



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

# STT-134 – TRANSPORTES I

## CAPÍTULO 6

### FLUXO DE VEÍCULOS EM VIAS E INTERSEÇÕES

JOÃO ALEXANDRE WIDMER

SÃO CARLOS  
2021

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE VIAS DE TRANSPORTE E TOPOGRAFIA - STT

STT-134 TRANSPORTES I

## CAPÍTULO 6

FLUXO DE VEÍCULOS EM VIAS E INTERSEÇÕES



JOÃO ALEXANDRE WIDMER

-SÃO CARLOS-1987-

PUBLICAÇÃO 010/89

Reimpressão

## 6. FLUXO DE VEÍCULOS EM VIAS E INTERSEÇÕES.

No capítulo 3 foi descrita a forma de movimento de veículos individuais ao longo de uma via.

Naquela descrição ignoraram-se quaisquer restrições ao movimento que não aquelas impostas pelas características de locomoção do veículo ou restrições da via sobre a qual ele circula. Entretanto, em quase todos os sistemas de transporte o movimento de um veículo é limitado pela presença de outros veículos sobre a mesma via, que nem sempre lhe permitem atingir o seu desempenho ótimo.

Sempre que existe um número grande de veículos sobre uma via ou conjunto de vias (relativamente ao número para o qual a via foi projetada), ocorre um congestionamento que poderá causar considerável aumento no tempo de percurso, no custo da operação de transporte e no risco de acidentes.

A compreensão dos fundamentos do fluxo de muitos veículos ao longo de uma via, ou através de interseções entre vias, torna-se portanto essencial para que o engenheiro possa projetar ou remodelar esses componentes para atender de forma adequada às necessidades do tráfego.

As características de projeto dos componentes físicos dos sistemas de transporte, a forma de como o tráfego de veículos sobre vias e interseções é regulamentado (e.g. regras de tráfego rodoviário, programas de operação de trens) e as características de comportamento dos operadores humanos dos veículos (quando presentes), todas interagem na determinação do nível de desempenho com que o tráfego flui ao longo das vias e através das interseções. Dessa forma as relações que regem esse fluxo de tráfego precisam ser necessariamente consideradas no projeto de novos componentes de infraestrutura bem como na elaboração de planos de operação de sistemas de transporte.

O presente capítulo focalizará a determinação de características de fluxo tais como: máxima capacidade possível de fluxo, o efeito de volumes variáveis de tráfego sobre o tempo de viagem ao longo de uma via e outros fatores associados à qualidade do serviço oferecido por um sistema de transporte.

## 6.1. O Diagrama Espaço-Tempo

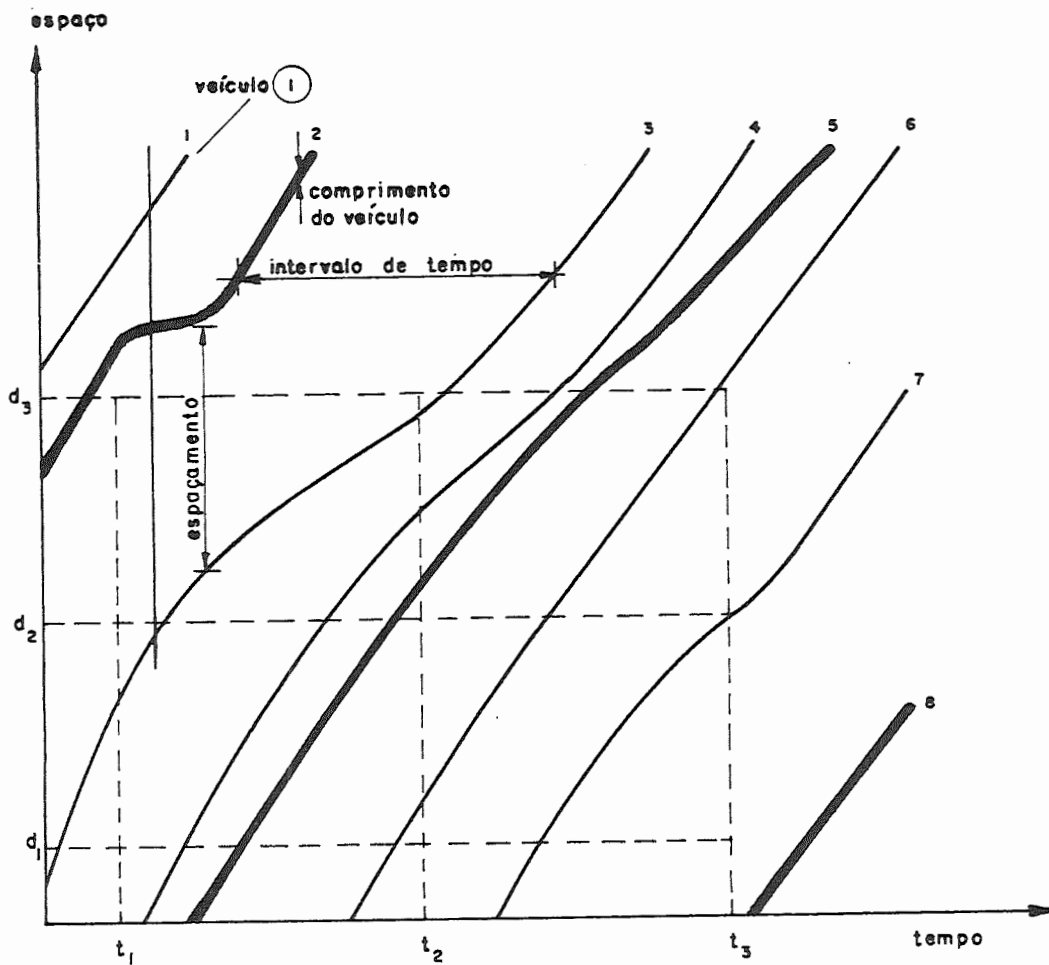
Uma das ferramentas mais úteis para análise do fluxo de veículos e para explicar as variáveis e relações básicas associadas ao fluxo de veículos é o diagrama espaço-tempo. O diagrama espaço-tempo é simplesmente uma representação gráfica de todos os veículos que seguem uma trajetória, no qual a localização de cada veículo em função do tempo é especificada.

