

USO DO MODELO TRARR NA SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO EM VIA RURAL

Almanir Silveira

Universidade Federal de São Carlos/ Departamento de Engenharia Civil
Cx. Postal, 676 - Fax: (016)274-8259 - e-mail: almanir@power.ufscar.br

RESUMO

Os modelos de simulação de fluxo de tráfego em rodovias para computador têm se tornado, nesses últimos dez anos, uma ferramenta útil e poderosa para planejadores de transportes na avaliação das melhorias a serem adotadas nas vias, especialmente no estado da Califórnia, EUA. Um dos estudos feitos naquele estado americano, é a simulação de vias rurais , com 2 faixas - 2 sentidos, para alguns condados, sendo escolhido o modelo australiano - TRARR -, com adequações para os veículos americanos.

TRARR é um modelo microscópico e estocástico, que analisa o comportamento individual dos veículos, atualizando suas posições, segundo a segundo, simulando suas performances para 35 tipos diferentes de manobras, e 18 veículos-tipo. Uma breve descrição dos aspectos básicos, arquivos de entrada e saída e interface gráfica do modelo são apresentados neste trabalho.

Um estudo completo de caso utilizando o modelo TRARR, feito pelo autor durante a sua estada no Instituto de Estudos em Transportes da Universidade da Califórnia, Berkeley, EUA, para uma via rural, denominada *Balch Park Road*, do Condado de Tulare, mostrando todas as fases de aplicação do modelo e as principais conclusões de sua aplicação para a via estudada, é também mostrado neste trabalho.

1. INTRODUÇÃO

Um dos principais estudos utilizando modelos para simulação de fluxo de veículos em vias rurais de 2 faixas - 2 sentidos de tráfego nos EUA, iniciou-se em 1992 na Califórnia, através do programa LTAP (Local Technical Assistance Program), envolvendo a parceria entre o Instituto de Estudos em Transportes da Universidade da Califórnia, em Berkeley (ITS/UCB) e o governo daquele estado, tendo sido escolhido o modelo australiano, denominado TRARR, para simular vias rurais.

A primeira aplicação deste modelo, foi o estudo das alternativas para realinhamento do greide da 299 State Route,Ca., EUA, feito por Lovell, D. J. et al. (1993). O programa cresceu no triênio

93/95, com a adesão de 6 condados, para a aplicação do modelo às rodovias daquele estado, e com o desenvolvimento de interface gráfica no ITS/UCB, Lovell, D. J. *et al.* (1994) para o uso desse modelo, e de outro, TWOPAS (Harwood, D.W. *et al.*, 1986), desenvolvido nos EUA.

Uma aplicação do modelo TRARR para uma via com tais características do Condado de Tulare, na Califórnia, feita pelo autor, em parceria (Leiman, L. *et al.*, 1995), no ITS/UCB, dentro do projeto citado, é apresentada neste trabalho, com o objetivo de mostrar as vantagens do uso de modelos de simulação no planejamento de melhorias nas vias pelas autoridades encarregadas do gerenciamento das mesmas.

2. SOBRE O MODELO TRARR

2.1. Aspectos básicos do modelo

O modelo computacional denominado TRARR, anagrama de "TRAffic on Rural Roads", foi desenvolvido na Austrália, entre 1978 e 1985 pelo Australian Research Board (Hoban, C. J. *et al.*, 1986), para simulação de fluxos nas vias de 2 faixas - 2 sentidos de tráfego, levando em consideração o comportamento, tanto de veículos quanto de motoristas, nesses tipos de vias. TRARR é um modelo microscópico e estocástico que opera numa base "time-scanning" seguindo os movimentos dos veículos e atualizando suas posições e parâmetros segundo a segundo, simulando as performances para 35 tipos diferentes de manobras, e uma gama de 18 veículos-tipo.

O modelo foi originalmente desenvolvido em FORTRAN para ser usado em "mainframes", sendo a primeira versão para micro-computadores (Versão 3.0) desenvolvida em 85, com grande parte das melhorias relacionadas ao uso de periféricos, do que ao processo de simulação propriamente dito.

