

# LIMITES DE VELOCIDADE VARIÁVEIS – DEFINIÇÃO DO DOMÍNIO E DE CRITÉRIOS DE APLICAÇÃO

Nuno Gregório<sup>1</sup>, Ana Bastos Silva<sup>2</sup> e Alvaro Seco<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigação do Território, Transportes e Ambiente (CITTA), Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, 3004-516, Coimbra, Portugal,

email: nuno.gregorio@uc.pt      <http://www.uc.pt/ftuc/dec>

<sup>2</sup> Membro honorário da AFESP, Centro de Investigação do Território, Transportes e Ambiente (CITTA), Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, 3004-516, Coimbra, Portugal

email: abastos@dec.uc.pt      <http://www.uc.pt/ftuc/dec>

<sup>3</sup> Centro de Investigação do Território, Transportes e Ambiente (CITTA), Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, 3004-516, Coimbra, Portugal.

---

## Sumário

*Um sistema de limite de velocidade variável é uma componente de um sistema inteligente de transportes. Nele se utiliza informação recolhida em tempo real, relacionada com a velocidade operacional, volume de tráfego detetado, condições climáticas, condições superficiais dos pavimentos, etc., para definir a velocidade máxima face às condições reais de circulação.*

*O presente artigo pretende apresentar o conceito, sublinhando as suas potencialidades, vantagens e limitações, bem como a facilidade de adaptação do sistema a países europeus, designadamente a Portugal. É apresentada a experiência internacional sobre esta matéria, dando-se destaque aos potenciais efeitos associados à sua aplicação quer em termos de segurança quer de operacionalidade.*

---

**Palavras-chave:** VSL; Velocidade Máxima; Expetativa do Condutor; Segurança Rodoviária.

## 1 INTRODUÇÃO

A fixação de limites de velocidade é geralmente considerada central a qualquer política de gestão da velocidade. Estes limites deverão, para ser eficazes no cumprimento do seu propósito, reforçar a perceção por parte do condutor sobre qual a velocidade adequada para circular ao longo da via, e que deverá ser observada pelos restantes utilizadores [1]. De acordo com Elvik [2], a implementação de limites de velocidade é indispensável ao controlo do comportamento do condutor, demonstrando-se que estes têm tendência para ignorar os impactes não imediatamente perceptíveis, ou que não afetem diretamente a sua utilidade (como impactes ambientais, por exemplo).

Embora não exista uma fórmula única para a definição da velocidade máxima, é fundamental que, para que o limite seja credível, este reflita a função e a qualidade da via em estudo. De resto, este tipo de sistema, para ser compreendido e respeitado, deverá ser baseado num compromisso aceite pelos utilizadores da via e pela sociedade no seu conjunto.

Os limites de velocidade variáveis (VSL, da terminologia em inglês, *Variable Speed Limits*) podem ser considerados como uma abordagem distinta da fixação da velocidade máxima. Este tipo de limites procura atender ao facto de que os limites fixos estabelecidos tradicionalmente, e que são de natureza inflexível e imutável, apenas têm em conta a circulação do tráfego em condições normais, limitando-se por isso a traduzir a velocidade máxima adequada a condições normais de circulação. No entanto, uma mudança nas condições de operação poderá implicar a seleção, por parte do condutor, de um limite inferior ao pré-fixado, de modo a manter o risco de ocorrência de acidente dentro de valores aceitáveis [3].

Este tipo de limites de velocidade, que é materializado através do uso de sinais de mensagem variável (VMS), é um desenvolvimento relativamente recente. A sua flexibilidade permite-lhe determinar o valor da velocidade

máxima a atribuir a cada trecho de uma estrada, em função das condições reais de circulação e das características da via prevalentes num determinado momento, com base na monitorização, em tempo real, através da recolha de informação relativa a velocidade operacional, volume de tráfego, condições climatéricas, condições superficiais dos pavimentos, entre outros [4]. Frequentemente, o VSL integra-se em sistemas de gestão e de controlo de âmbito mais alargado, designadamente em sistemas para gestão de incidentes, controlo dos níveis de congestionamento e sistemas de informação ou de alerta aos condutores. Este conceito afigura-se como uma técnica promissora em termos de segurança rodoviária, mas também de gestão da operacionalidade da rede rodoviária, capaz de reforçar a credibilidade e a eficácia da velocidade máxima imposta em cada trecho. De entre as várias áreas em que esta solução tem demonstrado a sua adequação, há a destacar a prevenção de sinistros, situações de congestionamento, condições climatéricas adversas, gestão de incidentes, controlo da velocidade na proximidade de escolas, bem como de infraestruturas especiais (nomeadamente, túneis e pontes), e em zonas de trabalhos, durante obras [5].