A Figura 6.1 representa um diagrama espaço-tempo genérico. O eixo vertical representa a localização ao longo da trajetória e o eixo horizontal representa o tempo. Oito veículos são mostrados nessa figura. O primeiro denominado 1 está deslocando-se a velocidade constante, e portanto a linha representando o seu movimento é uma reta. A espessura da linha 1 corresponde ao comprimento do veículo. O veículo 2 que segue o veículo 1 inicialmente está se deslocando a velocidade constante, depois reduz a velocidade, para por um curto intervalo de tempo e então acelera novamente continuando na parte final a velocidade constante. A espessura dessa linha é maior que a do veículo 1, refletindo o fato de que o veículo 2 é mais comprido que o veículo 1 (e.g. um ônibus que segue um carro). Outros veículos são mostrados na figura 6.1 com velocidades variáveis. Todas as oito linhas são denominadas de trajetórias de veículos.

Variações do diagrama espaço-tempo são utilizadas em praticamente todas as modalidades de transporte para a análise de fenômenos de fluxo de veículos. Apesar de o diagrama espaço-tempo referir-se geralmente a um único canal de fluxo de tráfego, tal como uma faixa de rolamento de uma rodovia, ou uma via simples de uma ferrovia, em alguns casos esses diagramas podem incluir o fluxo de veículos em mais de um canal paralelo (o que sem dúvida, aumenta a complexidade na sua interpretação). Ele pode também incluir o movimento de veículos em canais distintos que se cruzam ou produzem outro tipo de interferência de fluxos, como é o caso de trens deslocando-se em uma via única com desvios, barcaças atravessando canais estreitos ou eclusas e veículos rodoviários em um cruzamento de ruas.

Na maioria das aplicações o diagrama não considera o comprimento do veículo, sendo representativo de apenas um ponto do mesmo (em geral o ponto extremo frontal).

FIGURA 6.1 - O DIAGRAMA ESPAÇO TEMPO



### 6.2. Conceitos de Fluxo

As variáveis básicas para descrever ou caracterizar o fluxo de veículos sobre uma trajetória são o volume, a velocidade, a concentração, o espaçamento entre veículos e o intervalo de tempo entre veículos.

Volume - é o número de veículos que passam através de uma seção de controle por unidade de tempo. O volume é normalmente medido colocando-se um contador automático de algum tipo no ponto onde a informação é desejada, ou então efetuando-se uma contagem manual.

A contagem poderá ser de veículos em um só canal de tráfego ou vários canais paralelos (e.g. contagem em uma faixa da rodovia ou em todas as faixas da rodovia), e poderá referir-se a um único sentido ou vários sentidos de tráfego (e.g. todos os veículos que atravessam uma interseção independente da via de chegada e da via de saída da interseção). Dessa forma os fluxos incluídos em qualquer medição de volume de tráfego precisam ser corretamente identificados bem como sua medida especificada (e.g. pessoas por hora, automóveis por hora, veículos por hora).

O volume de tráfego é expresso por:

$$q = \frac{n}{T} \tag{6.1}$$

onde

$q$  = volume de tráfego em um ponto (seção de controle)

$n$  = número de veículos que passam por um ponto no intervalo de tempo  $T$ .

$T$  = intervalo de tempo de observação.

Na figura 6.1 por exemplo, o volume de veículos que passam pelo ponto  $d_2$  no intervalo de tempo  $t_1$  a  $t_3$  é 4 veículos/ $(t_3-t_1)$ .

Se o intervalo de tempo  $t_3-t_1$  fosse 5 min, o volume seria 1,0 veículos/min, ou em unidades mais usuais 60 veículos/h. O volume portanto é uma medida média e é sensível ao tempo em que a medição foi iniciada e terminada. Nesse exemplo, se a contagem de veículos tivesse sido feita entre  $t_1$  e  $t_2$  apenas, um período de 2,5 min, o volume teria sido calculado como  $3 \div 2,5 = 1,2$  veículos/min, ou 72 veículos/h.

Na prática quando o fluxo é irregular, como neste caso, e um volume médio é desejado, efetua-se uma contagem de tráfego por período suficientemente longo para que ocorram mínimas variações no valor do volume médio em função do intervalo de tempo de contagem selecionado.

Concentração - outra importante característica do fluxo de tráfego é a sua concentração, também denominada comumente na literatura de densidade. Nestas notas faremos entretanto uma clara distinção entre concentração e densidade, por ser este último termo uti

lizado para expressar também outra medida de fluxo de tráfego como veremos mais adiante. Concentração é o número médio de veículos que ocupa uma unidade de comprimento de uma trajetória em um determinado instante de tempo e é definida por:

$$k = \frac{n}{L} \quad (6.2)$$

onde

$k$  = concentração de veículos

$n$  = número de veículos no trecho de comprimento  $L$  no instante  $t$ .

$L$  = comprimento do trecho.

Referindo-nos novamente à figura 6.1 podemos considerar a concentração de veículos entre  $d_2$  e  $d_3$  no instante  $t_2$ . Se o comprimento do trecho fosse 1,5 km então a concentração seria 2,0 veículos/km. Se a medida entretanto tivesse sido efetuada em um instante diferente, por exemplo  $t_3$ , então a concentração seria 0,0 veículos/km, o que nos mostra novamente que é necessário tomar determinadas precauções para obter medidas de concentração representativas do fenômeno que se quer estudar. Na prática, a concentração média em um trecho de uma trajetória é calculada durante um período de tempo e não em um único instante, utilizando-se a seguinte relação:

$$k = \frac{n \sum_{i=1}^n m_i}{T \sum_{i=1}^n s_i} \quad (6.3)$$

onde

$k$  = concentração média de veículos no trecho durante o período  $T$ .