A versão mais recente em uso no DECiv/UFSCar, - Versão 4.0 -, (Hoban, C. J. *et al.*, 1991), que incorpora modificações de todas aquelas que a antecederam, apresenta inovações na geração de pelotões de veículos, na metodologia usada para a determinação do consumo de combustível.

2.2. Arquivos de entrada de dados

O modelo TRARR requer quatro arquivos-texto de entrada de dados denominados: *Road*, *Traf*, *Obs* e *Vehs*. Uma descrição sumária das variáveis e parâmetros de entrada, constantes destes arquivos, é apresentada a seguir, e o detalhamento de nomenclatura e formato de cada uma delas podem ser encontrados no manual do modelo (Hoban, C. J. *et al.*, 1991).

2.2.1 Arquivo *Road*

Neste arquivo são especificadas todas as características da via relacionadas ao projeto geométrico e distâncias de visibilidade que restrigem a ultrapassagem, dentro do trecho estudado.

As variáveis usadas nesse arquivo são: comprimento do trecho de via analisado; comprimento e número de uma seção de via, número de seções existentes no trecho da via, característica da linha divisória entre as faixas, existência de faixas adicionais em cada seção, distâncias de visibilidade de ultrapassagem e inclinação do greide para cada seção.

2.2.2 Arquivo Traf

Neste arquivo são especificadas as principais características da corrente de tráfego, tais como: tempo de simulação, tempo de "settling-down", porcentagem inicial de veículos em pelotões, número de categorias diferentes de veículos, número-base para geração randômica, distribuição de tipos de veículos por categorias, proporção do fluxo em cada direção, fluxo total por categoria nas duas direções e velocidade média esperada para cada categoria de veículos.

2.2.3 Arquivo Obs

Nesse arquivo são especificadas as localizações das seções da via onde o modelo fornece as variáveis de saída de resultados nos dois sentidos, o que permite a aferição dos resultados obtidos, através de "tac-runs" que se constituem no percurso da via simulada, com registros de velocidades pontuais durante o mesmo.

Na atual versão existe uma limitação no modelo TRARR do número máximo de pontos nesse arquivo, que são 100 nos dois sentidos, o que por vezes torna o uso do modelo restritivo, sobretudo para vias com traçado sinuoso.

As variáveis de entrada usadas nesse arquivo são: número e localização de pontos de observação em cada direção, número da seção de início e término das observações em cada direção, tempo e distância entre veículos em pelotões; e categorias por tipos de veículos.

2.2.4 Arquivo Vehs

Nesse arquivo são especificados cerca de 60 parâmetros concernentes à características dos veículos e dos motoristas para todos os 18 veículos-tipo previstos no modelo. O ITS/UCB desenvolveu estudos no sentido de comparar as características dos veículos australianos com os americanos, para os estudos feitos nas vias rurais na Califórnia.

O arquivo de "default", contém os valores destes parâmetros para veículos existentes na Austrália, os quais são denominados como:

- VT 1 - *Extraordinary Vehicle*;
- VT 2 - *Large Road Train*;
- VT 3 - *Small Road Train*;
- VT 4 - *Low Powered 38 Tonner*;
- VT 5 - *High Powered 38 Tonner*;
- VT 6 - *Unload Articulated Truck*;
- VT 7 - *Bus*;
- VT 10 - *Small Truck*;
- VT 11 - *Caravan*;
- VT 12 - *Unagressive Car*;
- VT 13 - *Low Powered Car*;
- VT 14 - *Average Car*;
- VT 15 - *Large Car*;
- VT 16 - *Average Car*;

- VT 8 - 4 Ton Truck ;
- VT 9 - 1 Ton Truck ;
- VT 17 - Average Car e
- VT 18 - Sports Car.

Os parâmetros requeridos para o arquivo *Vehs*, por se tratar de uma listagem muito extensa, não são relacionados neste trabalho, mas podem ser encontrados no manual do modelo (Hoban, C. J. et al., 1991) com a denominação *Vehs.aus*.

