6 - das 20:15:00 às 00:00
Plano 7 - das 00:00 às 6:00

Tal distribuição, que atende bastante bem a um grande número de casos, acaba tornando-se padrão na cabeça do programador, o que é péssimo, pois passam a ser ignoradas peculiaridades que se manifestam em muitos locais. Regiões centrais, por exemplo, tendem a apresentar um perfil mais uniforme ao longo do dia, enquanto que áreas mais afastadas se caracterizam por picos acentuados e volume baixo no resto do tempo.

Aproveitamos para fazer uma observação sobre o pico do almoço no exemplo de distribuição apresentado. Geralmente, existe uma movimentação mais acentuada por volta do meio-dia, quando as pessoas vão almoçar. Outro pico aparece por volta das duas da tarde, quando voltam às suas atividades. Logo, parece mais apropriado reservar um plano para o intervalo entre 11:30 e 12:30 e outro das 13:30 às 14:30, por exemplo. O período entre as 12:30 e as 13:30 seria atendido com um plano com tempo de ciclo mais baixo. Evidentemente, tanto o exemplo que demos como as observações posteriores não se aplicam a todas as regiões e, muito menos, a todas as cidades. Características próprias modificam substancialmente os instantes mais adequados para a troca de planos.

É importante sublinhar uma observação prática bastante curiosa. Geralmente, a decisão sobre o instante mais apropriado para substituir um plano é feita através do acompanhamento visual do comportamento do trânsito. Estamos no pico da manhã, por exemplo. O programador vai observando o volume de trânsito e escolhe o instante em que ele começa a cair significativamente para substituir o plano do pico por outro mais “baixo”. Provavelmente, a decisão do programador será equivocada. O motivo é que o tempo de ciclo do plano do pico é, normalmente, bastante alto, o que implica em vermelhos grandes e, conseqüentemente, filas extensas. Filas compridas dão a impressão visual de que o volume ainda é forte e de que o pico ainda não terminou. O volume vai ter de cair muito para que o programador se convença de que pode tirar o plano do pico. É muito difícil, mesmo para programadores experientes, acertar o instante correto, o que implica numa decisão atrasada de troca de planos. Por isso, defendemos que a determinação da tabela horária seja feita através da interpretação de dados medidos em campo e não, somente, através de vistoria subjetiva.

Queremos lembrar, também, que toda troca de planos tem um custo, principalmente se implicar em alteração no tempo de ciclo. Há um período de transição entre o plano velho e o novo, onde os tempos dos semáforos não são nem uma coisa nem outra. É um período de perturbação, em que as defasagens podem estar totalmente invertidas e a distribuição dos tempos de verde bastante desequilibrada. Somente nos casos em que os dois planos compartilham o mesmo tempo de ciclo é que a perturbação é mínima. Concluimos, então, que decidir pela substituição de um plano exige avaliar se o ganho advindo superará a perturbação da transição. Deixar um tempo de ciclo diferente por um período de apenas meia-hora, por exemplo, certamente não será um bom negócio.

E para finalizar, uma dica de ordem operacional. Vamos considerar uma rede de semáforos, onde o pico da manhã começa às 7:00 horas. Pode ser até que o trânsito seja “bem-comportado” naquela região e que o pico comece quase sempre às 7:00 horas. Mas sempre haverá um dia ou outro, que por razões várias, o pico terá início um pouco mais cedo. Nesses casos, quando as 7:00 horas chegarem, já haverá, provavelmente, um acúmulo de veículos indesejado, que não conseguiu ser tratado adequadamente pelo plano anterior, que tinha um ciclo baixo, apropriado para a madrugada. A conseqüência é que o resto do pico da manhã será prejudicado devido ao “estoque” adicional de veículos que o plano do pico da manhã encontrou. Sugerimos, por medida de segurança, que os planos de pico entrem 15 minutos mais cedo do que o teoricamente necessário e que se estendam até 15 minutos após o término normal do pico.

Feita esta breve digressão, voltemos ao nosso tema principal.

Normalmente, o melhor procedimento para estabelecer os instantes de entrada e saída dos planos é o de se guiar pelo perfil do somatório das taxas de ocupação, ao longo do dia, do semáforo crítico da rede. O semáforo crítico é aquele que tem o maior somatório das taxas de ocupação dos movimentos críticos e que, por isso, é o responsável pelo valor do tempo de ciclo da rede. A necessidade de se alterar o tempo de ciclo é o motivo mais freqüente para se substituir um plano. É muito menos comum que se troque um plano para alterar a repartição dos verdes, e mais raro ainda, para modificar alguma defasagem.

A fim de obter o perfil desejado, traçamos um gráfico em que o eixo das abcissas representa o tempo e o eixo das ordenadas mostra o somatório das taxas de ocupação

dos movimentos críticos no semáforo crítico da rede. O período analisado no eixo das abscissas vai depender, evidentemente, da abrangência do trabalho. Costuma ir das 7:00 h até as 20:00 h.

Visualmente são identificadas, no gráfico, algumas faixas dentro do período analisado de modo que tenhamos a situação mais homogênea possível dentro de cada faixa, ou seja, dentro de cada faixa o somatório das taxas de ocupação não deve variar demasiadamente. Por outro lado, como a cada faixa vai corresponder um plano distinto, não convém criar um grande número de faixas. Geralmente, a divisão de um dia útil em cinco ou seis faixas (cinco ou seis planos) se mostra bastante adequada.

A figura 2 nos dá uma idéia do trabalho a ser feito.

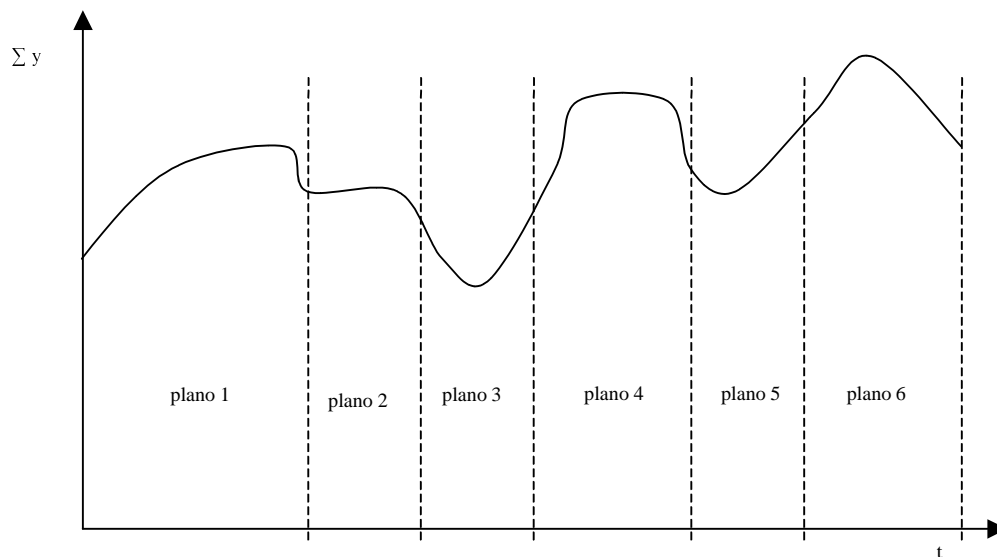


Figura 2

As seis faixas da Figura 2 foram escolhidas de sorte a obter a menor variação possível dentro de cada uma delas. É um processo subjetivo e outra pessoa chegaria, provavelmente, a uma solução um pouco diferente. Mas, geralmente, nos períodos mais críticos não há muita discrepância de opiniões. Ao escolhermos as faixas, ajuda lembrar que o tempo de ciclo daquela faixa será projetado para o maior somatório das taxas de ocupação daquela faixa, ou seja, para seu ponto mais alto.