$T$  = período de observação.

$m_i$  = tempo que o veículo  $i$  ocupou o trecho da via ( $i=1,2,3,\dots,n$ ).

$s_i$  = distância percorrida pelo veículo  $i$  no trecho da via ( $i=1,2,3,\dots,n$ ).

$n$  = número de veículos que passaram no trecho no período  $T$ .

O termo  $\sum m_i / T$  é o número médio de veículos nesse trecho da via no período T. O termo  $\sum s_i / n$  é a distância média percorrida pelos veículos no trecho da via durante o período T. Assim esses termos são análogos aos dois termos que definem a concentração na equação (6.2).

Velocidade - a terceira variável básica do fluxo de veículos é a velocidade. Duas definições de velocidade podem entretanto ser usadas para caracterizar o movimento de vários veículos fluindo ao longo de uma trajetória. A definição mais conveniente em termos da análise de problemas de fluxo de tráfego é a velocidade média no espaço - que é a velocidade média dos veículos obtida a partir da divisão da somatória das distâncias percorridas por cada veículo no trecho da via pela somatória dos tempos gastos por cada um destes veículos no percurso dessas distâncias

$$u = \frac{\sum_{i=1}^n s_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (6.4)$$

onde

$u$  = velocidade média no espaço  
 $s_i$  e  $m_i$  definidas anteriormente

A velocidade média no espaço provavelmente não seria a medida utilizada por um indivíduo sem experiência no estudo de fenômenos de fluxo de veículos e portanto sua definição deve ser estudada cuidadosamente. A medida de velocidade média que a maioria das pessoas utilizaria seria a velocidade média no tempo, que é simplesmente a média das velocidades instantâneas dos veículos que passam por um determinado ponto da trajetória em um dado intervalo de tempo. A velocidade média no tempo é definida como segue:

$$v = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \quad (6.5)$$

onde



$V$  = velocidade média no tempo

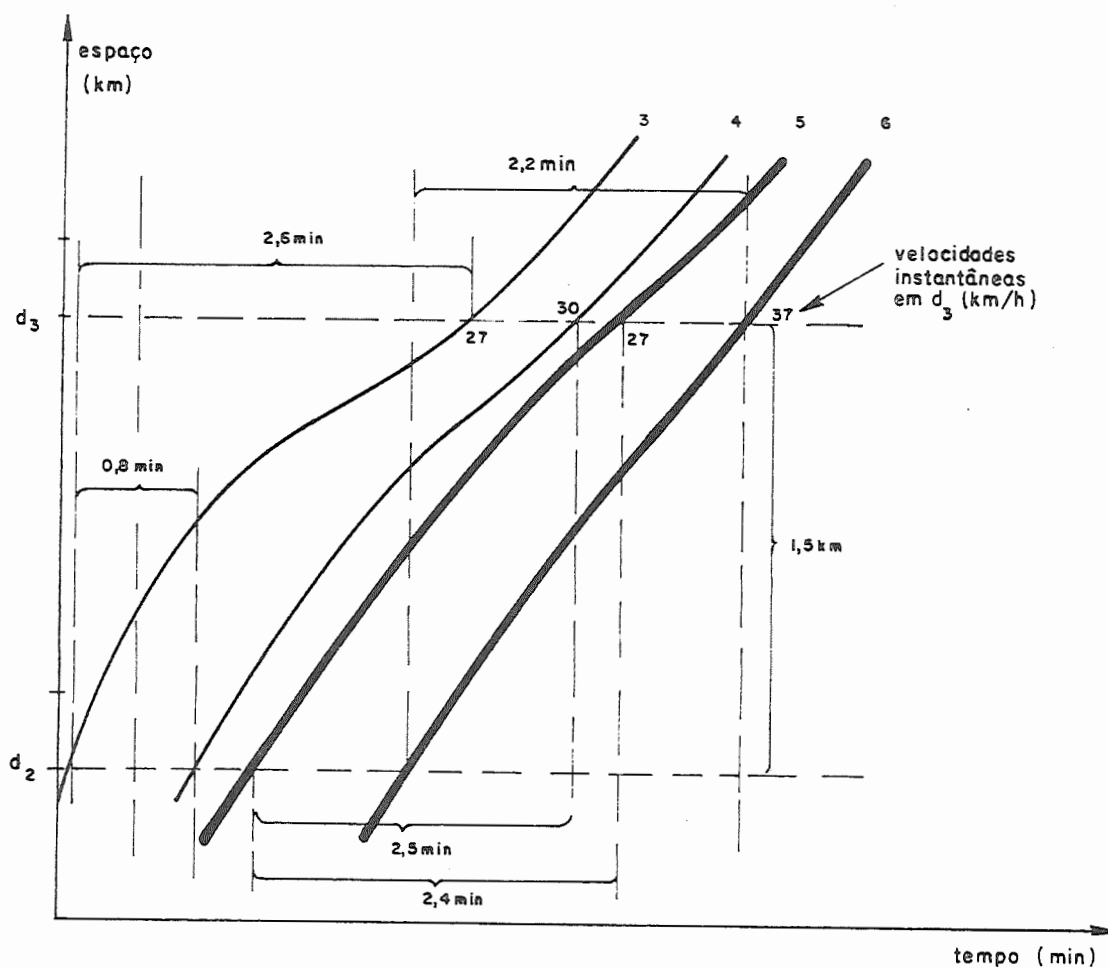
$V_i$  = velocidade instantânea do veículo  $i$  no ponto de controle.