2.3. Arquivo de saída de resultados

O arquivo de saída dos resultados no modelo TRARR, atualmente denominado de *Out*, fornece ao usuário informações sobre os principais parâmetros de medida de desempenho do tráfego, para cada direção. Os parâmetros desse arquivo são:

- para todo o trecho da via: todas as variáveis usadas no arquivo *Traf*, velocidades médias veículos, tempos médios de viagens, número e porcentagem de ultrapassagens porcentagem de veículos e consumo de combustível para cada categoria de veículos;
 - para cada seção de via: velocidade média todos os veículos, número de ultrapas-sagens, velocidade média e porcentagem de veículos em pelotões para cada categoria de veículo.
- Da mesma forma, por se tratar de um arquivo-texto muito extenso, o arquivo *Out* não é exemplificado neste trabalho, sendo mostrada adiante uma saída gráfica, desenvolvida no ITS/UCB, para sumarizar as principais variáveis de saída do modelo.

3. SIMULAÇÕES UTILIZANDO O MODELO TRARR

3.1. Escolha da via a ser estudada

Para efeito dos objetivos deste trabalho, um estudo de caso constitue-se na aplicação do modelo de simulação - TRARR -, para situações específicas na via escolhida. Tais estudos servem para mostrar as potencialidades do modelo, tais como: adoções de "turnouts", faixas adicionais, etc. A via escolhida, é uma rodovia rural de natureza turística, denominada *Balch Park Road*, com 2 faixas-2 sentidos de tráfego, situada ao norte de *Springville, Ca. EUA*, ligando esta cidade a *Milo*, na direção do *Sequoia National Park*. O trecho estudado possue 6.1 milhas de extensão, com larguras de faixas de 3,6 m e 1.0 m de acostamento em cada sentido.

O alinhamento horizontal compõe-se de muitas curvas, algumas com raios muito pequenos (112 m), que limitam as velocidade entre elas; quanto ao perfil do greide, as rampas são crescentes no sentido sul, e atingem valores de até 6%. O acostamento é estreito, a linha divisórias entre as faixas é contínua, em sua maior parte, e não existem faixas adicionais restringindo, sobremaneira, as ultrapassagens.

Os maiores fluxos sazonais, devido ao tipo de via, nos períodos de pico, fornecidos pelo condado de *Tulare*, eram de 980 vph no pico da tarde, chegando em *Springville*, no sentido sul (sentido 1), e 800 vph no pico da manhã no sentido norte (sentido 2).

3.2. Tabulação dos dados da via escolhida

A tabulação dos dados da via *Balch Park Road* (BPR) foi feita à partir do projeto da planta e do perfil da via, através do uso das interfaces gráficas desenvolvidas no ITS/UCB, para os três principais arquivos de dados do modelo TRARR. Abaixo são resumidos estes dados, de acordo com os parâmetros de entrada exigidos pelo modelo:

- Arquivo *Road*: extensão do trecho estudado: 6,1 mi (9,8 km), comprimento de uma seção de via: 0,04 mi (64 m), greides entre 0% e 6%, curvas horizontais $R \leq 120$ m em algumas seções, sem “turnouts” e faixas adicionais de ultrapassagem.
- Arquivo *Traf*: fluxo inicial (calibração): 180 vph, velocidades médias esperadas: 60 mph para todas as categorias de veículos, 98% , 2% e 0% de automóveis, caminhões e veículos recreacionais, respectivamente (pico da tarde), % de veículos em pelotões: 21%, 10% e 10% , respectivamente e comprimento de “warm-up section” de 100 m.
- Arquivo *Obs*: seções de pontos de observação: entre 0,08 e 6,0 mi (0,12 e 9,6 km), locação dos pontos de observação: 1 ponto a cada 240 m e intervalo total dos pontos de observações: entre 0,12 e 9,6 mi.

3.3. Resumo das simulações da via escolhida

3.3.1 Calibração do modelo

Com o objetivo de reproduzir, ao máximo possível, as condições reais de via e tráfego existentes, foi necessário iniciar os estudos pela calibração do modelo. Assim sendo, de forma a poder comparar as velocidades médias obtidas nas simulações com aquelas realmente percorridas pelos veículos na via, foram feitas duas “*TAC runs*”, nos dois sentidos da via.

