

NT 240

2015

## LIMITES VARIÁVEIS DE VELOCIDADE REGULAMENTADA

Denise Lima Lopes  
Virgílio dos Santos

José Vinicius Silva Bastos (1)  
Colaborador

### INTRODUÇÃO

O excesso de velocidade é uma das principais causas de acidentes e mortes no trânsito, e é um problema de abrangência mundial. Pesquisa realizada em 2008 pela *Autostrade per l'Italia* (empresa responsável pela administração de grande parcela das rodovias italianas) mostrou que mais de 90% dos acidentes fatais são devidos a práticas erradas de condução, e que a cada ano cerca de **60% das mortes na estrada ocorrem devido ao excesso de velocidade.**

Segundo LOPES & JUNIOR, 2007, a relação entre o número e a gravidade dos acidentes de trânsito com a velocidade se evidencia na medida em que o aumento da velocidade proporciona maior dificuldade para controlar o veículo, demanda mais espaço disponível e tempo de reação menor para realizar manobras de desvio ou de frenagem do carro. Além disso, quanto mais rápido se dirige menor o campo de visão, o que diminui a percepção espacial e dificulta a avaliação do risco e a tomada de decisão. Caso o acidente seja inevitável, seu impacto é maior, agravando as suas consequências.

Assim, o monitoramento da velocidade dos veículos em trechos viários críticos é fundamental para mantê-la em patamares compatíveis com as condições do ambiente e do tráfego e, em consequência, reduzir os riscos de acidentes.

---

(1) J. Vinicius é estudante do 4º ano do curso de Engenharia Elétrica e é estagiário da CET. Trabalha na Gerência de Gestão Tecnológica desde 14/10/14.

O limite variável de velocidade (*Variable Speed Limits- VSL*) faz parte das ferramentas de Sistemas de Transporte Inteligentes (ITS) e, segundo a *U.S. Federal Highway Administration (2007)*, tem se mostrado promissor para a melhoria da segurança em estradas sujeitas a condições adversas. O VSL é um sistema em que são alterados, advertidos e reforçados os limites de velocidade nas estradas com base nas condições climáticas, volume de tráfego, acidentes ou presença de obras.

O objetivo desta Nota Técnica é descrever as características e necessidades técnicas envolvidas na utilização de sistema automático ou manual de controle e alteração dos valores regulamentados de velocidade para as vias no município de São Paulo, visando compatibilizá-los com as condições existentes nos respectivos locais.

## **DISCUSSÃO**

Segundo Chang, 2011, para se utilizar do sistema de limites de velocidade variável são pressupostas uma variedade de características como geometria, taxa de accidentalidade e demanda de tráfego.

O sistema de limites variáveis de velocidade foi implantado em alguns estados americanos e em países da Europa, sendo alguns deles descritos abaixo.

### **Implantação dos limites variáveis de velocidade na Europa:**

A Alemanha tem utilizado harmonização da velocidade desde 1970. Este sistema é destinado a estabilizar o fluxo de tráfego em condições de saturação próxima à de congestionamento, reduzindo a probabilidade de acidentes, melhorando o conforto e reduzindo o impacto ambiental. O sistema foi implantado na A8 entre Munique e Salzburg, na A3 entre Sieburg e Cologne e na A5 em Karlsruhe.

Nas rodovias da União Europeia, o controle do limite de velocidade é baseado no volume de veículos por hora por faixa (vphpl), segundo os parâmetros da Tabela 1; sendo que, se for detectada uma fila de veículos, a velocidade de 40 mph é adotada antes do final da fila (Harbord, 1998).

Tabela 1: volume de veículos adotado para mudança da velocidade.

<b>Volume de Veículos (vphpl)</b>	<b>Velocidade Regulamentada (mph)</b>
< 1650	70
> 1650	60
> 2050	50

Fonte: Florida Department of Transportation, 2012.

Com adoção das medidas demonstradas pela Tabela 1, observou-se que, ao longo dos 2 anos subsequentes à implantação do projeto, o número de acidentes caiu em torno de 10% a 15%. Isso porque a maior uniformidade do tráfego desestimulava os motoristas a mudarem de faixa. Com isso, houve também aumento do fluxo de veículos em 15%, redução de ruídos e emissões de gases na atmosfera, além de queda no número de motoristas excedendo o limite em 50%. Contudo as sinalizações de limite de velocidade não podem ser colocadas a distância maior do que 1 km entre uma e outra, caso contrário pode haver desrespeito, já que não há fiscalização por meio de radares fotográficos.

Um dos objetivos possíveis do VSL é a melhoria da segurança viária em situações climáticas adversas. O cálculo da variação de velocidade pode ser feito com base simples como uma tabela ou até em dados de múltiplos sensores processados por algoritmos cujos parâmetros podem ser ajustados por um operador. A Tabela 2 abaixo mostra um exemplo dos ajustes de velocidade propostos para as estradas na Alemanha (Delcan apud FHWA) com base em uma tabela simples. Infelizmente não foram divulgados os resultados obtidos em termos de fluidez ou segurança.