Ao longo das últimas décadas, vários sistemas de velocidade limite variável têm sido concebidos e implementados em diversos países, nomeadamente na Austrália, em diversos estados dos EUA e em alguns países europeus, como o Reino Unido, a Holanda, a França e a Suécia. Os resultados obtidos nestas aplicações têm sido globalmente satisfatórios e com ganhos para a gestão do tráfego e para a segurança rodoviária. Para além de uma redução significativa da sinistralidade, os efeitos reportados da sua aplicação apontam ainda para uma diminuição da dispersão das velocidades praticadas [3]. De facto, a imposição de limites de velocidade variáveis, em situações em que os volumes de tráfego se aproximem da capacidade da via, permite minimizar as diferenças da velocidade entre veículos e, por consequência, proporcionar uma maior homogeneização de comportamentos [5].

Contudo, a experiência nacional de implementação deste conceito é, até à data, inexistente. Este facto enquadra-se na problemática mais vasta da sinalização de limite de velocidade em Portugal, que apresenta claros problemas de coerência e de homogeneidade na sua aplicação. Apesar de não constituir uma solução global para o problema, a utilização de VSL poderá revelar-se um contributo significativo para a melhoria da situação existente, nomeadamente nos domínios de aplicação que serão apresentados ao longo deste trabalho.

O presente artigo pretende apresentar o conceito, sublinhando as suas potencialidades, vantagens e limitações, bem como a facilidade de adaptação do sistema a países europeus, designadamente a Portugal. É apresentada a experiência internacional sobre esta matéria, designadamente os efeitos associados à aplicação deste tipo de sistema, no acatamento dos limites de velocidade e nos níveis de segurança e de operacionalidade rodoviárias.

## **2 CONCEITO E DOMÍNIO DE APLICAÇÃO**

### **2.1 Conceito de VSL**

Os limites de velocidade variáveis (VSL) têm sido utilizados no Reino Unido desde os anos 60 do século XX. Após os desenvolvimentos ocorridos durante a última década, ao nível da simulação e dos algoritmos de controlo, o seu uso tornou-se generalizado em vários países europeus, especialmente na Alemanha, na Holanda, em França e na Suécia, assim como em vários estados americanos. Nos EUA, os objetivos centrais da sua aplicação incidem maioritariamente na melhoria da segurança rodoviária, embora possam coexistir com preocupações de gestão do tráfego [6].

Os VSL podem ser descritos como soluções de gestão do limite da velocidade, no âmbito dos Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS), que permitem alterar, de forma dinâmica e em tempo real, o limite de velocidade estabelecido localmente, tendo por base a variação das condições de circulação ao longo do tempo, a segurança e as condições climatéricas [7]. Para tal, são utilizados diversos sistemas de informação relacionados com a monitorização da velocidade de circulação, do volume de tráfego e das condições meteorológicas [8]. A sua flexibilidade permite-lhes determinar, em cada momento, a velocidade máxima numa dada secção, sob as condições prevalentes, quer de circulação, quer da própria estrada, tendo por base a sua monitorização em tempo real [4]. Os VSL pretendem ultrapassar os problemas de inflexibilidade associada aos limites tradicionais, que apenas têm em conta a operação do tráfego em condições normais. Assim, a ocorrência de incidentes, de congestionamento, ou mesmo de condições climatéricas adversas poderão justificar o abaixamento dos limites impostos, de forma a manter o risco de ocorrência de acidente num nível controlado e reduzido [3].