A diferença entre as medidas dessas duas velocidades é mostrada na figura 6.2 que apresenta em maior detalhe as trajetórias dos 4 veículos que se deslocam ao longo da trajetória na figura 6.1 entre os pontos  $d_2$  e  $d_3$  no intervalo de tempo  $t_1$  a  $t_3$ . A velocidade média no espaço considera o movimento dos veículos sobre todo o trecho da trajetória considerado no exemplo, e o valor da velocidade média no espaço tem o valor de 37,1 km/h. A velocidade média no tempo considera as velocidades dos veículos apenas em um ponto da trajetória, aqui selecionado como sendo  $d_3$ , e o seu valor é 30,2 km/h. A disparidade entre esses valores revela a importância do uso da definição correta de velocidade média. No entanto é necessário enfatizar que, apesar de a velocidade local poder ser de interesse para alguns tipos de estudos, a velocidade média no espaço é de longe a mais importante na análise de fluxos de veículos.

Várias combinações dessas três variáveis básicas são aplicadas em estudos de fluxo dependendo do contexto específico da análise. Duas das mais importantes são as que se referem a medidas de espaçamento em uma seção de controle, que os norte-americanos e mesmo técnicos brasileiros denominam genericamente de "headway". Como já referido no Capítulo 3 existe entretanto uma profunda diferença conceitual entre espaçamento em termos de espaço realmente - "space headway" e espaçamento em termos de intervalo de tempo - "time headway" entre passagens de veículos sucessivos.

Na figura 6.2, por exemplo, o intervalo de tempo entre os veículos 3 e 4 no ponto  $d_2$  é 0,8 min. Os intervalos de tempos entre outros pares sucessivos de veículos serão em geral diferentes o que gera o conceito de intervalo médio de tempo. O intervalo médio de tempo entre veículos é a média dos intervalos de tempo entre pares sucessivos de veículos calculada durante um período  $T$

FIGURA 6.2- VELOCIDADE MÉDIA NO ESPAÇO E VELOCIDADE MÉDIA NO TEMPO



em uma seção de controle particular. Assim o intervalo médio de tempo está intimamente relacionado com o inverso do volume de tráfego, e se tanto no início como no final do período de cálculo  $T$  ocorrem passagens de extremos frontais de veículos e apenas um desses veículos é contado, então o intervalo médio de tempo é exatamente igual ao inverso do volume de tráfego.

$$\bar{h}_t \cong \frac{1}{q} \quad (6.6)$$

onde

$\bar{h}_t$  = intervalo médio de tempo.

Em alguns sistemas de transporte onde os veículos passam por um determinado ponto a intervalos de tempo razoavelmente constantes, como é o caso dos trens do METRO por exemplo, o intervalo médio de tempo - "time headway" ou simplesmente "headway" é muitas vezes utilizado com preferência sobre o volume de tráfego.

O segundo conceito de espaçamento - "space headway" ou "distance headway" é utilizado com menor frequência, mas o seu emprego pode ser conveniente em alguns casos, como por exemplo o de espaçamento de aeronaves na aproximação para o pouso por problemas de turbulência gerada por vórtices, ou em sistemas onde uma mesma trajetória é utilizada por veículos de velocidades muito diferentes. O espaçamento médio está intimamente associado ao inverso da concentração e pode, como no caso anterior, ser exatamente igual ao inverso da concentração.

$$\bar{h}_s \cong \frac{1}{k} \quad (6.7)$$

onde

$$\bar{h}_s = \text{espaçamento médio.}$$

Finalmente é necessário abordar o problema da ambiguidade gerada pelo termo densidade.

É comum que transportadores empregam o termo densidade para medir um volume médio de tráfego ao longo de uma rede de trajetórias.

Apesar de muito semelhante ao conceito de volume definido anteriormente esta densidade indica um volume médio de tráfego de todos os pontos da rede de trajetórias de um sistema, ou de uma trajetória particular, durante um período de análise T.

A medida de densidade é definida por:

$$\bar{q} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{L \cdot T} \quad (6.8)$$

onde



- $\bar{q}$  = densidade de tráfego ou volume médio de tráfego na(s) trajetória(s) de interesse.
- L = comprimento da(s) trajetória(s).
- $S_i$  = distância percorrida por cada veículo i na(s) trajetória(s).
- T = período em que a medida foi efetuada.

A medida de produtividade veículo.km/ano por exemplo é uma medida de densidade de tráfego na rede de trajetórias de um transportador. Em alguns casos essa densidade pode ser expressa ao invés de em veículos.km/ano em passageiros/dia, ou passageiros km/ano, ou ton.km/ano.

Como engenheiros de tráfego rodoviário usam a expressão densidade em substituição à concentração e ambas as medidas podem ter unidades idênticas é importante sempre determinar o contexto em que a expressão está sendo utilizada.

### 6.3. Relação Fundamental de Fluxo.

Existe uma importante relação entre as três variáveis básicas definidas em 6.2.

Apesar de a sua divulgação ser mais ampla na área de tráfego rodoviário, ela é válida para todas as outras modalidades de veículos de transporte. Essa relação é comumente conhecida como relação fundamental de fluxo ou relação fundamental de volume-velocidade-concentração.

$$q = k \cdot u$$

onde

q = volume de tráfego

k = concentração

u = velocidade média no espaço

A validade dessa relação pode ser provada substituindo-se as equações (6.3) e (6.4) por k e u.