As velocidades do veículo-teste foram anotadas a cada 0.1 mi (160 m), em cada sentido, e obtidas as médias, tendo-se ainda registrado a configuração da linha divisória entre as faixas, com o objetivo de simular adequadamente os trechos onde as ultrapassagens fossem permitidas.

Para que se pudesse estimar adequadamente a velocidade média esperada a ser adotada na calibração, adotou-se seu valor variável entre 45 e 65 mph, e comparou-se com a média das velocidades obtidas no modelo e nas “*TAC runs*”, obtendo-se o valor de 60 mph.

Com esse parâmetro adotado, procedeu-se a simulação com o valor do fluxo obtido no campo e obteve-se os gráficos mostrados na Figura 3.1.

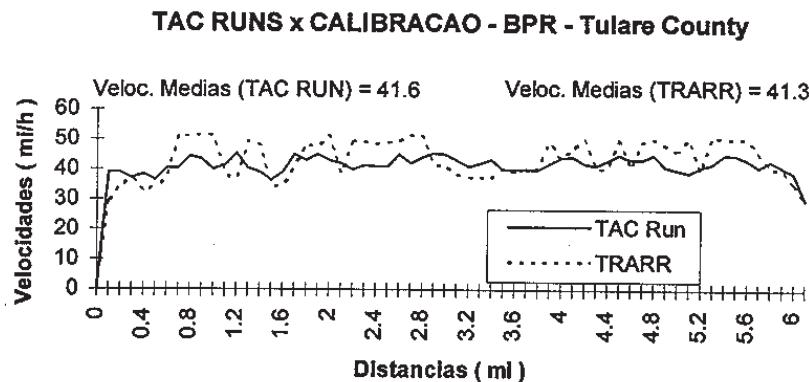


Figura 3.1 : Resultados da calibração do modelo - BPR - Condado de Tulare

Os gráficos da Figura 3.1 mostram, o perfil de velocidades obtidas através das “*TAC runs*” feitas no sentido 1 na BPR, e o perfil obtido pelas velocidades médias obtidas pelo TRARR, com os dados referentes a calibração do modelo.

A comparação dos perfis obtidos nessa figura, permitem concluir que as velocidades obtidas pelo modelo são muito próximas das obtidas no campo, o que indica que o modelo fora calibrado adequadamente.

3.3.2 Simulação para o caso básico

Para este caso, foram mantidos todos os dados relativos a via, e seções de observação (arquivos: *Road* e *Obs*), oriundos da calibração, e mudados os valores do arquivo *Traf*, no que concerne a fluxos, percentuais de veículos obtidos nas contagens, tendo sido escolhido aqueles correspondentes ao pico horário da tarde, e adotado o tempo de simulação de 1 hora.

Na Figura 3.2 a seguir, são mostrados os resultados obtidos na simulação do caso básico para a BPR - do condado de Tulare, para o pico horário da tarde (sentido 1).

Uma simples comparação nos perfis das figuras 3.1 e 3.2, relativos ao sentido 1 (pico da tarde) permite concluir que existem diferenças entre as velocidades médias dos veículos, entre a simulação obtida pela calibração e pelo caso básico no pico horário da tarde, em razão dos distintos níveis do fluxo nos dois casos.

Acrescente-se ainda que, em alguns trechos podem ocorrer flutuações das velocidades por conta do efeito dos caminhões nos trechos de greides elevados acima de 6%, causando a formação de pelotões de carros de passeio, e a elevação dos valores dos diagramas de percentuais de veículos em pelotões na Figura 3.2.