Devemos atentar para o fato de que a escolha dos movimentos críticos a serem considerados pode variar durante o decorrer do dia. O caso mais típico é o cruzamento de uma avenida de dupla-mão com uma transversal de mão única. De manhã, por exemplo, tomaremos o somatório das taxas de ocupação de um dos sentidos da avenida com a transversal. É provável que durante o pico da noite devamos somar a taxa de ocupação da transversal com a taxa do outro sentido da avenida, que passou agora a ser crítico.

5.2. Fluxo

5.2.1. Intervalo de coleta

O método expedito estipula que seja contada e registrada a quantidade de veículos que passam a cada ciclo.

Este tipo de registro exige, evidentemente, que se conheça o valor do tempo de ciclo vigente enquanto se fazia a pesquisa, a fim de que se possa deduzir o valor de fluxo por hora, que é a unidade geralmente utilizada.

Deve-se atentar para a ocorrência de uma possível troca de planos durante a pesquisa. O melhor é programar antecipadamente a tabela horária para evitar a troca, mas, se isso não for possível, deve-se suspender a pesquisa enquanto os tempos do semáforo não voltam a operar em regime, após o distúrbio que costuma acompanhar toda troca de plano.

Existem movimentos que têm mais de um período de verde dentro do mesmo ciclo. Neste caso, é preciso contabilizar os veículos que passam em todos os períodos de verde para obter o valor do fluxo por ciclo.

Um subproduto interessante da contagem por ciclo é que o pesquisador vai percebendo claramente, ao longo do trabalho, a tendência de evolução do valor do fluxo. Isso é possível porque a base de comparação é sempre a mesma. Pode, então, associar a variação da demanda a eventos do tipo entrada de escola, congestionamento à frente, etc. Aliás, a grande vantagem de contabilizar o fluxo em cada ciclo é que o pesquisador tem condições de entender, na hora, quais os motivos das variações do fluxo. Essa informação pode vir a ser tão rica a ponto de justificar que a contagem dos veículos nos semáforos mais críticos seja feita pelo próprio engenheiro/técnico que irá calcular a programação.

As contagens tradicionais, por intervalos fixos, são efetuadas normalmente por pessoas alheias à programação semafórica. Essas pessoas registram, simplesmente, os valores contados e podem, no máximo, anotar algumas observações básicas, mas não têm condições de interpretar a dinâmica do fluxo do cruzamento sob o ponto de vista da programação semafórica. Um fato muito comum é o técnico responsável pela programação receber os formulários de campo e não conseguir entender alguns dados que encontra. Fica em dúvida se houve erro de anotação, ou se algum fator externo interferiu na pesquisa ou se o valor está realmente correto e deve ser considerado.

Uma curta observação final quanto à leitura por ciclo: todos os veículos que passam devem ser computados, independentemente se passaram no verde, amarelo ou vermelho.

5.2.2 Quais movimentos contar

Para calcular o tempo de ciclo e a repartição dos verdes, é suficiente contar o fluxo total que chega ao semáforo. Já para poder determinar as defasagens entre semáforos, deve-se levantar o fluxo dos movimentos entre eles.

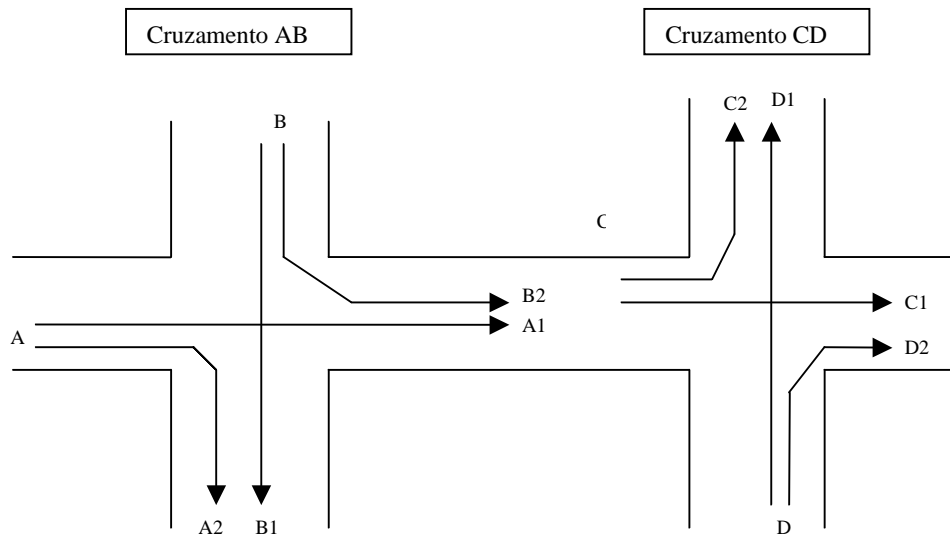


Figura 3

Na Figura 3, os dois cruzamentos pertencem a uma mesma rede.

Vamos chamar de F_A o fluxo total da aproximação A no cruzamento AB. Ele é igual à soma $F_{A1} + F_{A2}$ (fluxo do movimento A1 somado ao fluxo do movimento A2). Analogamente podem ser desagrupados os fluxos dos movimentos F_B , F_C e F_D .

Aplicando ao exemplo o conceito enunciado anteriormente, os valores de F_A , F_B , F_C e F_D servirão para calcular o tempo de ciclo e dos verdes, enquanto F_{A1} e F_{B2} serão utilizados para determinar a defasagem entre os dois cruzamentos.

Conclui-se, então, que somente é necessário conhecer os valores de F_A , F_B , F_C , F_D , F_{A1} e F_{B2} . Como os movimentos B1, A2, C1, C2, D1 e D2 não se dirigem a outros semáforos da rede, não é preciso quantificá-los. Recomendamos, entretanto, que sejam contados também os fluxos destes movimentos. O trabalho adicional é ínfimo e vale a pena registrar os movimentos separadamente, pois tal informação pode vir a ser útil no futuro. Os valores dos fluxos que chegam ao semáforo (F_A , F_B , F_C e F_D) são calculados, então, diretamente pela soma dos movimentos que os compõem ($F_{A1} + F_{A2}$, $F_{B1} + F_{B2}$, $F_{C1} + F_{C2}$ e $F_{D1} + F_{D2}$).