Tabela 2: Variações de Limite de Velocidade em situações climáticas adversas na Alemanha.

<b>Fluxo de Tráfego</b>	<b>Condição Climática (iluminação / umidade)</b>				
	<b>Dia / Seco (km/h)</b>	<b>Noite / Seco (km/h)</b>	<b>Dia / Chuva (km/h)</b>	<b>Noite / Chuva (km/h)</b>	<b>Extrema (km/h)</b>
<b>Baixo</b>	130*	120	110	110	90...60
<b>Moderado</b>	110	110	100	100	90...60
<b>Alto</b>	90	90	80	80	90...60
<b>Instável</b>	70	70	70	70	60

\*Irrestrito para tráfego muito baixo

Fonte: Delcan, 2015.

## Implantação dos limites variáveis de velocidade nos EUA

Em Orlando, na Flórida, o sistema foi implantado ao longo da rodovia I-4 para melhorar a segurança procurando gerar um fluxo mais constante durante os períodos de trânsito congestionado e fornecendo aviso antecipado do tráfego intenso à frente. O sistema se baseia em detectores indutivos posicionados no pavimento em cada faixa, próximos às entradas/saídas da via expressa (áreas de possíveis congestionamentos), monitorando a ocupação conforme Figura 1.

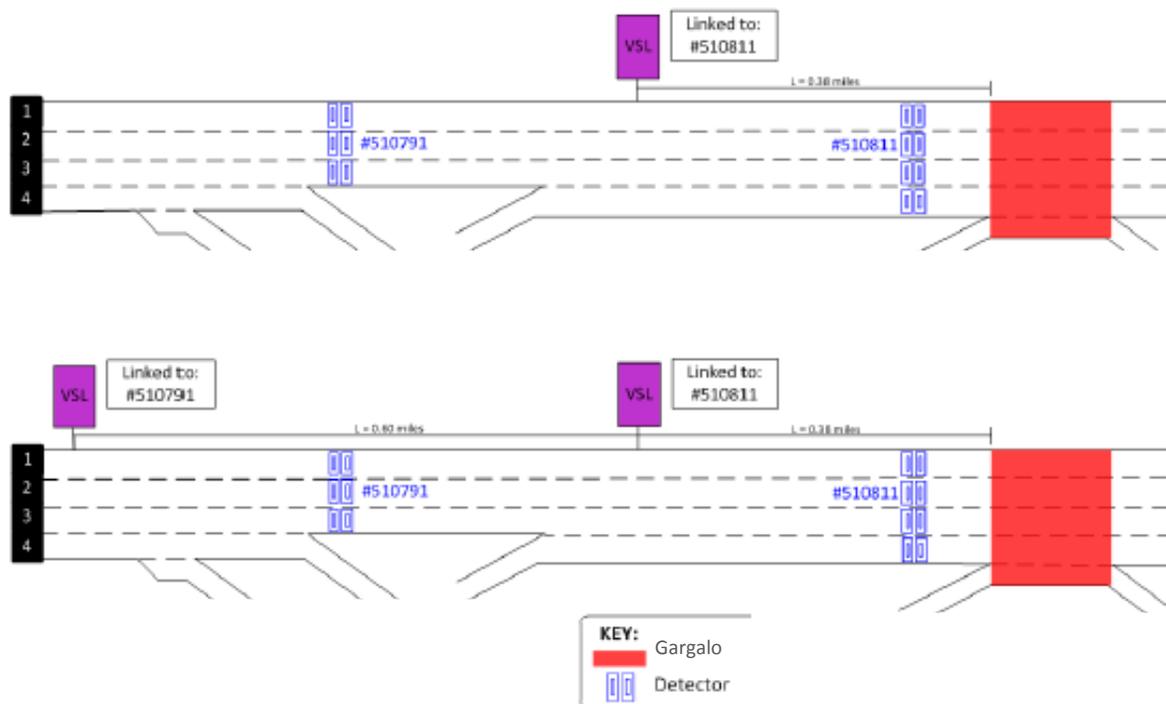


Figura 1: Exemplo de posicionamento dos detectores na rodovia.

Fonte: Florida Dept. of Transportation, 2012.

Em 2012, o *Florida Department of Transportation* avaliou possíveis cenários englobando fluxo e ocupação além do cenário implantado na rodovia usando simulação computacional. O VSL pode ser capaz de fornecer alguma melhoria operacional limitando-se a congestionamentos específicos. No entanto não há um padrão claro sobre o tipo de algoritmo que seria mais benéfico em determinados pontos da rodovia.

Em Seattle, Washington, o sistema foi instalado no trecho da I-5 a partir do acesso para a I-90, a fim de reduzir o número de colisões relacionadas a congestionamento baseado em dados de velocidade e volume. Contudo, não foram divulgados resultados desta implantação.