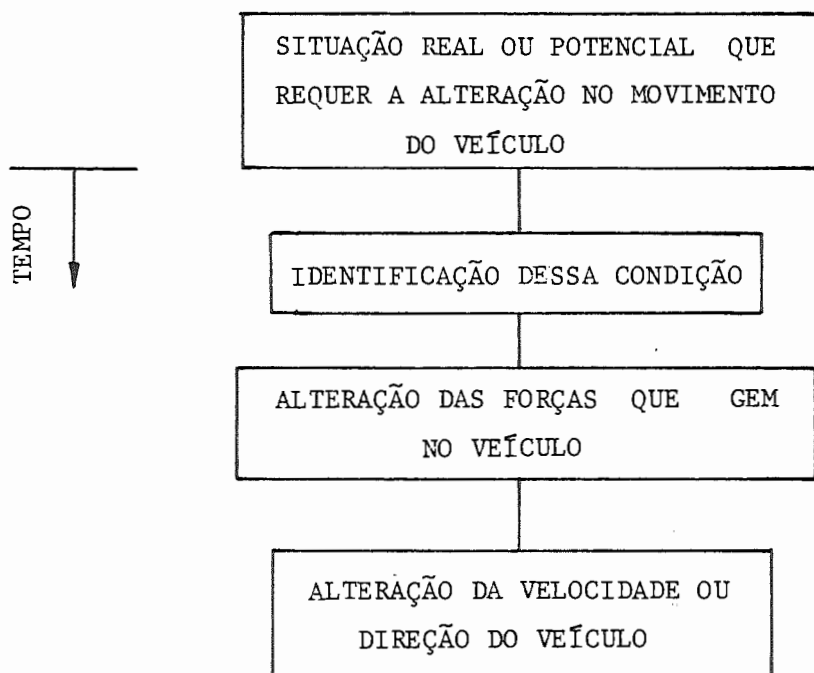
### 6.4. Controle do Fluxo de Veículos.

Sempre que mais de um veículo percorre uma via, ou quando os veículos de uma via cruzam o fluxo de veículos de outra via, ou quando a via oferece restrições ao movimento livre dos veículos, é necessário garantir que não ocorram colisões de veículos, ou ao menos que a probabilidade de colisões seja suficientemente baixa. Formas de atingir esse objetivo, com maior ou menor grau de sucesso, existem em todas as modalidades de transportes.

Apesar das formas específicas de se efetuar o controle do fluxo de veículos variarem apreciavelmente entre as várias tecnologias de transportes, o processo básico que lhes dá origem, apresentado na figura 6.3, é o mesmo. A meta é a de permitir a identificação de qualquer condição que possa requerer uma alteração do movimento do veículo tal como uma mudança de velocidade, de direção ou de altitude, a uma distância e em tempo de permitir uma correção que elimine o perigo de colisão.

Existem vários tipos de situações diferentes que podem requerer uma mudança no movimento dos veículos. Uma delas é uma mudança de trajetória do veículo, uma curva fechada em uma rodovia por exemplo, que só pode ser transposta com segurança em uma velocidade reduzida. Esse tipo de problema é relativamente fácil

FIGURA 6.3 - SEQUÊNCIA DE EVENTOS NO CONTROLE DO FLUXO DE VEÍCULOS



de ser solucionado, pois a existência do perigo potencial é conhecida e pode-se colocar sinalização adequada para informar os motoristas com antecedência suficiente para que eles tomem as necessárias providências. Situações temporárias entretanto, são mais difíceis de serem controladas, pois requerem mudanças do movimento com tempo de resposta em geral menor, tal como o conflito de veículos de vias distintas que cruzam uma interseção. As formas de controle também variam, pois em um extremo pode-se ter o problema do conflito eventual de carros que transitam em baixa velocidade por uma rua de bairro, a qual também é utilizada por crianças para jogar futebol, e de outro pode-se ter o problema de pedestres que atravessam uma via arterial no centro comercial de uma cidade, ou o problema de aviões que chegam a uma área terminal e precisam ser ordenados para o pouso em um aeroporto.

#### 6.4.1. Canalização do Fluxo.

A forma provavelmente mais comum de controlar o fluxo de veículos é a canalização do fluxo. A idéia básica é segregar os movimentos de veículos em categorias, de forma tal que cada categoria seja constituída de veículos com movimentos tão semelhantes quanto possível. Essa concepção serve de base à separação do tráfego de veículos rodoviários de sentido contrário em faixas separadas de uma mesma estrada, à concepção de um sistema de aerovias para o tráfego de aviões no espaço separadas verticalmente por níveis de voo em relação a um ajuste padrão dos altímetros, e horizontalmente por estações emissoras de ondas eletromagnéticas. Dada a incompatibilidade das velocidades de movimento de pedestres e veículos rodoviários, constroem-se canais separados (calçadas, calçadões) para os pedestres ao longo das rodovias.

Como entretanto a segregação em canais apesar de eficiente é limitada, é necessário controlar os veículos por outras formas alternativas.

#### 6.4.2. Limites de Velocidade.

Limites de velocidade são bastante comuns em vias terrestres e hidrovias devido a limitações geométricas da via ou limitações tecnológicas dos veículos. Entretanto, limites de velocidade são também impostos quando não é possível segregare tráfegos com características de movimento bastante distintos em canais separados e é necessário estabelecer uma forma de compatibilizar o uso seguro de canais comuns. Decorrem daí os limites de velocidade de muitas vezes impostos em vias urbanas e interurbanas, limites de velocidade de operação de aeronaves em áreas terminais e limites de velocidade de embarcações em locais de forte concentração de tráfego.

#### 6.4.3. Controle de Veículos nas Vias.

Além do controle do fluxo de veículos nas vias através da canalização e da limitação da velocidade, são necessários uma série de formas de controle adicional para evitar a colisão de veículos entre si, veículos com pedestres e veículos com obstáculos ao longo da via.