Outro ponto importante é que se deve evitar a simplificação de obter os dados de um cruzamento a partir dos dados coletados nos cruzamentos vizinhos. Por exemplo, não é conveniente supor que F_C seja igual a $F_{A1} + F_{B2}$. À primeira vista, parece que o raciocínio é válido. Porém, é extremamente importante que todas as informações a respeito dos fluxos de um cruzamento sejam levantadas simultaneamente. Mesmo colocando equipes diferentes para medir junto, se deveria computar o tempo de percurso entre os cruzamentos. Além disso, entradas e saídas intermediárias podem vir a prejudicar os resultados.

5.2.3. Quantidade de amostras

A prática mostrou que realizar seis leituras para cada movimento é suficiente para obter bons resultados. Se algum dos seis valores se distanciar muito dos outros, sem alguma razão válida, deve ser descartado e substituído. Entretanto, um valor deste tipo deve ser preservado caso o motivo da discrepância seja algum fenômeno característico e representativo do local.

É preferível que o descarte de amostras ruins seja feito através de um procedimento estatístico. Recomenda-se calcular a média e o desvio-padrão dos valores coletados. Valores que estejam fora da faixa [média \pm 2 * desvio-padrão] devem ser eliminados e substituídos por novos. Se não for possível recorrer a esta depuração estatística, pode-se recorrer à seleção subjetiva; valores que divergem muito da maioria são identificados visualmente e substituídos.

Não se deve esquecer que todos os valores de um cruzamento devem ser levantados no mesmo dia para garantir coesão entre eles. Portanto, o processo depurativo, qualquer que seja, deve ser completado em campo, durante a realização da pesquisa. Uma idéia é levantar mais de seis valores. Usá-los todos caso seja possível; se não, descartar um ou outro e, ainda assim, ficar com seis ou mais valores.

A situação ideal é que o volume de projeto considerado para calcular a programação de um plano seja referente aos 15 minutos mais carregados dentro do seu período de atuação. Segue que devemos procurar fazer as medições de fluxo dentro deste intervalo crítico. Nem sempre isso é possível por razões operacionais, pois seria necessário alocar um grande número de pesquisadores a fim de contar simultaneamente todos os semáforos da rede, pois é comum que a maioria dos semáforos da rede apresente intervalos críticos concomitantes. Outra solução seria executar a pesquisa durante vários dias, o que também não é muito conveniente. O melhor caminho é sacrificar o rigor da pesquisa, realizando medições fora dos 15 minutos críticos, mas tomando o cuidado de que a contagem não seja feita durante horários muito fracos.

5.2.4. Unidade de medida

A unidade de medida do fluxo de veículos adotada na Engenharia de Trânsito é, normalmente, veículos-equivalente/hora (veíc-eq/h). Um veículo-equivalente corresponde a um carro de passeio. Aos outros tipos de veículos são atribuídos valores que variam em função do tempo que gastam para ultrapassar a seção da via que corresponde à linha de retenção. Se, por exemplo, um carro de passeio demorar 0,5 segundo para ultrapassar esta linha, um caminhão valerá 3 veículos-equivalente se passar pela seção em 1,5 segundos. Diz-se, neste caso, que o caminhão tem peso igual a três. É incorreta a afirmação de que o peso está relacionado ao comprimento do veículo. Ele deve ser função do tempo que cada tipo de veículo “gasta” do verde do semáforo.

Em geral, ônibus e caminhões valem 2 veículos-equivalente. Caminhões de três eixos têm peso 3, enquanto que caminhões maiores chegam facilmente a 5 ou 6 veículos-equivalente. A equivalência depende não só do tipo de veículo como também das características da via no trecho que se aproxima do semáforo. Um caminhão pesado terá um peso muito maior (desculpem o trocadilho) se a aproximação for em aclive do que se for em trecho plano. O maior valor com que já deparamos foi 26. Tratava-se de

carretas que tinham de fazer um movimento de conversão bastante fechado enquanto passavam pelo semáforo. Significava que uma carreta demorava 26 vezes mais para cruzar a retenção do que um carro de passeio!

O tempo que a motocicleta depende do verde é desprezível, pois o comportamento do trânsito em geral é praticamente o mesmo, estejam as motos presentes, ou não. Por isso, atribuí-se peso zero às motos, ou seja, elas não são sequer registradas durante as pesquisas.

Dissemos, antes, que a unidade de medição do fluxo é o veículo-equivalente/hora. Foi convencionalmente o intervalo de uma hora e é preferível adotá-lo, pois os técnicos da área de trânsito já estão acostumados com ele. Mas é bom ficar claro que tal valor horário é geralmente calculado a partir de intervalos muito menores, como, por exemplo, os seis ciclos que recomendamos ou a partir de períodos de 15 minutos, quando se realiza a contagem do tipo exaustivo que é a contagem de todos os veículos que passam durante o período de vigência do plano que se quer programar.

5.2.5. Demanda represada e passagem restringida

Quando efetuamos uma contagem de veículos em situação congestionada, enfrentamos dois empecilhos: a demanda represada e a passagem restringida.

Na Engenharia de Trânsito, chamamos de demanda represada àquela situação em que o fluxo não consegue passar pelo semáforo porque excede à capacidade do *link*. Os veículos da demanda represada são os que formam as grandes filas nas situações congestionadas, geralmente nas entradas da rede semaforica.

O pesquisador somente consegue contabilizar os carros que logaram passar por ele. Aqueles que não conseguiram fazê-lo e estão esperando sua vez a montante são injustamente ignorados. Espera-se que a nova programação seja capaz de atendê-los, mas para isso têm de ser quantificados e esta é uma tarefa bastante complexa.

Como computar os veículos que deixaram de passar? Uma das dificuldades consiste em descobrir quantos deles teriam passado no período mais crítico, utilizado para dimensionar os tempos, período esse da ordem de 15 minutos. Outra dificuldade reside na impossibilidade de saber como esses veículos adicionais teriam se distribuído pelos *links* da rede.

O transtorno só não assume maiores proporções justamente porque estamos operando em regime saturado. O tempo de ciclo já está no máximo e, portanto, passar a considerar um volume adicional não teria nenhuma repercussão neste aspecto; de qualquer forma o tempo de ciclo não poderia mais ser aumentado. Quanto à defasagem, também não haveria nenhuma consequência, pois as defasagens para atender *links* congestionados dependem mais da geometria da rede e dos volumes de conversão do que de quaisquer outros fatores. A distribuição dos tempos de verde é o parâmetro que mais poderia ser afetado. Mesmo assim, espera-se que, na situação atual, as filas de espera dos *links* críticos estejam relativamente equilibradas. Se isto for verdade, computar o volume adicional represado não vai alterar a distribuição porcentual dos verdes. Se isto não for verdade, basta fazer um ajuste rápido nas frações de verde antes de iniciar a pesquisa.

Outro fator importante a considerar quando lidamos com situações supersaturadas é que a demanda represada não é só aquela que estamos vendo guardada nas filas provocadas pelo congestionamento. Existe uma demanda represada consideravelmente maior que é aquela que só não vem carregar a rede porque sabe que está congestionada. São pessoas que utilizam outros caminhos, ou horários ou modos de transporte (ou, muitas vezes, sequer realizam a viagem). Se a nova programação conseguir descongestionar a rede, com certeza esse pessoal vai ser atraído, até o ponto de voltar a congestioná-la. Todos nós, que trabalhamos com programação semafórica, já passamos por isso. Primeiro, a satisfação quando conseguimos eliminar o congestionamento. Depois, a consternação quando, passando pelo local depois de dois ou três meses, verificamos que “o congestionamento voltou”. Com certeza, a Engenharia de Trânsito é um ramo que exige bastante desprendimento!