Em Albuquerque, Novo México, um sistema constituído de sensores ambientais (neblina, chuva e luminosidade) e desenvolvido para controlar a variação da velocidade foi instalado na rodovia I-40, mas em 1998 foi desativado devido a obras para melhoria da rodovia (ampliação das três faixas de rolamento existentes para cinco). Ao longo dos nove anos de operação, a legibilidade da sinalização nas primeiras horas de dias ensolarados e nos finais de tarde era prejudicada devido à orientação Leste-Oeste da rodovia. Já no período noturno, não havia boa visibilidade porque as luzes da cidade atrapalhavam. Além disso, com o tempo, os números exibidos pelo antiquado sistema de display (matriz de discos) utilizado foram gradativamente esmaecendo.



Figura 2: Exemplo de dispositivo para exibição de limite variável de velocidade constituído de pequeno PMV de LEDs, emoldurado pela placa de velocidade.

## Critérios e resultados de sistemas americanos e europeus

Com base na coerência entre vários sistemas de VSL operados na Europa e EUA, a velocidade deve ser recalculada em intervalos curtos de tempo. Por exemplo, os dados são acumulados em períodos de 30 segundos, e o algoritmo adotado na central de detecção em campo deverá fazer verificações a cada minuto para certificar-se de que a velocidade estabilizou ou se a variação permanece antes de mudar o display da velocidade regulamentada. O parâmetro de intervalo de cálculo é uma variável que pode ser programada de acordo com o operador por meio de uma interface do software.

De acordo com as pesquisas realizadas para o controle do tráfego, recomenda-se que em uma determinada via, a transição entre velocidades nos sinais deva ser de no mínimo 10 e no máximo 15 mph, sendo que se deve optar por uma das duas, não podendo haver alternância entre uma e outra.

A Figura 3 a seguir exemplifica um cenário recorrente de congestionamento e retrata uma medida para a melhoria da condição do trânsito do local usando VSL em conjunto com o controle por faixa (Lane Control). Os quadradinhos justapostos na horizontal indicam os sinais (em pórticos, como wss1, wss2, e assim por diante) a serem exibidos sobre as faixas veiculares. O losango branco indica faixa solidária (HOV lane), e os números indicam a velocidade sugerida, havendo um PMV no bordo da pista para mensagens complementares (congestionamento a frente ou sem mensagem quando apagado).

Percebe-se que o congestionamento (na parte superior) provoca filas desde o pórtico wss11 até o wss7. Em vista disso, são exibidos limites de velocidade menores conforme o fluxo veicular se aproxima da área congestionada. Wss 4 exibe limite de 55 mph, wss 5 exibe 45 mph e wss 6 exibe 35mph. Os pórticos anteriores e mais distantes da área congestionada (wss 1 a 3) exibem apenas a seta verde apontada para baixo de forma a indicar ao condutor que a faixa encontra-se aberta ao tráfego.

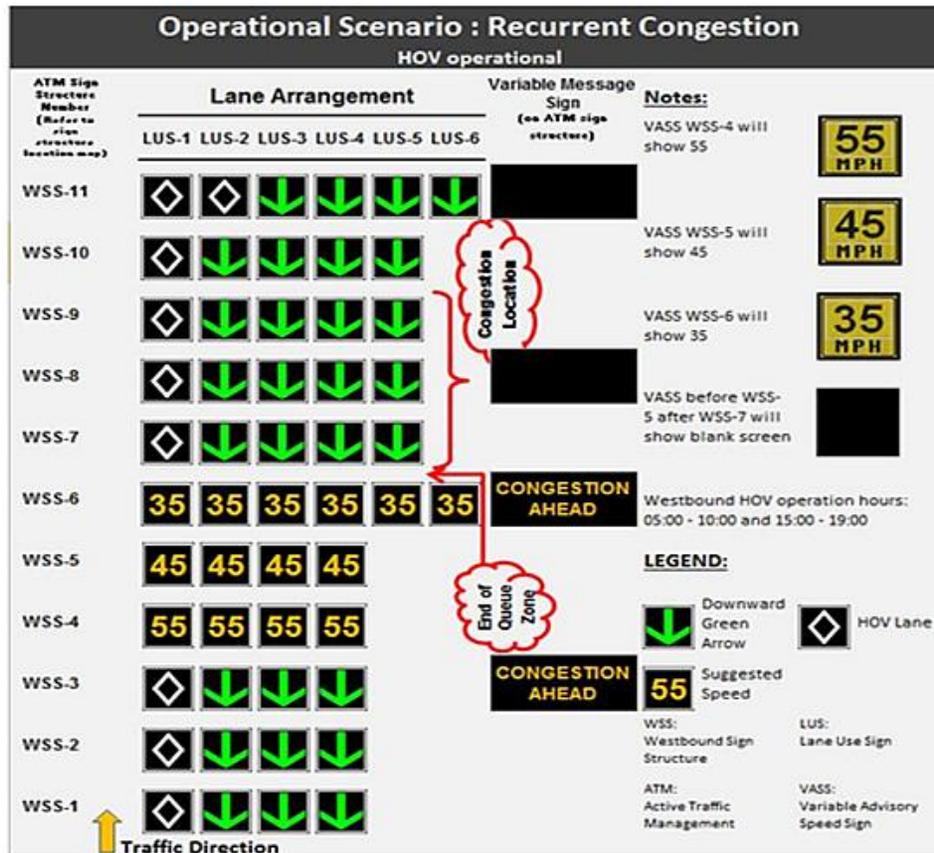


Figura 3: Cenário com congestionamento recorrente.