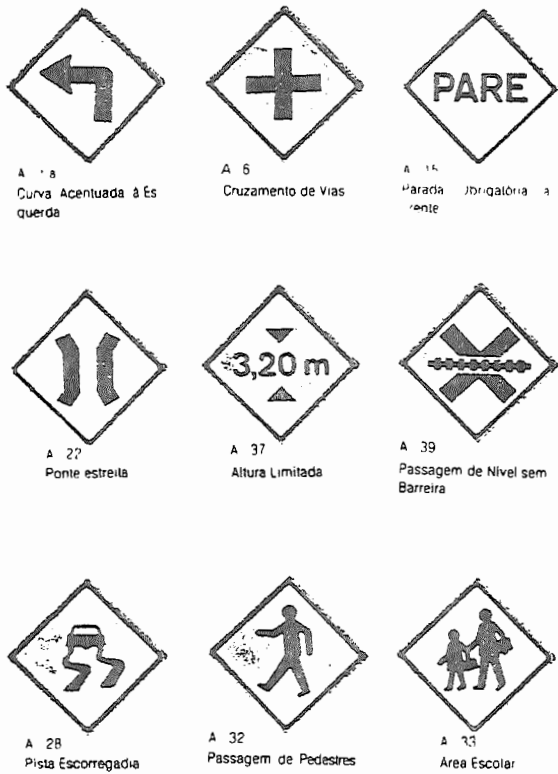
Cada tecnologia de transporte possui formas diferentes, em função das suas características técnicas e de operação.

Veículos rodoviários por exemplo, possuem uma certa capacidade de aceleração, desaceleração e mudança de direção e todo o controle é exercido pelo motorista, que é responsável por identificar uma condição real ou potencial que requer alteração do movimento e comandar essa alteração. Para exercer essa função de uma forma mais eficaz, o motorista recebe uma série de informações a respeito das condições de operação da via além das restrições de velocidade conforme exemplificado na Figura 6.4.

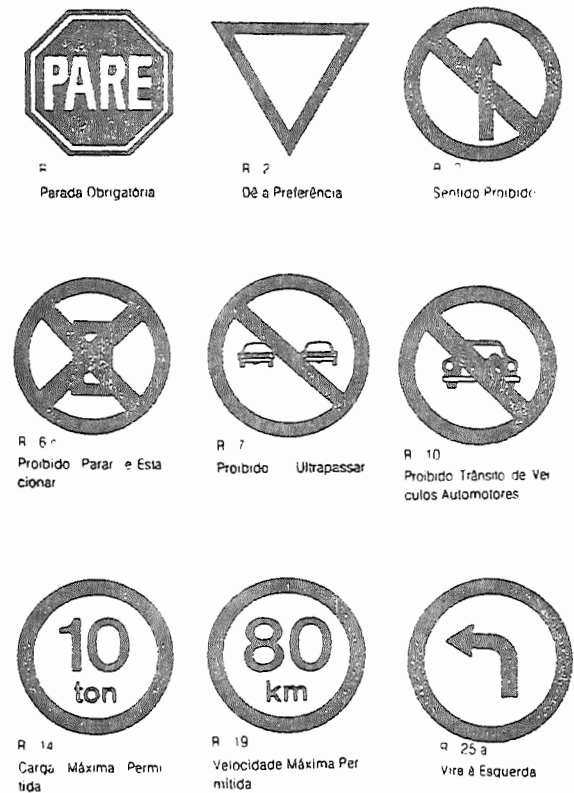
Em função dessas informações e do seu nível de aversão ao risco de colidir com veículos à sua frente na mesma via, obstáculos ao longo da via, pedestres ou outros veículos que podem potencialmente cruzar a via, cada motorista estabelece uma velocidade de operação para o seu veículo, a qual pode ou não ser igual à velocidade limite estabelecida para a via.

FIGURA 6.4 - EXEMPLOS DE SINALIZAÇÃO RODOVIÁRIA

a) Placas de Advertência

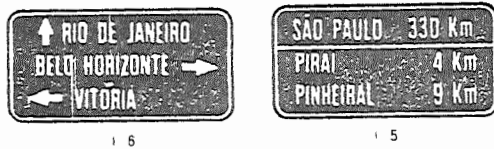


b) Placas de Regulamentação

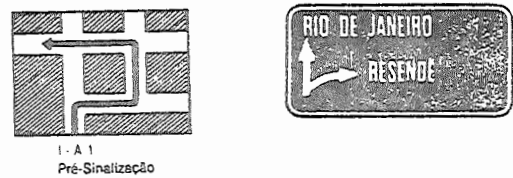


c) Placas de Informação

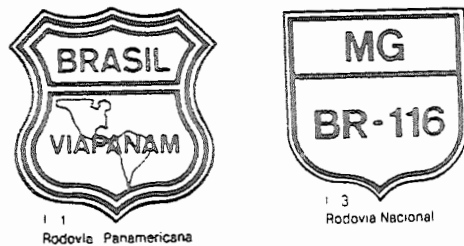
sentidos e distâncias



pré-sinalização

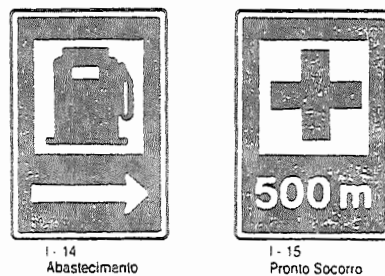
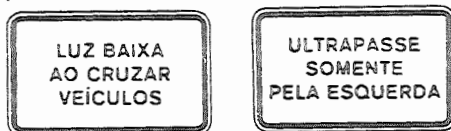