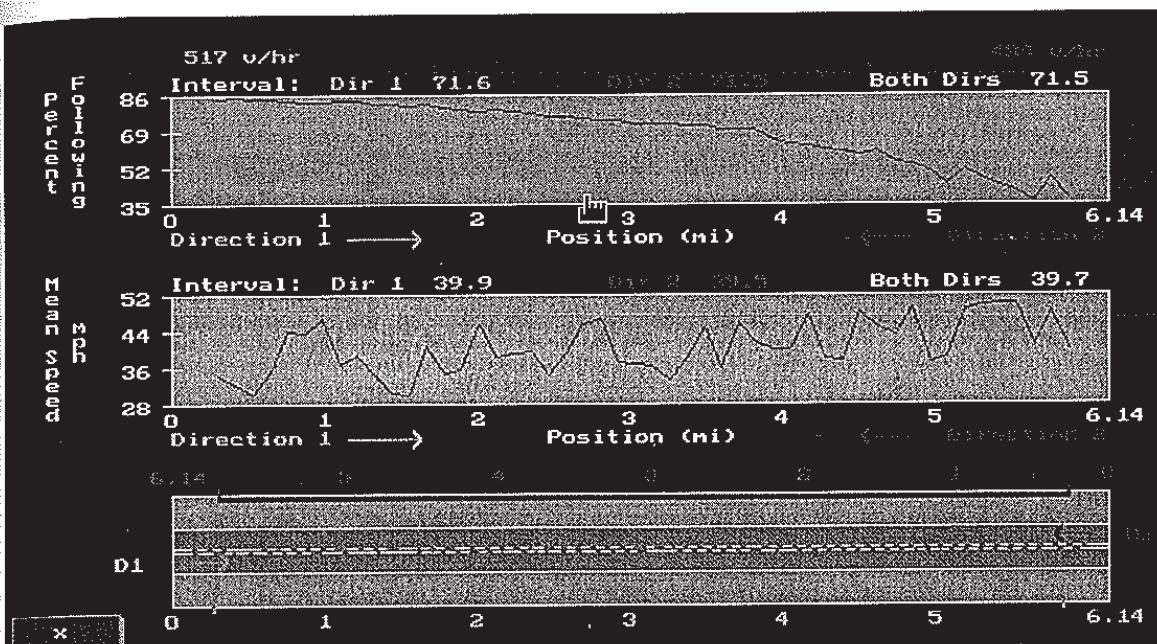


Figura 3.2 : Simulação para o caso básico (tarde) - BPR - Condado de Tulare

3.3.3 Análises de capacidade da via e zonas/faixas de ultrapassagens

Os estudos concentraram-se em duas áreas básicas: zonas/faixas adicionais de ultrapassagem e crescimento do tráfego. Sendo assim, foram feitos estudos analisando o efeito do crescimento do tráfego sobre uma determinada configuração dessas faixas adicionais, iniciando-se por estimativa da capacidade da via, para a configuração existente.

As simulações foram divididas em 4 partes, a saber: a) determinação da capacidade da via para as condições existentes; b) estudo para fixação de zonas de ultrapassagem; c) implantação de uma faixa adicional para ultrapassagem de 450 m e d) implantação de outras faixas adicionais com diferentes extensões e localizações.

A Análise da capacidade da via

A determinação da capacidade da via foi feita para o pico da tarde, variando o fluxo total de veículos de 200 vph a 2200 vph, com incrementos de 200 vph. O fluxo total foi dividido em cada sentido, de acordo com o percentual direcional do tráfego observado em cada hora de pico.

Os valores de velocidades médias (mph) e porcentagens de veículos em pelotões (%), estão mostrados nos gráficos da Fig. 3.3, para o pico escolhido. As letras anotadas em negrito definem as faixas correspondentes para estas variáveis, para cada nível de serviço da via de conformidade com o manual de capacidade (TRB, 1994).