Em resumo, sugerimos que seja ignorada a demanda represada que forma as filas dos congestionamentos durante os períodos de pico. Pelo menos, é assim que temos trabalhado e obtido bons resultados.

Mais grave do que a demanda represada é a passagem restringida. Chamamos de passagem restringida àquela situação em que veículos não conseguem prosseguir devido a bloqueio à frente. O semáforo está verde e, no entanto, os veículos continuam parados; não conseguem escoar porque existe uma fila de veículos parados à frente e, dessa forma, é impossível contá-los.

Como fazer para contar veículos que não passam? Uma idéia é alterar a programação durante a pesquisa de forma a garantir o escoamento do *link* que está sendo medido. Mas nem sempre é uma solução possível. Se fosse, alguém, provavelmente, já teria tomado essa providência antes, independentemente da pesquisa. Geralmente, o único caminho possível é o de deduzir o fluxo dos *links* problemáticos a partir dos *links* que conseguem fluir normalmente. Fique registrado, porém, que é uma solução que incorpora uma elevada margem de erro.

5.3. Fluxo de Saturação

5.3.1. O que medir e como

O Fluxo de Saturação de um *link* é o máximo fluxo que pode passar pela seção que corresponde à faixa de retenção. Corresponde à capacidade da via. Medir o Fluxo de Saturação é, portanto, contar qual é o número máximo de veículos que consegue atravessar a linha de retenção na situação prevalecente de trânsito.

Quando o semáforo abre, demoram alguns segundos para que os movimentos veiculares liberados vençam a inércia inicial e alcancem um patamar uniforme de descarga. Uma vez alcançado tal patamar, enquanto houver fila acumulada a montante e se não houver nenhum obstáculo à frente, os veículos sairão na maior taxa de descarga possível que é, exatamente, o Fluxo de Saturação.

O método expedito, que preconizamos, indica que se deve deixar passar cinco segundos após o início do verde (para garantir a entrada em regime) e então acionar o cronômetro. Neste instante é iniciada a contagem de todos os veículos que passam pela retenção. A contagem prossegue enquanto o fluxo permanecer no patamar do Fluxo de Saturação.

Quando o pesquisador perceber que a demanda começou a decair, a leitura é encerrada e o cronômetro parado. O quociente do número de veículos contados pelo tempo que durou a medição fornece o Fluxo de Saturação daquela aproximação.

Deve-se tomar muito cuidado em que a frente esteja completamente livre quando se mede o Fluxo de Saturação. Este é o principal motivo da incorreção de muitas leituras efetuadas. Não se trata simplesmente de evitar que a frente esteja bloqueando os movimentos que se quer pesquisar. A coisa é um pouco mais sutil. Se, por exemplo, o motorista perceber que o semáforo da frente está em vermelho e existe uma fila acumulada, ele tem a tendência de diminuir sua velocidade para só chegar lá quando os últimos veículos começarem a se movimentar a fim de evitar uma parada. Isso, evidentemente, prejudica a pesquisa, pois causa a leitura de um valor artificialmente menor do que o Fluxo de Saturação correto. O ideal é que nos cem metros à frente dos veículos pesquisados não existam veículos parados em fila e que, além disso, o semáforo seguinte esteja em verde. Tais condições ideais nem sempre são possíveis, mas o programador deve atentar para que fatores a jusante não prejudiquem significativamente a pesquisa.

O parâmetro Fluxo de Saturação é o que demanda maior exatidão. A partir dele é calculada a taxa de ocupação, que definirá o tempo de ciclo e a distribuição dos tempos de verde. O Fluxo de Saturação é particularmente crítico porque entra no denominador do quociente que determina a taxa de ocupação. Por causa disso, pequenas incorreções no valor do Fluxo de Saturação acarretam grandes variações da taxa de ocupação e, conseqüentemente, do tempo de ciclo e dos tempos de verde.

O método expedito se apóia sobremaneira na identificação correta do instante em que os veículos começam a faltar, momento em que a taxa de descarga fica inferior ao Fluxo de Saturação. Se este instante for admitido muito cedo, as amostras ficarão muito pequenas e, por conseguinte, estatisticamente não representativas. Se a decisão for atrasada, passaremos a reduzir incorretamente o valor do Fluxo de Saturação. Na prática, observamos que as pessoas têm a tendência de continuar a fazer a pesquisa mesmo após o ponto de corte correto já ter chegado. É necessário que o movimento caia bastante para que o pesquisador reconheça que o trânsito não está mais operando no patamar máximo. Isso implica em que se obtenham valores inferiores aos corretos. No fim das contas isso não é tão ruim. Fluxos de Saturação menores levarão a tempos de ciclo maiores, o que não deixa de representar uma previdente margem de segurança. O que é ruim é se o pesquisador usar critérios diferentes para as diversas aproximações do cruzamento. Se ele medir o valor correto para uma aproximação e um valor inferior ao correto para a outra, acabará prejudicando a primeira aproximação, que receberá menor tempo de verde do que deveria. Este é mais um motivo para que todos os levantamentos do Fluxo de Saturação de um cruzamento sejam feitos pela mesma pessoa, no mesmo dia.

O Fluxo de Saturação é mensurado para a aproximação de um *link*. Provavelmente, existem vários movimentos que compartilham esta aproximação (vide Glossário). Quando levantamos o Fluxo de Saturação, não importa se os veículos que estamos contando seguirão em frente ou farão alguma conversão. Todos os veículos, de todas as faixas que compõem a aproximação, devem ser contabilizados quando passam pela seção que corresponde à linha de retenção.

Existe um caso particular que demanda um tratamento mais complexo. Trata-se do caso de aproximações que apresentam Fluxo de Saturação variável. Digamos que os 40 primeiros metros da aproximação, na chegada do semáforo, operem com três faixas de rolamento. Dali para trás o estacionamento é permitido de um lado, o que faz com que só fiquem disponíveis duas faixas para circulação. Nos primeiros quinze segundos, mais ou menos, o Fluxo de Saturação corresponderá à capacidade oferecida pelas três faixas. Dali em diante, porém, o patamar cairá para dois terços do inicial. Prometemos, para um futuro texto, a abordagem do Fluxo de Saturação variável.

Leituras muito curtas do Fluxo de Saturação podem conduzir a erros provocados pela falta de representatividade estatística. Para aproximações não críticas, recomendamos um período de leitura mínimo de 12 segundos. Já para as aproximações mais carregadas da rede, convém que o patamar no nível do Fluxo de saturação dure, pelo menos, 25 segundos. É melhor realizar a pesquisa do Fluxo de Saturação durante o pico. Desta forma obteremos um número que incorpora as características do trânsito exatamente no período em que é mais importante acertar o valor correto.