Fonte: Delcan, 2015 ( I-80 ICM Systems Integration Concept of Oper.)

Os exemplos encontrados mostram que é desejável que haja até duas reduções de velocidade a montante da área com fluxo congestionado.

As tabelas 3 e 4 (no anexo) resumem os resultados obtidos com a implantação do sistema VSL em diversos locais nos Estados Unidos e na Europa, respectivamente. Nos casos de implantação nos EUA, pode-se perceber que, cinco dos onze são relacionados à variação da velocidade máxima ligada às condições climáticas, um é específico para caminhões e apenas cinco parecem ligados às condições específicas do trânsito. Contudo, o que se pode verificar é que, embora seja razoável esperar resultados positivos com a implantação dos sistemas, em três dos onze locais os sistemas implantados foram desativados.

Dos sete casos europeus, em dois locais não há informação sobre o status, mas nos demais o sistema permanece em uso. Dois casos são voltados especificamente para questões climáticas, dois para redução da acidentalidade e melhoria de fluidez e três especificamente para a fluidez do trânsito.

Há pouca informação sobre os motivos que levaram à desativação dos sistemas, bem como às características dos sistemas que parecem ter resultado positivo na melhoria de fluidez ou número de acidentes.

Os sistemas VSL exibem velocidades que, em teoria, maximizam o desempenho nas vias expressas por meio da suavização do tráfego para diminuir ou eliminar sua supersaturação. Foram desenvolvidos vários algoritmos com esse objetivo, a maioria em projetos de pesquisa. Os dados europeus e os dados americanos iniciais indicam que o benefício em termos de desempenho devido exclusivamente ao uso de sinais de velocidade variável gira entre 1 e 3 %, embora alguns aleguem obter resultados melhores (Delcan).

A tabela 5, também no anexo, apresenta uma avaliação do uso de sistemas VSL com base em simulações.

## **ASPECTOS LEGAIS**

### **Em âmbito nacional**

A fiscalização automática de velocidade consiste em uma atividade metrológica necessitando, portanto, atender às regras determinadas pela legislação metrológica em vigor, definidas pelo Inmetro (DIMEL).

O Regulamento Técnico que rege a matéria é descrito na Portaria Inmetro nº 115/98, na qual estão, inclusive, as definições sobre os diversos sistemas de medição de velocidade disponíveis, a saber: fixo, estático, móvel e portátil.

Todos esses sistemas devem atender também à Resolução CONTRAN nº 396/11, que padroniza a utilização de medidores de velocidade, inclusive estabelecendo a obrigatoriedade da sinalização de regulamentação de velocidade máxima permitida (placa R19) para o local, assim como as distâncias máximas entre a referida sinalização e o equipamento utilizado para a fiscalização, valores estes dependentes da velocidade regulamentada para o local (Anexo IV da referida Resolução:  $V \geq 80\text{Km/h} \rightarrow$  distância entre 400 e 500m; e  $V < 80\text{Km/h} \rightarrow$  distância entre 100 e 300m). É importante também salientar que essa Resolução CONTRAN veda a utilização de placa R19 que não seja fixa, exceto em locais/trechos onde houver a necessidade de redução de velocidade pontual e temporária, em função da existência de obras ou eventos.

## Em âmbito internacional

Para os Estados Unidos, segundo a seção 11-803 do Código Uniforme de Veículo, o limite máximo de velocidade pode ser fixo (para ser eficaz em todos os momentos) ou variável, para ocasiões específicas localizadas nas proximidades da indicação do limite de velocidade. Assim, podem ser estabelecidos limites diferentes para diferentes momentos do dia, diferentes tipos de veículos, condições climáticas instáveis ou outros fatores, sempre visando garantir segurança. Os limites poderão ser alterados, sendo necessária a divulgação das informações apropriadas próximas à sinalização de velocidade.

Na União Europeia, segundo o código, em vias sujeitas a limite de velocidade variável, ninguém deve conduzir veículos acima do limite indicado por placas de velocidade regulamentada. Uma sessão de via poderá ficar sujeita a limite de velocidade variável desde que atendidos os seguintes critérios: a via esteja especificada em um plano; o veículo tenha passado por uma placa com o limite de velocidade variável; e o veículo não passe em seguida ou por uma sinalização indicando limite de velocidade diverso, ou por uma placa que indique que a velocidade regulamentada “fixa” esteja em vigor. A velocidade regulamentada por meio das mensagens variáveis deverá ser vista pelo usuário há pelo menos 10 segundos antes de passar pelo setor.