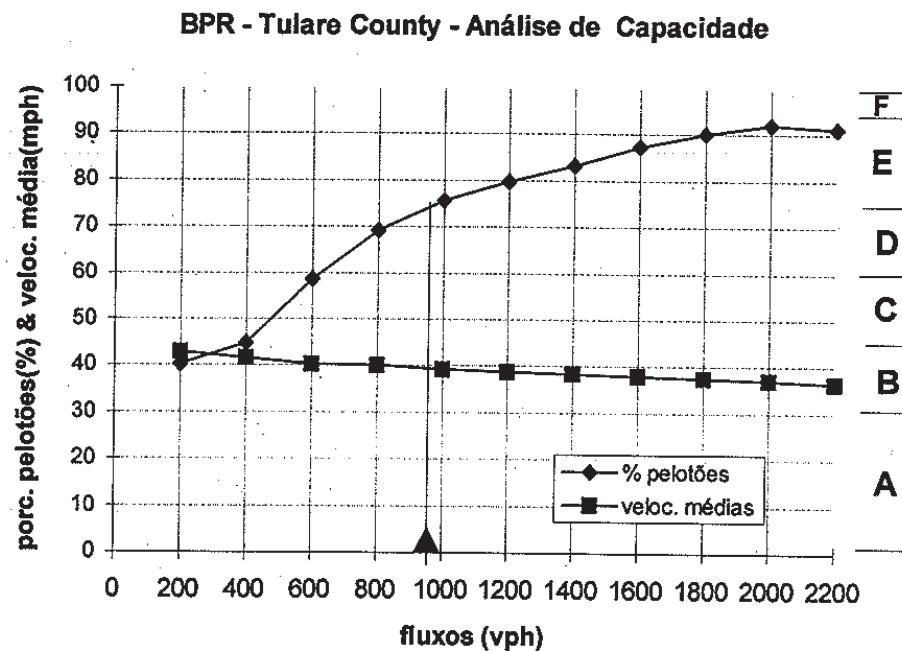


Figura : 3.3 : Análise de capacidade da via - BPR - Condado de Tulare

A análise do gráfico da Fig. 3.3 permite concluir que, com a atual composição de tráfego, com pequena porcentagem de caminhões, a BPR atingiria a capacidade com um fluxo total situado na faixa de 1900 a 2100 vph. Nessa figura está indicado o fluxo atual de veículos, - 980 vph -, para o pico horário da tarde, o que permitia verificar que a via se encontrava em nível de serviço D, apresentando pouca reserva de capacidade.

B Estudos para fixação de zonas de ultrapassagens

Foi feita uma breve investigação para escolha dos locais mais adequados para a implantação de zonas de ultrapassagem, com base no critério de se adotar uma distância mínima de visibilidade de ultrapassagem de 270 m (900 pés), e trechos preferencialmente em tangentes.

Desta forma foram obtidas duas possíveis localizações para as zonas de ultrapassagem definidas por esses dois critérios: entre os marcos 1,9 e 2,15 mi e entre 5,9 e 6,05 mi. Essa última localização foi desprezada por não fazer parte do trecho simulado (situa-se dentro da “*warm-up section*”).

Esse estudo só foi realizado para um sentido do tráfego (sentido 1) e os resultados obtidos permitiram concluir que, o benefício pela adoção da zona de ultrapassagem sómente nessa posição seria muito pequeno, pois o percentual de veículos em pelotões diminuía em menos que 5% e a velocidade média aumentava na mesma faixa.

C Implantação de uma faixa para ultrapassagem de 450 m

Em função do baixo nível de serviço da via, nas condições existentes, o passo seguinte foi estudar a possibilidade de implantação de uma faixa adicional de ultrapassagem de 450 m,- distância

mínima para ultrapassagem requerida pelo HCM/94-, com base na configuração geométrica da mesma.

Para isso foram analisados os arquivos de entrada dos dados do modelo TRARR, e identificados os trechos em tangente com extensão superior a 450m, por serem os mais seguros, e dois deles foram encontrado, entre os marcos 1,95 e 2,3 mi e entre 2,6 e 3,6 mi.

Neste estudo ficou comprovado que a adoção de apenas uma faixa de ultrapassagem em qualquer das duas posições ocasionava um benefício maior que o anterior, mas ainda muito pequeno, pois o percentual de redução de veículos em pelotões, e o aumento da velocidade média era ainda inferior a 10%, o que não melhorava o nível de serviço da via.

D. Implantação de outras faixas adicionais

Finalmente, com o objetivo de reduzir ainda mais o percentual de veículos em pelotões e aumentar as velocidades médias dos veículos, foram feitos outros estudos para a citada via, nos quais eram admitidas novas localizações para faixas adicionais de ultrapassagem, sómente para o sentido mais carregado (sentido 1).