5.3.2 Quantidade de amostras e sua duração

Analogamente ao que ocorre para a leitura do Fluxo, a realização de seis leituras por aproximação é suficiente para obter bons resultados. Também aqui, se algum dos seis valores se distanciar muito dos outros, sem alguma razão válida, deve ser descartado e substituído. Entretanto, da mesma forma que dissemos para a pesquisa do Fluxo, uma amostra deste tipo deve ser preservada caso o motivo da discrepância seja algum fenômeno característico e representativo do local. Por exemplo, uma via que tem um ponto de ônibus na aproximação apresentará menor Fluxo de Saturação quando o coletivo estiver parado no ponto. Neste caso, o ponto faz parte da situação real e todas as amostras devem ser consideradas. O ideal seria que a porcentagem de amostras com ônibus parado no ponto correspondesse à porcentagem de vezes em que ocorre tal parada no dia-a-dia.

Repetimos, a seguir, os comentários feitos para o tratamento estatístico das amostras levantadas para o Fluxo.

É preferível que o descarte de amostras ruins seja feito através de um procedimento estatístico e não por “sensibilidade subjetiva”. Recomenda-se calcular a média e o desvio-padrão dos valores coletados. Valores que estejam fora da faixa [média \pm 2 * desvio-padrão] devem ser eliminados e substituídos por novos. Se não for possível recorrer à depuração estatística, pode-se recorrer à seleção subjetiva; valores que divergem muito da maioria são identificados visualmente e substituídos.

Não se deve esquecer que todos os valores de um cruzamento devem ser levantados no mesmo dia para garantir coesão entre eles. Portanto, o processo depurativo, qualquer que seja, deve ser completado em campo, durante a realização da pesquisa. Uma idéia é levantar mais de seis valores. Usá-los todos caso seja possível; se não, descartar um ou outro e, ainda assim, ficar com seis ou mais valores.

Se um cruzamento for muito crítico, ou seja, se o seu somatório das taxas de ocupação for o mais elevado da rede e, por conseguinte, for ele o responsável pela definição do tempo de ciclo, recomendamos que o número de amostras seja maior do que seis. Neste

caso, vale a pena efetuar algo como dez amostras para cada aproximação que compõe o cruzamento crítico.

5.3.3. Unidade de medida

É válido, para o Fluxo de Saturação, todo o texto que escrevemos para o Fluxo, no item 5.2.4.

5.3.4. Tempo Perdido no Início e o Tempo Aproveitado no Final

A aplicação do método expedito no levantamento do Fluxo de Saturação incorre na imprecisão de não medir o Tempo Perdido no Início e o Tempo Aproveitado no Final (vide Glossário).

Na maioria dos casos, os dois tempos se equivalem e não há obstáculo em ignorá-los. Nos locais em que, acentuadamente, isto não ocorrer, como, por exemplo, em vias com alto volume de caminhões pesados, a saída é recorrer ao processo do histograma, descrito mais adiante.

Porém, mesmo para os locais que apresentam padrão normal, sugerimos que se adote uma abordagem conservadora. A recomendação é que se considere a perda de 1 segundo. Para *links* que vão receber verdes de 25 segundos, isso equivale a multiplicar o Fluxo de Saturação levantado pelo fator 1,04. Para tempos de verde maiores, o fator será proporcionalmente menor. Sugerimos que se uniformize o procedimento, a favor da segurança, para todos os *links*, e que se multiplique o valor levantado por 1,04 para obter o valor do Fluxo de Saturação a ser utilizado.

Deve ficar claro, contudo, que se existirem *links* importantes da rede que apresentem peculiaridades que conduzam a valores atípicos do Tempo Perdido no Início e do Tempo Aproveitado no Final, não há outra saída senão recorrer ao método do histograma, abordado mais adiante.

5.4. Vantagens em utilizar a mesma metodologia para medir o Fluxo e o Fluxo de Saturação

Creditamos o sucesso obtido pelo método expedito ao fato de que o Fluxo e o Fluxo de Saturação são tratados através de procedimentos muito semelhantes.

Num ciclo, contamos todos os veículos que passam no verde. Eis o Fluxo.

Num ciclo, contamos todos os veículos que passam no verde enquanto a saturação do *link* está no nível máximo. Eis o Fluxo de Saturação.

A semelhança das duas pesquisas garante que o enfoque utilizado para uma será coerente com o enfoque da outra. Os pesos dos diferentes tipos de veículos, as situações descartadas, a situação do trânsito e do contexto em que está inserido são alguns exemplos de aspectos que prejudicam o retrato fiel da situação em campo quando as duas pesquisas são realizadas por pessoas diferentes, em dias diferentes, usando metodologias diferentes.

Vamos falar um pouco, agora, do aspecto operacional do trabalho. Em tese, nada impede que o pesquisador aproveite o mesmo ciclo para coletar uma amostra de Fluxo e uma amostra de Fluxo de Saturação. Porém, na prática, isto não é muito conveniente. É importante que o pesquisador esteja bastante atento ao ponto em que deve parar a contagem relativa ao Fluxo de Saturação porque a demanda começou a cair. Se ele também estiver cuidando da pesquisa de Fluxo, pode acabar se perdendo. Sugerimos, então, que os dois levantamentos sejam feitos em ciclos diferentes. Mas insistimos que as duas pesquisas sejam feitas pela mesma pessoa (ou pessoas), no mesmo dia, para obter a coerência entre seus resultados.

5.5. Comparação do método expedito com outros procedimentos

5.5.1. Fluxo

O método mais conhecido para medir o fluxo prevê a contagem de todos os *links* durante todo o período de abrangência da reprogramação. Geralmente, os dados são agrupados em intervalos de 10 ou 15 minutos. O maior valor do fluxo, que foi lido num intervalo de 10 ou 15 minutos, é utilizado como valor de projeto para o cálculo da taxa de ocupação daquele *link*, para aquele plano.

Quando já existe semáforo no local, é preferível seguir o método expedito que estabelece o registro do fluxo a cada ciclo em vez de anotá-lo a intervalos fixos de 5, 10 ou 15 minutos. O porquê é simples. Digamos que estamos medindo o fluxo de um movimento que tem 30 segundos num ciclo de 90 e registrando os valores encontrados em intervalos fixos de 10 minutos ou 600 segundos. A figura 4A mostra o que acontece se a abertura do verde coincide com o início do intervalo de 600 segundos.

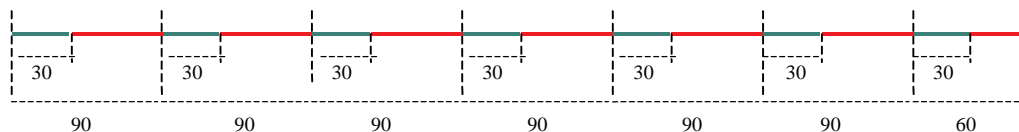


Figura 4A

Neste caso, o intervalo de 10 minutos vai medir o fluxo que passa em 7 verdes inteiros do movimento.

No outro extremo, pode ocorrer a situação representada na figura 4B. Nela, o movimento em questão terminou de fechar quando o intervalo de 10 minutos começou.