## SITUAÇÃO ATUAL – FISCALIZAÇÃO AUTOMÁTICA NO MUNICÍPIO

Atualmente, o município de São Paulo conta com 4 contratos de fiscalização automática de trânsito, incluindo nestes, o de fiscalização da velocidade. Segundo o Termo de Referência utilizado para a referida contratação, todas as imagens registradas pelos equipamentos, obrigatoriamente, possuem uma tarja que contém, no mínimo, todas as informações necessárias para caracterizar a respectiva infração registrada. Assim, para o caso específico da fiscalização de velocidade, entre várias outras informações, na tarja constam a velocidade regulamentada do local fiscalizado e a descrição, codificada e por extenso, do enquadramento infringido. Ressalta-se que, atualmente, a fiscalização de velocidade possui 3 enquadramentos distintos, cuja caracterização depende da porcentagem excedida em relação à velocidade permitida (regulamentada), a saber: 1) Menor ou igual a 20%; 2) Maior que 20% e menor que 50% e; 3) Maior que 50%.

Outra característica relevante dos atuais contratos em relação ao assunto é que, além das descrições citadas acima, os equipamentos também efetuam a fiscalização de velocidade diferenciada por classificação de veículo, entre leve e pesado; conforme definição dada pela Resolução CONTRAN nº 396/11. Assim, o procedimento de fiscalização de velocidade baseia-se, além da medida efetiva da

velocidade do veículo, também na leitura de sua placa, a fim de efetuar sua prévia classificação e utilização da respectiva velocidade regulamentada diferenciada.

Ainda segundo o Termo de Referência utilizado para a contratação, as referidas tarjas são completamente caracterizadas em cada um dos equipamentos, não sendo permitido qualquer tratamento (manual ou automático) complementar no Centro de Avaliação de Imagem.

## RECOMENDAÇÕES

Face às descrições efetuadas, constatam-se várias dificuldades e necessidades de compatibilização anteriormente a qualquer tentativa de efetivação na utilização de limites variáveis de velocidade regulamentada.

Entre essas necessidades destacam-se:

- ✓ Definição de procedimentos padronizados para efetuar a alteração da velocidade regulamentada, seja de forma manual ou automática;
- ✓ Desenvolvimento/contratação de um sistema automático que possibilite a alteração da velocidade regulamentada dos locais de interesse, de acordo com os critérios adotados;
- ✓ Realização de adaptações relevantes nos sistemas contratados e vigentes de fiscalização automática, de maneira a possibilitar a integração automática do sistema citado no item acima; ou seja, uma alteração efetuada na velocidade regulamentada pelo sistema do item acima deve acarretar, automaticamente, as adaptações necessárias no sistema de fiscalização automática contratado, inclusive nas informações das tarjas e determinação dos enquadramentos efetivamente infringidos;
- ✓ Realização de estudos prévios que contemplem a implantação integrada de sistemas de detecção de incidentes, controle de acesso e outros; visando garantir os níveis de segurança no trecho de interesse; e
- ✓ Obrigatoriedade de alteração na legislação vigente (principalmente CONTRAN e Inmetro), de forma a respaldar a aplicação de penalidades pelo descumprimento das indicações variáveis de velocidade regulamentada.

## CONCLUSÃO

Em vista de os sistemas, atualmente em utilização mundial, permanecerem em avaliação nos locais em que foram implantados e de não haver estudos específicos publicados mostrando sua efetiva eficiência, sugerimos que se aguardem resultados mais conclusivos dos locais em que os sistemas estão em uso, anteriormente a uma efetiva implantação de um sistema similar em São Paulo.

Há uma série de questões que permanecem em aberto e precisam ser mais bem avaliadas, entre as quais:

- ✓ Obrigatoriedade de respeito à velocidade diferenciada. Há casos na Europa em que a velocidade reduzida é apenas sugerida aos motoristas, sem contrapartida de penalização pelo não cumprimento;
- ✓ Forma de controle do sistema - manual, automático ou misto, exigindo além de algoritmo próprio, a confirmação de um agente assessorado por imagens de câmeras;
- ✓ Periodicidade de utilização, pois se os dias/horários em que se altera a velocidade forem sempre os mesmos, isso poderá ser feito sem grandes investimentos, por meio da implantação de sinalização fixa nos bordos da pista indicando horários e velocidades correspondentes (como nos locais em que há ciclofaixas de lazer, por exemplo);
- ✓ Necessidade de legislação/regulamentação adequada permitindo o uso de sinalização de velocidade regulamentada variável; e
- ✓ Relação de custo/benefício entre a utilização de fiscalização da velocidade variável e a fiscalização de velocidade média, que pode ser uma alternativa mais interessante em termos de complexidade na implantação e de resultados obtidos.

Ressaltamos, inclusive, que em relação a este último item citado, acreditamos que a utilização de velocidade média como critério de deslocamento e fiscalização trará todos os potenciais benefícios oriundos da utilização dos limites variáveis de velocidade regulamentada e outros. Acreditamos que isso possa acontecer em período bem menor e necessitando de menores alterações, seja na legislação em vigor ou na própria forma de efetuar a fiscalização automática (os atuais contratos de fiscalização automática, inclusive, já preveem tal forma de fiscalização, aguardando somente a compatibilidade da nossa legislação). Para maiores detalhes sobre esse assunto, sugerimos uma consulta à Nota Técnica CET nº 222 – Fiscalização de Velocidade Média em trecho de Via.