identificação



serviços auxiliares

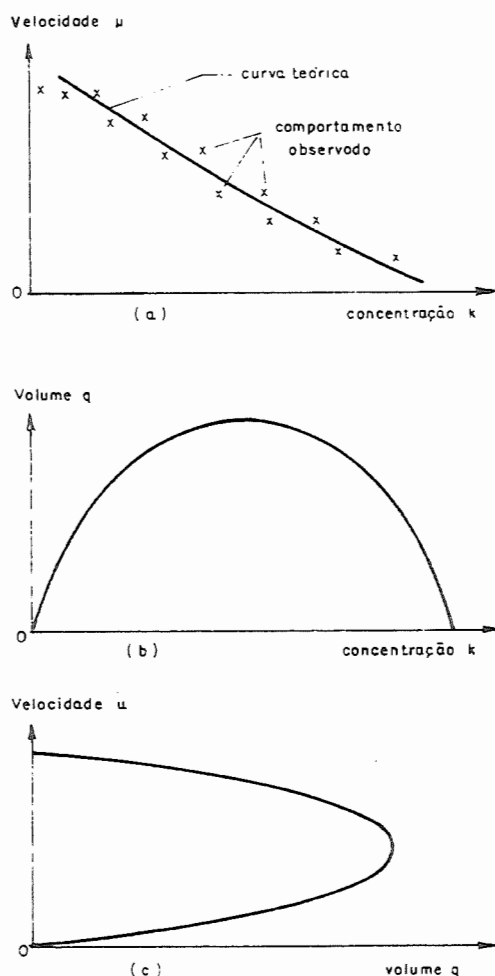
placas educativas





No tráfego rodoviário portanto, o motorista tem uma parcela importante de responsabilidade no controle do fluxo de tráfego ao longo da via, e é em função das reações prováveis de motoristas médios, em geral determinadas a partir de pesquisas de campo, que se derivam curvas como as apresentadas na Figura 6.5. As curvas da Figura 6.5 representam uma síntese de informações contidas em um diagrama espaço tempo, onde a curva de cada veículo é função das formas de reação do seu motorista frente às condições gerais de tráfego na via.

FIGURA 6.5. DIAGRAMAS FUNDAMENTAIS DE FLUXO DE TRÁFEGO RODOVIÁRIO.

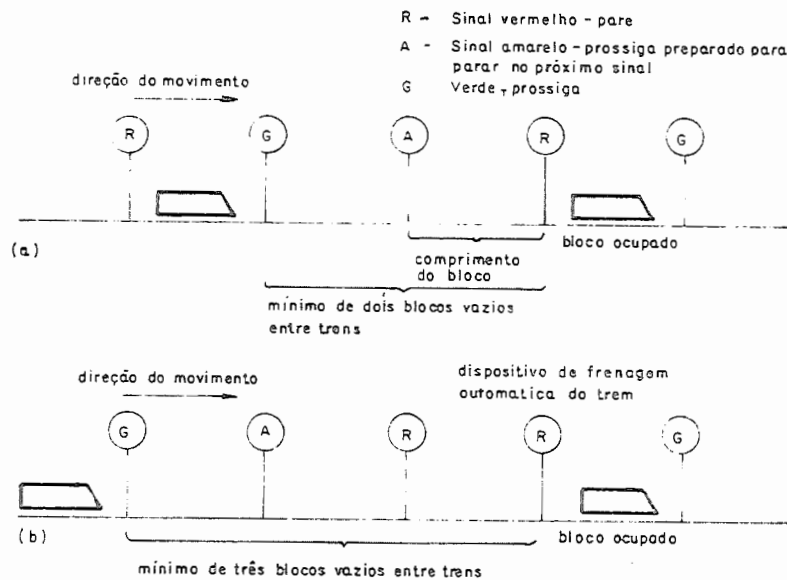


Já no tráfego ferroviário, conforme se viu no Capítulo 3, o peso e a capacidade limitada de frenagem dos trens, demanda em geral distâncias de frenagem bastante grandes, incompatíveis com a técnica de autonomia total do condutor para identificar o potencial risco de colisão e efetuar correções de velocidade somente a partir do instante em que ele ve o veículo a sua frente.

Por isso, utiliza-se no controle do tráfego ferroviário um sistema de sinalização ao longo da via denominado sistema de controle por blocos. As vias férreas são divididas em seções (blocos) e a presença de um trem em um bloco, identificada através de um sistema de controle em geral eletromagnético, embora ainda existam sistemas manuais de bandeiras (estafe) em linhas de baixa densidade de tráfego, além de alguns experimentos recentes com comunicação bilateral via rádio. Sinais colocados no início de cada bloco dão aos condutores a informação sobre a ocupação ou não dos blocos subsequentes, permitindo-lhes as mudanças de movimento necessários para evitar a colisão.

A forma de funcionamento do sistema de controle por blocos é ilustrada na Figura 6.6.

FIGURA 6.6 - SISTEMA DE SINALIZAÇÃO DE BLOCOS EM VIAS FÉRREAS. (a) SISTEMA DE DOIS BLOCOS COM TRÊS FASES COMUM EM FERROVIAS INTERURBANAS. (b) SISTEMA DE TRÊS BLOCOS COM TRÊS FASES, COMUM EM FERROVIAS METROPOLITANAS.



Considerando-se o caso mais simples de fluxo unidirecional da figura 6.6 um trem ocupa um bloco identificado como "bloco ocupado". O sinal na entrada desse bloco passa a indicar "pare", normalmente uma luz ou sinal vermelho. Se os blocos são suficientemente compridos para que o trem consiga parar no espaço livre de um bloco ocupado, então o próximo sinal a montante (no sentido oposto ao do movimento) pode ser colocado na posição "prossiga mas prepara-se para parar no próximo sinal" em geral um sinal amarelo, ou composição de verde e vermelho. O sinal seguinte a montante na entrada do segundo bloco não ocupado, é sinalizado com "prossiga", um sinal ou luz verde.

Como existem três diferentes fases de sinal (vermelho, amarelo, verde) neste esquema e dois blocos entre um bloco ocupado e um sinal de "prossiga", este sistema é denominado de sistema de dois blocos com três fases. Existem diversas variações desse sistema de controle ao longo das ferrovias, sendo que um bastante eficiente é utilizado em sistemas de metrô e pré-metrô em áreas urbanas, onde, sempre que houver um sinal de "PARE" o trem é freiado automaticamente caso o condutor não reaja adequadamente. Para tal, existe normalmente um marcador adicional, fato que leva o sistema a ser denominado de sistema de três blocos com três fases (Figura 6.6b).