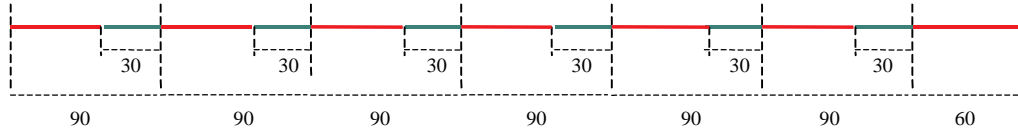


Figura 4B

Neste caso, o intervalo de 10 minutos vai medir o fluxo que passa em, somente, 6 verdes inteiros do movimento, o que significa um valor da ordem de 15% inferior ao registrado na figura 4A.

No método que utiliza o levantamento do fluxo em períodos fixos, os tempos do semáforo são projetados para os intervalos mais críticos, o que agrava o erro de leitura, pois não haverá compensação pelas leituras subseqüentes.

A influência do instante do ciclo em que se começou a contar os carros na leitura do fluxo é o principal motivo que nos leva a sugerir que a contagem seja registrada a cada ciclo, mas ainda existem outras vantagens.

É comum que incidentes fortuitos venham a prejudicar a pesquisa. Um veículo quebrado, por exemplo, altera as condições normais do trânsito e pode estragar a medida de um ou dois intervalos fixos. Não é raro perder o trabalho de 15 minutos por causa de um incidente que perdurou por apenas um ou dois minutos. Se estivermos registrando os valores a cada ciclo, poderemos desprezar apenas as leituras naqueles ciclos diretamente atingidos.

A outra vantagem é de ordem operacional. Como não há muito problema em perder a leitura de um, dois ou três ciclos seguidos, o pesquisador pode interromper brevemente seu trabalho para descansar um pouco, sem maiores prejuízos. Pelo mesmo motivo, um só pesquisador pode contar dois movimentos que andam simultaneamente. Basta ir alternando as contagens dos dois movimentos ao longo dos ciclos. No final do trabalho, o pesquisador vai dispor de 50% das leituras de cada movimento, o que é mais do que suficiente para que se consiga um valor de projeto confiável para o fluxo.

5.5.2. Fluxo de Saturação

5.5.2.1. Ábacos e Histogramas

O Fluxo de Saturação de um link é dimensionado, na maioria das vezes, ou através da consulta a ábacos e tabelas ou através do levantamento de histogramas.

No primeiro método, entra-se com os valores das principais características do *link* em ábacos e tabelas já preparadas. Em função da largura útil da via, da porcentagem de aclive/declive, das porcentagens de conversões, do volume de pedestres e de outros fatores influenciadores, encontra-se o valor do Fluxo de Saturação. A consulta a material já pronto peca pela dificuldade de conseguir representar adequadamente a

enorme variedade de peculiaridades de cada local em tabelas e curvas pré-elaboradas. Nós, pelo menos, da CET de São Paulo, não fomos muito felizes ao tentar seguir este caminho. O Fluxo de Saturação é o fator que incide mais fortemente nos tempos do semáforo. Não parece muito recomendável valer-se de métodos indiretos, que carregam alto grau de incerteza, quando é perfeitamente possível dirigir-se ao local e medir diretamente o valor procurado.

O segundo procedimento, conhecido como o método do histograma, consiste numa pesquisa de campo bastante detalhada. Registram-se as passagens dos veículos pela retenção durante o período em que reconhecidamente o link está operando no patamar do Fluxo de Saturação, agrupando-os em intervalos que podem variar entre dois e cinco segundos. Para cada amostra, calcula-se a média dos valores obtidos em cada intervalo, obtendo o Fluxo de Saturação daquela amostra. A média de todas as amostras levantadas fornecerá o valor do Fluxo de Saturação a ser utilizado para a determinação da taxa de ocupação daquele link.

O método do histograma, devido ao seu alto grau de detalhamento e de fidelidade às condições locais, é, sem dúvida, o mais preciso de todos. Não se recorre a simplificações comprometedoras nem a ilações. Mede-se diretamente a grandeza pesquisada. O problema que existe em sua aplicação é de ordem operacional. É um método bastante trabalhoso, em que é necessário recorrer a um gravador ou contar com duas pessoas para fazer a pesquisa.

Se houver condições práticas, pode-se recorrer ao método do histograma nos *links* mais críticos da rede. Queremos, contudo, chamar a atenção para uma possível interpretação errônea do perfil levantado no histograma, que é muito comum de acontecer. Como os intervalos são muito pequenos (dois a cinco segundos), aparecem valores muito altos, que não apareceriam em intervalos maiores. Na realidade, estes valores são compensados por outros valores mais baixos, mas o técnico que vai interpretar o histograma tem a tendência de descartar os valores mais baixos, pois está à procura da “maior taxa de descarga”. Com isso elimina valores que não deveriam ser descartados, pois foram tomados enquanto ainda havia veículos em fila atrás e caixa livre à frente. Enquanto este estado persistir, todos os valores devem ser considerados, pois representam, efetivamente, o Fluxo de Saturação. O que acontece, na prática, é que mesmo prevalecendo as condições de veículos em fila querendo passar e caixa livre à frente, o fluxo de saída não consegue se manter 100% do tempo no patamar máximo de descarga. Condutores um pouco mais lentos, paradas rápidas para embarque/desembarque e interferências ocasionais são alguns exemplos de fatos que ocorrem no dia-a-dia e que impedem que o fluxo permaneça o tempo todo no patamar mais elevado. Escolher apenas as maiores medições, que não tiveram de enfrentar nenhum empecilho, é ignorar a realidade e impor um Fluxo de Saturação inatingível.

Para evitar este tipo de erro, recomendamos que a escolha das amostras que serão, ou não, aproveitadas seja feita em campo, quando o pesquisador pode saber sob quais condições foram tomados cada um dos dados e não posteriormente, no escritório, quando a interpretação dos dados se limita à mera avaliação matemática.

O descarte incorreto dos valores menores conduz, na prática, à supervalorização do Fluxo de Saturação redundando na adoção do “máximo dos máximos”. Este valor efetivamente ocorre, mas só durante curtos períodos. Não é um número que se consiga

manter durante todo o período de verde. Aliás, o jeito certo mesmo de achar o Fluxo de Saturação seria garantir uma situação de saturação durante todo o tempo que o verde terá, no futuro, e medir este valor. Isto é impossível, porém, na quase totalidade dos casos, pois não se consegue, na prática, garantir demanda suficiente para atingir o escoamento na taxa de descarga máxima durante toda a duração que um verde costuma ter. Por isso, o histograma acaba pegando somente a parte inicial deste verde. O cuidado, então, será assegurar que a taxa de descarga que estamos considerando como máxima pode persistir durante todo o tempo de verde. E a melhor forma de se assegurar disso é observar o comportamento do trânsito enquanto se faz a pesquisa para conseguir entender o que realmente está ocorrendo.

Na grande maioria dos *links*, o processo expedito apresenta resultados mais do que satisfatórios.