**Tabela 3: Resumo de sistema VSL nos EUA.**  
**ANEXOS:**

Estado	Localização/Ano de Implantação	Algoritmo VSL	Impactos Observados	Status/Resultados do Sistema
Michigan	M-10 em Detroit / 1960	Modificado manualmente por operador com base em imagens de CFTV e dados de velocidade da via, de 20 a 60 mph.	Nenhum resultado significativo na velocidade dos veículos.	Inativo / melhora a segurança alertando os motoristas sobre o congestionamento adiantado.
Nova Jersey	Nova Jersey Turnpike / anos 60	Baseado na média das velocidades de viagem: velocidade normal até 48 km/h, incrementos de 8 km/h.	Autoridades concluíram que a sinalização é eficiente.	Ativo / melhora a segurança e reduz atrasos durante congestionamentos.
Novo México	I-40 em Albuquerque/ 1989	Gerado a partir de uma tabela baseada em velocidade média mais uma constante em função de condições meteorológicas	Leve redução no número de acidentes, limitada pelo Limite de Velocidade Máxima Nacional (55 mph)	Inativo / melhora a segurança e suaviza o fluxo informando a velocidade apropriada.
Tennessee	Trecho de 19 milhas na I-75 / 1993	Determinado por um computador central com base em dados de sensores ambientais e detectores veiculares	5 a 10% de redução na velocidade, sem acidentes devido à neblina após a implementação.	Ativo / objetiva a segurança viária em condições adversas de neblina
Colorado	Túnel Eisenhower na I-70 / 1995	Determinado automaticamente com base em peso, velocidade e configuração dos eixos dos veículos.	Redução de acidentes envolvendo caminhões em trechos com alta declividade.	Ativo / melhora a segurança para caminhões em declives prolongados.
Washington	I-90 ao longo da passagem Snoqualmie / 1997	Determinado automaticamente usando dados de velocidades. A velocidade no display é confirmada por um operador.	Redução na velocidade média, aumento no desvio da média.	Ativo / melhora a segurança informando os usuários sobre condições perigosas.
Arizona	Trecho rural da I-40 em Flagstaff / 1998	Determinado por um controlador de lógica fuzzy com base em dados de condições atmosféricas e do pavimento da via.	A lógica fuzzy funcionou bem com a imprecisão inerente aos dados de entrada.	Inativo / melhora a segurança em condições climáticas adversas.
Nevada	I-80 / 2000	Baseado no 85º percentil da veloc., visibilidade e condições do pavim. (controlada remotamente) usando uma árvore lógica.	Confiabilidade do sensor de visibilidade (neblina) limitou a operação.	Ativo / sem considerações específicas para congestionamento.
Florida	I-4 em Orlando / Set/Out.de 2008 e Jan.de 2009	Limite de veloc.de 30mph p/tráfego muito congestionado, 40mph p/pouco congestionado, limite normal p/tráfego livre.	A análise mostra que os motoristas não estavam cumprindo os limites de velocidade e o sistema era ineficaz.	Ativo / melhora a segurança e cria um fluxo mais regular.
Wyoming	Parte rural da I-80 em Elk Mountain / 2010	Reduz a velocidade em condições climáticas adversas.	As velocidades foram reduzidas de 0.47 a 0.75 mph para cada 1 milha de redução no VSL.	Ativo / melhora a segurança em condições climáticas adversas.
Seattle	I-5 do acesso Boeing até a I-90 / 2010	Algoritmo desconhecido, bases mudam com a velocidade média e volume de tráfego.	Não foi feita análise formal.	Ativo; reduz acidentes e congestionamento.