Por conseguinte, os principais objetivos potenciais da utilização dos VSL são a gestão de incidentes, a gestão dos congestionamentos, o controlo da velocidade em situações climatéricas adversas, bem como a gestão da velocidade em zonas específicas (*Speed Zones*) (como por exemplo, zonas na proximidade de escolas, zonas pedonais, zonas de obras, etc.) [5]. Mais especificamente, o uso de VSL pretende melhorar a segurança, reduzindo, para além da velocidade média, a variação diferencial da velocidade entre os veículos que circulam na mesma via ou em vias adjacentes, compatibilizando o comportamento dos condutores e reduzindo a probabilidade de ocorrência de acidente, com vista a: (i) resolver os congestionamentos, (ii) evitar interrupções na corrente de tráfego e situações de estrangulamento, restaurando a capacidade da via; (iii) reforçar os benefícios ambientais e, conseqüentemente, minimizar o consumo de combustível e as emissões [8, 9].

Os sistemas de VSL são, com frequência, total ou parcialmente controlados através de algoritmos de análise, variando na sua complexidade e no número de fatores envolvidos. Os algoritmos mais complexos podem agregar dados de tráfego em tempo real, registados a jusante da secção, bem como dados relacionados com a visibilidade e com as condições meteorológicas, gerando simultaneamente informação dinâmica dirigida ao condutor [5].

## 2.2 Tipos de VSL

Alguns autores restringem o uso deste termo a sistemas baseados em informação de campo, recolhida e transmitida em tempo real, a qual permite a definição do limite de velocidade adequado a um determinado período temporal. Contudo, esta definição é demasiado limitativa, não contemplando a existência de sistemas de VSL que operam de acordo com calendarizações e horários pré-definidos, baseados em dados históricos [7].

Desta forma, é possível distinguir dois tipos de sistemas de VSL: os Limites de Velocidade Variáveis Pré-Definidos (SVSL, de *Scheduled Variable Speed Limits*) [7] e os Limites de Velocidade Dinâmicos (DSL, de *Dynamic Speed Limits*) [7,10,11].

Assim, os SVSL definem os limites de velocidade variáveis com ativação a partir de critérios gerais, tais como o período do dia, a estação do ano ou determinadas condições climatéricas, e cujos valores são geralmente estabelecidos por cada país a nível nacional, por disposição regulamentar (como o Código da Estrada) [11]. Estes limites de velocidade têm vindo a ser implementados em certos países, como é o caso da França, onde são impostas reduções de velocidade face a condições climatéricas adversas (chuva, gelo, neve ou nevoeiro) – ver Fig. 1(a). Também na Finlândia e na Suécia, têm vindo a ser aplicados valores gerais reduzidos sazonais, durante a época do Inverno [10,12]. Conta-se ainda com outros exemplos da sua aplicação nalguns estados do norte dos EUA e na Áustria [11]. Outro tipo de aplicações tem como objetivo reduzir o impacto de certas externalidades negativas da via, podendo os limites variáveis ser aplicados a um determinado período do dia. A redução do limite de velocidade durante o horário escolar (com casos registados na Alemanha e nos EUA) e durante o período noturno, como forma de redução do ruído (caso de Berlim, Alemanha), são alguns exemplos deste tipo de aplicações [7].



**Fig. 1. Exemplos de aplicação/sinalização de VSL: (a) SVSL; (b) DSL [5]**

Por sua vez, o DSL engloba limites de velocidade que são ativados num determinado momento em função das condições prevalentes na via ou no ambiente rodoviário, e que pode incluir o volume de tráfego, o estado da via, as condições climatéricas ou exigências ambientais [13] – ver Fig. 1(b). Ao contrário do caso do SVSL, que é materializado através de sinalização fixa, ou recorrendo meramente a uma disposição regulamentar, estes

limites de velocidade são implementados através de sinais de mensagem variável (VMS), constituindo uma aplicação de Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS) [10,14]. Na Fig. 1 estão representados sinais associados a cada um destes dois tipos fundamentais: um sinal estático, no caso do SVSL, e um sinal dinâmico, eletrônico, no caso do DSL.

Atendendo a esta categorização, Garcia-Castro e Monzon [11] propuseram a classificação para os VSL representada na Fig. 2, discriminando diversas subcategorias para os dois tipos principais: (i) no caso do SVSL, de acordo com a duração e (ii) no caso do DSL, baseada nas condições às quais o limite de velocidade pretende responder.