O método expedito possibilita que o levantamento seja feito por uma única pessoa e, como dissemos, vem trazendo bons resultados nos casos em que está sendo utilizado. Seu problema é oposto ao do histograma: a tendência do pesquisador é a de se estender além do que deveria. Para que se caracterize o estado de saturação máxima, é necessário que exista fila represada em todas as faixas da aproximação. Entretanto, costuma acontecer que o pesquisador continue a contagem mesmo quando os veículos começam a rarear em apenas uma das faixas. A subjetividade da decisão leva a este tipo de engano. Se, por exemplo, numa aproximação de três faixas ocorre que duas operam na saturação máxima e a terceira começa a apresentar alguns *gaps* maiores, tem-se a sensação visual de que estamos ainda no Fluxo da Saturação. Uma regra prática que garante a decisão de corte correta é a de que não sejam computados veículos que não chegaram a parar. Quando, em qualquer faixa, passar o último veículo que chegou a parar por causa da fila à frente, é hora de considerar que o patamar do Fluxo de Saturação terminou e que aquela amostra chegou ao fim.

Um fator que atenua a gravidade do corte atrasado é que redundará na adoção de um tempo de ciclo maior do que o necessário, o que acaba servindo como uma espécie de coeficiente de segurança. Porém, para que as conseqüências não sejam tão graves, é imperioso que o erro ocorra da mesma forma para todos os *links*. Caso contrário, a divisão dos tempos de verde será afetada, o que vai trazer um impacto negativo muito maior.

Para encerrar o capítulo do Fluxo de Saturação, recomendamos a leitura do artigo “**Variação do Fluxo de Saturação por tipo de faixa e períodos de pico em interseções semaforizadas de Fortaleza**”, que pode ser encontrado neste site. Trata-se de texto que se inicia situando a análise do Fluxo de Saturação dentro da teoria e prossegue com os resultados obtidos, numa pesquisa realizada em Fortaleza, que procurou aquilatar a influência de alguns fatores no valor final do parâmetro.

5.5.2.2 Valores práticos

É muito raro que se consiga manter, numa mesma faixa de tráfego, um *headway* inferior a dois segundos durante todo o verde. Isto significa que podemos considerar que o maior valor do Fluxo de Saturação, para uma faixa de tráfego, é igual a 1800 veículos-equivalentes/hora. Isto ocorre para avenidas planas, com faixas largas e quase nenhuma interferência externa que comprometa o desempenho.

No outro extremo, os menores valores que já encontramos, numa faixa, foram da ordem de 1300 veículos-equivalentes/hora. Tratava-se de movimentos de retorno bastante acentuado, onde o desempenho do tráfego era muito prejudicado em função da geometria desfavorável.

Para vias com características de coletoras, a maior parte das leituras fica em torno de 1600 a 1700 veículos-equivalentes/hora por faixa. Quanto a vias locais, onde a interferência de pedestres, paradas, etc. é bastante significativa, chegamos, normalmente, a números que oscilam entre 1500 e 1600 veículos-equivalentes/hora por faixa.

6. Pedestres

6.1. Contagem

O principal motivo que nos leva a efetuar uma contagem de pedestres é o de recolher subsídios para decidir se devemos implantar um novo semáforo de pedestres ou acrescentar um estágio de pedestres num semáforo veicular já existente. Para isso, é necessário contabilizar o volume de pedestres para cada uma das faixas existentes. Se se tratar de um cruzamento, não basta conhecer sua quantidade total de pedestres, mas, sim, o volume de pedestres para cada uma das suas faixas, pois o que vai decidir é o volume existente na faixa mais crítica.

Na quase totalidade dos casos, não há necessidade em separar, por sentido, os pedestres que atravessam numa faixa. Os pedestres vão sendo somados no mesmo registro, independentemente se atravessam de um lado da faixa para o outro, ou no sentido contrário.

Muitos pedestres não atravessam exatamente sobre a faixa, mas, sim, nas suas cercanias. Estes pedestres também devem ser considerados, pois, a rigor, pertencem àquela travessia. É muito provável, até, que uma vez implantado um tempo semaforico reservado para eles, passem a atravessar sobre a faixa. Por isso, é importante estabelecer, previamente, qual é a região próxima à faixa de pedestres em que os pedestres devem ser contabilizados. Na maioria dos casos, podemos adotar a regra de que devem ser contados todos os pedestres que não estiverem mais do que 30 metros longe do local em que será instalada a travessia sinalizada.

Entendemos como pedestres todas as pessoas que estiverem andando. Exceto crianças de colo, então, todas as demais devem ser consideradas.

Pelos mesmos motivos apontados no item 5.2.1, recomendamos que o volume de pedestres vá sendo totalizado e anotado a cada ciclo e não a cada intervalo de 10 ou 15 minutos. A coleta dos valores em seis ciclos, desde que a situação seja típica, é suficiente para atingir os fins pretendidos.

6.2. Tempo de travessia

A determinação do tempo de travessia costuma causar bastante polêmica na Engenharia de Trânsito. A primeira abordagem que podemos adotar é a de medir o tempo de travessia de vários pedestres e adotar, simplesmente, a média aritmética. Não parece muito justo, entretanto, programar um tempo de verde insuficiente para 50% das pessoas. Honestamente, não sabemos qual é a melhor solução. Uma alternativa cômoda seria a de utilizar, como valor de projeto, o maior valor medido. Tal atitude poderia resultar, porém, em programar um tempo de travessia muito maior do que o necessário para a maioria absoluta das pessoas. Aquilo, que poderia parecer bom por constituir uma margem de segurança, conduz, na prática, a uma situação muito mais perigosa para o próprio pedestre. Explicamos: o motorista pára no vermelho para esperar que os pedestres atravessem; se todos já tiverem atravessado e o semáforo continuar fechado por um tempo considerável, o motorista vai concluir que a programação é absurda e tenderá a desrespeitar o semáforo. O pior é que, se passar a encontrar esta situação muitas vezes repetida, poderá expandir sua conclusão e achar que todos os semáforos de pedestres estão com o tempo errado. A consequência inevitável será o aumento do desrespeito à sinalização semafórica com o consequente risco de atropelamentos. O que pode parecer, à primeira vista, uma proteção maior ao pedestre leva, na realidade, a deixá-lo muito mais desprotegido.

Como dissemos anteriormente, não sabemos oferecer uma solução. O que costumamos fazer, em nossos trabalhos, é descobrir o tempo necessário através de vistoria no local. Nesta vistoria, procuramos descobrir qual é o tempo de travessia que deixará de atender apenas casos excepcionais.

Como sempre, quando se trata de projetos de Engenharia de Trânsito, é necessário voltar ao local após a implantação. Neste caso, para se assegurar que o tempo programado não coloca em risco os pedestres, nem por ser insuficiente, nem por ser tão extenso a ponto de incitar os motoristas a desrespeitá-lo. Questões que envolvem segurança viária só podem ser receber o cuidado que requerem por observação direta do comportamento dos usuários envolvidos.

A presença de certos pólo-geradores nas proximidades pode influir no dimensionamento do tempo de travessia. Alguns exemplos típicos são ambulatórios, postos de atendimentos a pessoas idosas ou com alguma deficiência físicas, feiras-livres e escolas para crianças pequenas. Os usuários destes estabelecimentos costumam requerer tempos superiores aos normalmente utilizados.