Tabela 4: Resumo de Sistemas VSL em Outros Países

País	Localização/Ano de Implantação	Algoritmo VSL	Impactos Observados	Status/Resultados do Sistema
Alemanha	Trecho de 18 km da Autobahn 9 próximo a Munique / 1970s	Baseado nas relações fundamentais entre velocidade, fluxo e densidade entre estações de detecção.	Tráfego durante períodos de congestionamento circulando entre 30 e 40 km/h	Ativo; estabiliza o fluxo de tráfego mesmo em condições de tráfego pesado.
Holanda	Via expressa A16 próximo a Breda / 1991	Velocidade normal 100 km/h; reduzida a 80 km/h se visibilidade < 140 m; reduzida a 60 km/h se visibilidade < 70 m	Velocidade média reduzida de cerca de 8 a 10 km/h em condições de neblina	Desconhecido; aumenta a segurança sob neblina.
Holanda	A2 entre Amsterdam e Utrecht / 1992	Baseado em médias de velocidade e volume em todas as faixas em 1 minuto, 50 km/h na ocorrência de acidente.	Redução da severidade e velocidade das ondas de choque em todas as faixas	Ativo; reduz risco de ondas de choque, acidentes e congestionamento.
Inglaterra	M25 / 1995	Fluxo > 1650: 70 mph a 60 mph; Fluxo > 2050: redução para 50 mph (unidade: veh/h/in ou veic.equiv./h/faixa)	Redução de acidentes em 10 a 15%, alta taxa de obediência.	Ativo; suaviza o fluxo veicular, limites de velocidade são fiscalizados.
Finlândia	E18 / 1998	Redução de 100 para 80 km/h no inverno, de 120 para 100 km/h no verão	Redução tanto na velocidade média como no desvio padrão da velocidade de	Ativo; influencia o comportamento do motorista e melhora a segurança; cumprimento de limites de velocidade é obrigatório.
Suécia	Via expressa E6 em Mölndal / 2006	Baseado na densidade: Fluxo livre = 90 km/h 950 veh/h/in = 70 km/h Pode ser reduzida até 50 ou 30 km/h	Recomendável = 20% de redução de acidentes Fiscalizável = 40% de redução de acidentes Aumento da velocidade média Homogeneização do tráfego Redução na extensão da fila	Ativo; melhora a segurança sob condições climáticas adversas.
Europa	Via expressa na Europa / 2008	Baseado em um algoritmo de controle de limiar	Eficiência otimizada a 50 mph. Não ficou claro se houve efeito em termos de capacidade	Local específico não informado; melhora a eficiência do fluxo de tráfego

**Tabela 5: Resumo de Avaliações de VSL Usando Simulações**

Autor	Software	Algoritmo VSL	Impactos	Outros Comentários
Hegy et al. (2003)	METANET	Modelo METANET modificado para incorporar limites de velocidade variáveis usando limites de velocidade contínuos baseados no diagrama fundamental.	Amortecimento das ondas de choque e redução do tempo de viagem total.	Usado como restrição de segurança para prevenir grandes quedas no limite de velocidade (por exemplo: 10 km/h).
Lin et al. (2004)	CORSIM	Dois algoritmos online: 1. Minimiza a fila antes do trecho em obras por meio de redução dinâmica do limite de velocidade; 2. Maximiza o desempenho de todo o trecho em obras	Aumenta o desempenho do trecho em obras e reduz o atraso total, reduz a variância da velocidade.	Algoritmo avaliado em três tipos de zona de obras. Usada a variação de velocidade como indicador de segurança.
Lee et al. (2004)	PARAMICS	50 km/h se veloc. média ≤ 60 km/h; 60 km/h se 60 < velocidade média ≤ 70 km/h; 70 km/h se 70 < velocidade média ≤ 80 km/h; 80 km/h se velocidade média > 80 km/h.	Reduz o potencial do total de acidentes, especialmente em gargalos, aumenta o tempo de viagem.	Resultados não foram baseados em dados reais de tráfego, muitas suposições não foram calibradas.
Mitra and Pant (2005)	VISSIM	Três cenários: base, velocidade reduzida em um link, e velocidade reduzida com variação da largura de faixa no link.	Alterações significativas na velocidade, densidade e atraso quando a redução de velocidade é implementada com a variação de largura da faixa.	Limitado à modelagem de uma rede estática devido ao escopo e dados.
Hegy et al. (2005)	METANET	Uso do controle de acesso com limites de velocidade variáveis para permitir controle ótimo.	TTS foi reduzido e fluxo de saída foi aumentado.	Não aperfeiçoou o método pela substituição do controle de acesso pelo VSL, mas ofereceu orientações gerais.
Abdel-Aty et al. (2006a)	PARAMICS	Redução do limite de velocidade à montante (de onde vem o fluxo) e aumento da velocidade à jusante (para onde o fluxo vai) do local de risco	Benefícios à segurança em trechos de média a alta velocidade, redução do tempo de viagem, sem benefícios em situações de congestionamento.	
Lee et al. (2006)	PARAMICS	Limite de velocidade alterado por duração específica se o potencial de acidentes previsto (estimado a partir de dados de detectores indutivos) exceder um limite específico	Mais seguro quando o limite de velocidade é igual à média das velocidades nos detetores a montante e a jusante	Assumido que os motoristas iriam respeitar o limite de velocidade. Ignorado o potencial de compensação do motorista
Jiang and Wu. (2006)	Cellular Automation Model	Usados diversos limites de velocidade em um congestionamento: usado limite reduzido de velocidade em congestionamento com aumento gradual do limite a montante (de onde o fluxo vem)	Dissipação de congestionamentos mais rapidamente que o caso de controle quando os novos limites de velocidade estavam ativos	A redução do limite de velocidade resultou em menos áreas congestionadas