Também no transporte aéreo, apesar da relativa liberdade de uso do espaço aéreo, existem consideráveis porções onde o tráfego é parcial ou totalmente controlado, dependendo em geral dos volumes de tráfego em determinadas rotas e de assegurar o tráfego mesmo em condições meteorológicas adversas, quando não é possível voar segundo a regra de ver e ser visto. Na aviação comercial e militar, em particular com aeronaves de grande porte, o voo controlado é uma condição necessária à segurança das operações.

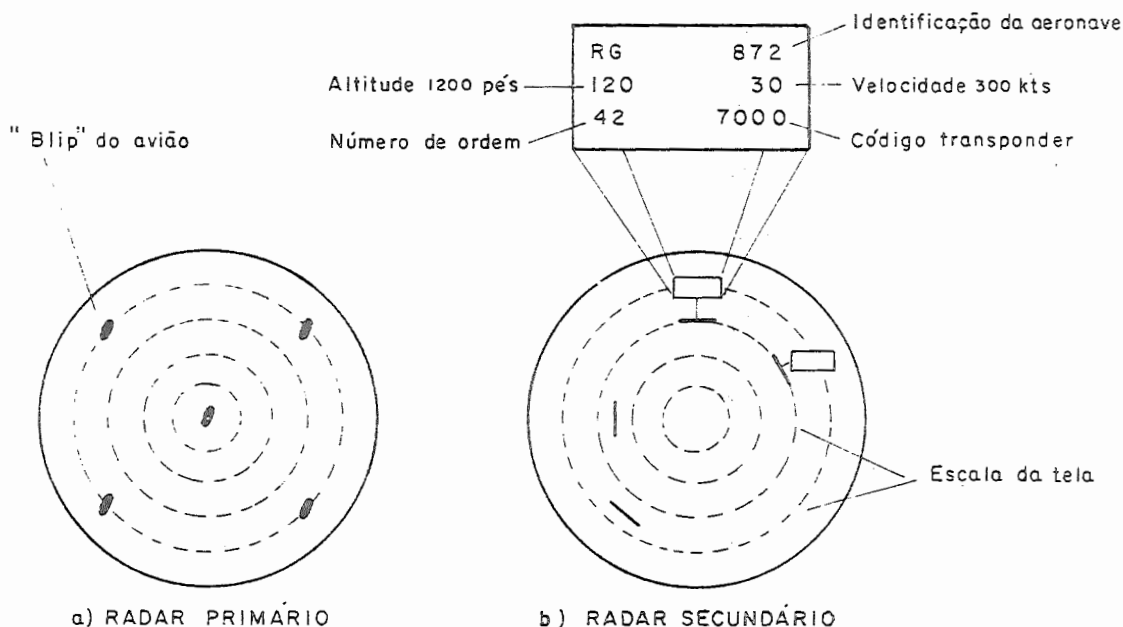
Várias são as formas de controlar aviões em aerovias de forma a evitar colisões.

Sempre que um voo de A para B é efetuado em condições controladas, o piloto preenche um plano de voo onde ele explicita, velocidade, altitude de voo e estimativas de horários em que deverá passar por determinados pontos de controle. Esse plano precisa ser aprovado antes da decolagem e pode ser modificado pelo centro de controle de tráfego em função das condições de tráfego.

Durante o vôo existe constante contato bidirecional entre o(s) piloto(s) do avião e os diversos centros de controle de tráfego, que precisam ser notificados com relação à concordância do vôo real com o planejado. Em função dessas informações adicionais, os controladores de tráfego aéreo fazem ajustes nas separações programadas de aeronaves, alterando níveis de vôo ou velocidades relativas entre aeronaves que voam em um mesmo nível.

Como esse sistema depende intrinsecamente da confiabilidade das informações prestadas pelo(s) piloto(s), em áreas de tráfego mais intenso substituiu-se progressivamente informação verbal parcial ou totalmente por informações de RADAR (Radio Detection and Ranging), que são apresentadas em telas de tubos de raios catódicos nos centros de controle de tráfego. A Figura 6.7 ilustra os "displays" de radar que são atualmente usados no controle do tráfego aéreo.

FIGURA 6.7 - "DISPLAYS" DE RADAR, UTILIZADOS NO CONTROLE DE TRÁFEGO AÉREO".



O radar primário Figura 6.7a, apenas informa a existência do avião, que precisa ser identificado mediante comunicação de voz bilateral. Essa identificação e informações de velocidade e altitude são então anotados pelo controlador em uma pequena ficha de plástico, "strimp boat", que é deslocada sobre a tela à medida que o "blip" do avião se move. Para diminuir o tráfego de comu-

nicações verbais e reduzir a probabilidade de erros de identificação e informações, foi desenvolvido o radar secundário, Figura 6.7b. No radar secundário, além do "blip" do avião, a tela apresenta uma identificação do avião e informações de altitude de vôo e velocidade, dados estes fornecidos por um equipamento instalado a bordo das aeronaves denominado "transponder", que responde a um sinal de interrogação do radar. Modernamente todos os dados colhidos através do radar alimentam um computador que permite simular o deslocamento e detectar possíveis conflitos entre aeronaves. Sistema semelhante é também utilizado no controle de embarcações onde o tráfego não permite a operação pela regra de ver e ser visto.

#### 6.4.4. Controle de Veículos em Interseções.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MORLOK, E.K. (1978) - Capítulo 5.
2. WHOL, M. and MARTIN, B.V. (1967)
3. FRUIN, J. (1971) -
4. HORONJEFF, R. and MC KELVEY, F.X. (1983) - Capítulo 4 e 8.
5. BAERWALD, J.E. Edit. (1976) - Capítulo 7 e 8.