Foram estudados todos os casos mostrados na Tabela 3.1 a seguir. A Tabela 3.1 sumariza os casos estudados para a implantação de faixas adicionais de 1 milha de comprimento, em um e dois locais escolhidos em função de existência de curvas horizontais com raios pequenos e distâncias de visibilidade restritas.

Do ponto de vista teórico, quaisquer locais são possíveis de serem contruidas faixas adicionais para ultrapassagens, todavia, do ponto de vista realístico, os dois únicos que satisfaziam as condições de segurança quanto a visibilidade são aqueles indicados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1
Estudos de locação de faixas adicionais - BPR - Condado de Tulare

Ano	Não Exist.	Faixa Simples 1.0 milha Entre 4.0 - 5.0 mi	Duas Faixas 1.0 mi/ cada Entre 1.0 - 2.0 e 4.0 - 5.0 mi	Contínua 2 sentidos
0	X	X	X	X
2	X	X	X	X
4	X	X	X	X
6	X	X	X	X

A segunda coluna representa a condição de não construção da faixa adicional, e a primeira o ano projetado para a sua implantação, baseado no crescimento anual de 5% ao ano do tráfego atual.

Os resultados das simulações resumidas nas Tabela 3.1 estão mostrados no Anexo I, conforme o seguinte esquema:

- Gráfico superior : perfil das velocidades médias dos veículos em função do ano para diferentes configurações de faixas adicionais de 1 milha;
- Gráfico inferior: percentuais de veículos em pelotões para as mesmas variáveis.

A análise dos gráficos desse Anexo, mostra claramente o maior benefício para os usuários da via, independentemente do ano previsto para a implantação das faixas. Por exemplo, para o Ano 0, (condições da época), implantando-se 1 faixa a velocidade média subiria de 39.7 para 44 mph, com 2 faixas para 47.5 mph, e com faixa continua de ultrapassagem para 50 mph, mantendo-se quase nesse patamar mesmo após o crescimento do tráfego previsto em 6 anos.

Por outro lado, com base na porcentagem de veículos em pelotões, para a mesma situação (Ano 0) esse percentual cairia de 74%, para 67%, 58% e 50%, respectivamente. A título de comparação, implantando-se apenas 1 faixa, haveria um mesmo percentual de pelotões que o atual para o tráfego previsto em até 3 anos, e um percentual inferior ao atual, com uma faixa, quando se adota faixa contínua, após 6 anos de crescimento do fluxo de veículos.

3.3.4 Resumo das conclusões dos estudos feitos

A via rural *Balch Park Road*, com sentido duplo de tráfego, e com base na composição de veículos existentes à época do estudo, apresentava uma capacidade entre 1900 a 2100 vph. Como o fluxo total de veículos era aproximadamente de 1000 vph, para o pico horário da tarde, a via apresentava uma relação entre v/c entre 0.5 e 0.6, propiciando um nível de serviço baixo (D).

Obviamente, sem nenhum melhoramento na via, o nível de serviço atingido nos próximos 6 anos, continuaria piorando, causando uma redução das velocidades médias para 38 mph, e um aumento do percentual de veículos em pelotões para mais de 85%, operando a via praticamente em sua capacidade no final da década.

Foram feitas investigações sobre a implantação de faixas adicionais de 450 m e, uma ou duas, faixas de 1600 m (1 mi), ou mesmo de faixa contínua para ultrapassagem para um sentido de tráfego (sentido 1), para o fluxo de veículos do pico da tarde, com as seguintes principais conclusões:

- adotando faixa de 450 m (mínima sob o ponto de vista de segurança) somente em um trecho, a melhoria das condições de operação da via seria mínima;
- uma faixa adicional de 1 mi, manteria os níveis de serviços oferecidos pela via melhores que os atuais por apenas 3 anos;
- implantando-se 2 faixas adicionais de mesmo comprimento, melhores níveis de serviço seriam alcançados por mais 6 anos e

- duplicando-se a via, através da construção de faixas adicionais contínuas nesse sentido, mesmo após esse tempo, os níveis de serviços oferecidos seriam superiores aos atuais.

REFERÊNCIAS

Harwood D.W. e A.D. St. John (1986) **A user's Guide to TWOPAS - A Microscopic Computer Simulation Model of Traffic on Two-Lane, Two-Way Highways** -Federal Highway Administration, Wasington, D.C., EUA.