**Tabela 5: Resumo de Avaliações de VSL Usando Simulações (continuação)**

Autor	Software	Algoritmo VSL	Impactos	Outros Comentários
Allaby et al. (2007)	PARAMICS	Uso de lógica baseada em árvore para fluxo, ocupação e média dos tempos de viagem.	Melhoria da segurança, mas aumento do tempo de viagem para todos os cenários de tráfego.	Usadas diferentes combinações de valores de limiar para obter a solução ótima.
Abdel-Aty and Dhindsa (2007)	PARAMICS	Uso de médias de velocidade em 5 minutos para determinar alterações. Uso de incrementos de 5 e 10 mph.	Melhoria da velocidade e redução da variação de velocidade. Aumento do índice de risco.	Usados 24 cenários para identificar a melhor implementação de incrementos a montante e a jusante
Piao and McDonald (2008)	AIMSUN	Sistema embarcado, pode ser 60 km/h, 70 km/h, 80 km/h, 90 km/h, e 100 km/h.	Redução das diferenças de velocidade, pequeno intervalo entre veículos (headways), pequeno TTC (time-to-collision).	Necessário equipamento embarcado. Necessário estudo para encontrar balanceamento entre segurança e eficiência.
Abdel-Aty et al. (2008)	PARAMICS	24 tratamentos baseados na extensão da mudança de velocidade (10 a 5 mph), na distância da mudança, e na duração da mudança (5 a 10 minutos)	Redução do risco de colisões traseiras e de mudança de faixa em condições de volume baixo. Nenhum benefício à segurança em situações de tráfego congestionado	Risco de acidente foi computado com base no modelo preditivo que se baseou nos parâmetros do tráfego.
Papageorgiou et al. (2008)	METANET	Ambiente METANET modificado incorpora limites de velocidade variáveis e controle de acesso.	VSL melhorou a eficiência do fluxo veicular, especialmente quando usado em conjunto com controle de acesso.	Considerados casos sem controle, com VSL, controle de acesso e casos integrados.
Popov et al. (2008)	METANET	Uso de dados a montante e à jusante, e valores do limiar baseados no diagrama fundamental de fluxo e densidade.	Onda de choque solucionada e redução de 20% do tempo total gasto em comparação com o cenário de controle.	
Ghods et al. (2009)	METANET	Uso da densidade local, velocidade local e extensão da fila na rampa de acesso para desenvolver um controlador fuzzy.	Controle de acesso ALINEA: 4,8% Controle de acesso fuzzy genérico: 5,0%. Controle de acesso fuzzy genérico e VSL: 15,3% (porcentagens indicam melhoria no TTS)	O controle fuzzy genérico provou ser superior ao controle ALINEA.
Carlson et al. (2010)	METANET	METANET modificado para incorporar dados do VSL por meio do uso de um valor-b.	Redução do TTC em 15,3% no caso de VSL e de 19,5% no caso integrado.	Quatro cenários: sem controle, com VSL, com controle de acesso e integrados.

Fonte das Tabelas 3, 4 e 5: Florida Department of Transportation, 2012.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

Abdel-Aty. M.; Cunningham, R.; Gayah, V. V.; Hsia L. Dynamic Variable Speed Limit Strategies for Real-Time Crash Risk Reduction on Freeways. Dezembro, 2009.

Abdel-Aty. M.; Haleem, K. M.; Cunningham, R.; Gayah, V. V. Application of Variable Speed Limits and ramp metering to improve safety and efficiency of freeways.

Chang, G., Park, S., Paracha, J., 2011. ITS field demonstration: Integration of variable speed limit control and travel time estimation for a recurrently congested highway. In: Proceedings of the TRB 2011 Annual Meeting, Washington, D.C.

Delcan Co. Technical Assistance for the Tiete and Pinheiros Corridors Intelligent Transportations System Project, 2015.

Evaluation of a Variable Speed Limit System for Wet and Extreme Weather Conditions: Phase 1 Report, Oregon Department of Transportation Research Section, Junho, 2012.

Garcia-Castro. A; Monzon, A. Homogenization Effects of Variable Speed Limits. Transport and Telecommunication, 2014, vol. 15, no 2. Page 130- 143.

Guidelines for the Use of Variable Speed Limit Systems in Wet Weather. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Office of Safety, Washington, DC, Junho, 2012.

Harbord, B. M25 controlled motorway-results of the first two years. In: Proceedings of the Road Transport Information and Control, 1998, pp. 149-154.

Resolução CONTRAN nº 396 de 13 de dezembro de 2011.

The Secretary of State for Transport. The M3 Motorway (Junctions 2 to 4a) (Variable Speed Limits) Regulations 2015, UK, No. 241. Disponível em: <<http://legislation.data.gov.uk/uksi/2015/241/made/data.htm#f00004>>. Acesso em: 25 set. 2015.

The Secretary of State for Transport. The M1 Motorway (Junctions 28 to 35a) (Variable Speed Limits) Regulations 2015, UK, No. 1701. Disponível em: <<http://legislation.data.gov.uk/uksi/2015/1701/made/data.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2015.

Variable Speed Limit – VSL: Best Management Practice, Florida Department of Transportation, Julho, 2012.

Variable Speed Limit Signs: Effects on Speed and Speed Variation in Work Zones, Utah Department of Transportation Research and Development Division, Utah, Janeiro, 2008.

Variable Speed Limit System for ELK Mountain Corridor, Wyoming Department of Transportations, Cheyene, WY, Outubro, 2010.