Outro ponto que merece ser mencionado é o de travessias com elevado volume de pedestres. Quando o volume de pedestres é muito grande, não se pode considerar apenas o tempo de travessia individual livre para dimensionar a programação. As pessoas interferem umas nas outras e sua velocidade passa a ser bastante inferior a que teriam isoladamente, levando à necessidade de programar maiores tempos de verde.

7. Pesquisas de Tempo de Percurso

A fim de poder dimensionar as defasagens entre os semáforos da rede, é necessário medir o tempo que os veículos demoram para percorrer cada um de seus *links* internos.

O tempo deve ser tomado entre as passagens do veículo pela retenção do semáforo a montante e do semáforo a jusante. A unidade utilizada é o segundo.

Geralmente, dez medidas são suficientes para conseguir uma boa média; leituras muito díspares devem ser descartadas e substituídas. Devem ser tomados os tempos de veículos que circulem à mesma velocidade da maioria. Não se devem coletar veículos que ultrapassem vários outros ou que sejam muito mais lentos do que a média.

Às vezes, os pesquisadores se atrapalham ao medir o tempo de percurso nas situações congestionadas. Imaginam que devem medir a velocidade da situação real, ou seja, a velocidade do veículo que está dentro do congestionamento. Mas não é isso. Deve ser tomada a velocidade do veículo livre, cuja movimentação não está sendo tolhida por outros carros à sua frente. Por isso, não convém ir medir o tempo de percurso durante os picos. Quanto à representação do congestionamento, será tarefa do simulador tomar o tempo de percurso livre e calcular a velocidade real de operação, tendo em vista as condições restritivas da super-saturação.

Vale a pena falar um pouco sobre a operação prática da tomada dos tempos. Um dos jeitos possíveis é percorrer os *links* com um veículo e ir tomando os tempos entre retenções. Este método tem vários inconvenientes. Temos de ter a sorte de poder fazer um percurso livre e de encontrar os dois semáforos das pontas do *link* em verde. Aliás, não só em verde. A fila de veículos que se formou no vermelho já deve ter sido desmanchada quando o veículo-piloto se aproximar.

É mais fácil e muito mais preciso posicionar-se, a pé mesmo, no meio do *link* e dali cronometrar a passagem de um veículo qualquer pelas duas retenções. Assim, pode-se tomar um grande número de amostras em pouco tempo e escolher aquelas mais significativas. Alguém pode criticar este método devido ao erro inerente provocado pela paralaxe. Mas o parâmetro tempo de percurso, geralmente, não exige grande grau de precisão; erros de um ou dois segundos não vão afetar significativamente a programação, principalmente porque é um valor que só será usado no cálculo da defasagem e esta não exige um precisão tão acurada como o tempo de verde.

Quando o *link* for muito extenso poderá não ser possível enxergar as duas retenções de um ponto só. Porém, neste caso, a necessidade de precisão na medição do percurso passa a ser menos importante ainda, pois a defasagem entre semáforos distantes pode, sem nenhum prejuízo, variar bastante. Neste caso, costumamos simplesmente medir o comprimento do *link* num mapa e adotar a velocidade empregada pela maioria dos veículos para calcular o tempo de percurso.

O único caso em que se deve caprichar na tomada do tempo de percurso é quando os semáforos estão muito próximos um do outro. Neste caso, defasagens equivocadas podem gerar tanto filas que bloqueiem o semáforo de trás como acidentes devido à proximidade das retenções. Mas, exatamente nestes casos, é muito fácil tomar medidas bem precisas ficando postado no meio do caminho entre os dois semáforos.

As defasagens são calculadas, na quase totalidade dos casos, para o trânsito geral. Por isso, deve-se medir o tempo de percurso de carros particulares e não de ônibus ou caminhões, a não ser em situações muito peculiares como, por exemplo, faixas exclusivas de ônibus.

8. Quando o semáforo ainda não existe

Não podemos recorrer ao método expedito quando o semáforo ainda não existe no local. Entretanto, exatamente nestes casos, não há o porquê de muito esmero.

A instalação de um novo semáforo, normalmente, acaba atraindo uma parcela adicional de demanda, devido à melhoria das condições de segurança. É preferível, então, aguardar dois ou três meses após a implantação, até que a demanda tenha se estabilizado, para realizar as pesquisas de fluxo. Podemos encarar a programação inicial como provisória e, por causa disso, contagens acumuladas a cada 15 minutos são perfeitamente aceitáveis para calcular os tempos que serão programados no dia da deflagração.

Por igual motivo, não devemos nos preocupar demais com o levantamento do Fluxo de Saturação. Recomendamos, mesmo, que sejam adotados os valores práticos apresentados no item 5.5.2.2. Depois do semáforo instalado e do comportamento do trânsito ter entrado em regime, podemos levantar este parâmetro através do método expedito.

De qualquer forma, é imprescindível que os técnicos acompanhem a operação do novo semáforo durante os primeiros dias após a implantação a fim de providenciar os ajustes necessários na programação, caso haja erros intoleráveis.

9. Glossário

Aproximação – trecho de via próximo a um semáforo, por onde chegam os veículos que dele se aproximam.

Controlador – equipamento, instalado em campo, responsável pela operação do semáforo.

Estágio – configuração das indicações luminosas de um semáforo que dá direito de passagem a determinados movimentos compatíveis entre si; durante o período em que um estágio vigora, as indicações luminosas permanecem inalteradas e, portanto, não se alteram os movimentos autorizados.

Fluxo de Saturação - máximo fluxo que pode passar pela seção que corresponde à faixa de retenção de um link.

Headway – intervalo de tempo que decorre entre a passagem da parte frontal de dois veículos consecutivos, estejam ou não na mesma faixa, numa certa seção transversal da via.

Link – representação gráfica, em forma de seta, que mostra a direção e sentido dos veículos que chegam num semáforo.

Movimento - fluxo de veículos que chegam num cruzamento e que têm, simultaneamente, mesma origem e mesmo destino.

Plano - conjunto de dados, contidos no controlador, que estabelecem todos os parâmetros da operação do semáforo: seqüência de estágios, tempo de ciclo, defasagem, verdes de segurança, tempos de entrevedes e tempos de duração dos estágios.

Tabela Horária – tabela, programada no controlador, onde são estabelecidos os horários de entrada e saída de cada um dos planos de um semáforo.

Taxa de Ocupação – taxa de ocupação de um movimento é o quociente entre seu fluxo e seu fluxo de saturação. É representado por y e é calculado através da expressão F / FS .

Tempo Aproveitado no Final - período aproveitado dos tempos de amarelo ou vermelho, que ocorre logo após o fim do verde, devido ao fato de que alguns veículos continuam passando, mesmo após o fim de seu verde. Para maiores informações, consulte, neste site, o texto “**Fundamentos da Programação Semafórica**”.

Tempo Perdido no Início - período desperdiçado do tempo de verde, que ocorre logo após sua abertura, devido à inércia dos veículos que estavam parados no semáforo. Para maiores informações, consulte, neste site, o texto “**Fundamentos da Programação Semafórica**”.

** Luis Vilanova é especialista em controle e monitoração de trânsito e trabalha atualmente na Gerência de Desenvolvimento Tecnológico da CET / SP.*