Hoban C.J., G.J. Fawcett e G.K. Robinson (1985) **A Model for Simulating Traffic on Two-Lane Rural Roads: User Guide and Manual for TRARR Version 3.0.** Australian Road Research Board, Thechnical Manual ATM 10A,Sydney, Austrália.

Hoban C.J., G.J. Fawcett e G.K. Robinson (1991) **A Model for Simulating Traffic on Two-Lane Rural Roads: User Guide and Manual for TRARR Version 4.0.** Australian Road Research Board, Thechnical Manual ATM 10B, Sydney,Austrália.

Leiman L., A. Silveira e A.D. May (1995) **Interface Enhancements to the TRARR Model for Traffic on Rural Roads and Roadway Studies Using TRARR for Alameda and others Counties-Institute of Transportation Research Report No 95/47,** University of California, Berkeley,Ca.,EUA.

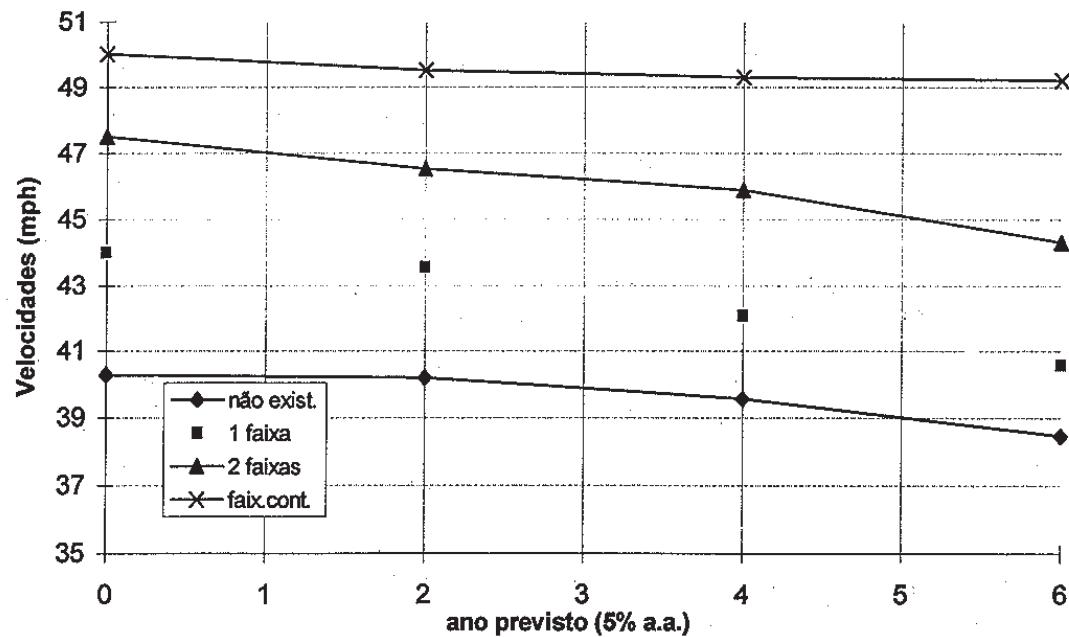
Lovell D.J., S.V. Lau e A.D. May (1993) **Using the TRARR Model to investigate Alignmen Alternatives and Passing Lane Configurations on the Buckhorn Grade** Institute of Transportation Research Report No 93/7, University of California, Berkeley,Ca.,EUA.

Lovell D.J., L. Leiman e A.D. May (1994) **UCBTRARR: A User-Friendly Interface for Rural Highway Computer Simulation Models.** Institute of Transportation Research Report, No 94/36, University of California, Berkeley,Ca.,EUA.

Transportation Research Board (1994) **Highway Capacity Manual.** TRB Special Report No 209, National Research Council, Washington, D.C., EUA.

ANEXO I : Resultados das simulações feitas na via escolhida

BPR - Tulare County
Pico da Tarde - Perfis de Velocidades



Pico da Tarde - Perfis de % de pelotões