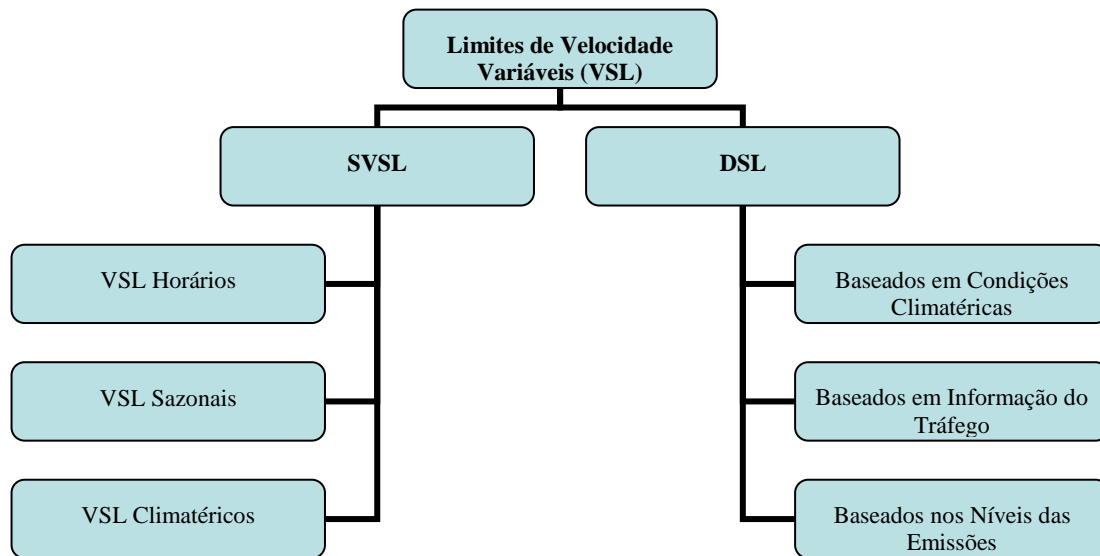


Fig.2. Classificação para os VSL (adaptado de [11])

### 3 AS COMPONENTES DO VSL

Os sistemas de VSL incluem três componentes fundamentais: (1) os instrumentos de deteção e de recolha de informação; (2) o centro de controlo (que determina o limite de velocidade a implementar); e (3) os mecanismos de transmissão e de implementação dos limites de velocidade na via.

Os instrumentos de deteção e de recolha de informação poderão abranger diversos mecanismos ITS, nomeadamente estações de deteção de veículos, estações meteorológicas e instrumentos de recolha de dados ambientais, entre outros [15].

O centro de controlo determina o limite de velocidade a implementar recorrendo a regras lógicas, cujos algoritmos variam em termos da complexidade e do número de fatores envolvidos. Os métodos de controlo mais simples são puramente manuais, baseando-se simplesmente em protocolos ativados pelo operador quando um ou mais fatores (intensidade do tráfego, visibilidade, deteção de incidentes, dados meteorológicos, tempo de viagem, nível de poluição, etc.) excedem um determinado nível pré-definido [7,15,16]. Por outro lado, os mecanismos de controlo mais complexos são automáticos e suportados por algoritmos complexos, que poderão incluir desde a otimização multi-objetivo, até à teoria de jogos, controlo preditivo ou algoritmos genéticos (de que são exemplos [17,18,19,20,21,22,23]).

Estes algoritmos contemplam duas abordagens fundamentais para a determinação do valor mais adequado para o limite de velocidade [6,8,24]:

- i) Homogeneização, procurando reduzir a dispersão das velocidades operadas pelos vários veículos a circular na via;
- ii) Prevenção do congestionamento do tráfego, procurando evitar ou adiar elevados níveis de densidade de tráfego num ponto crítico da rede.

Por sua vez, os mecanismos de implementação dos limites de velocidade, permitindo a sua transmissão aos utilizadores da via, correspondem geralmente a sinais de mensagem variável (VMS). Estes sinais já se encontram regulamentados em Portugal através do RST, sendo usados para várias funções [25,26]. Os sinais deste tipo normalmente utilizados para a implementação de limites de velocidade encontram-se exemplificados na Fig. 3, e podem ser de dois tipos, consoante o seu posicionamento em relação à via: sinais laterais e sinais em pórtico [16].

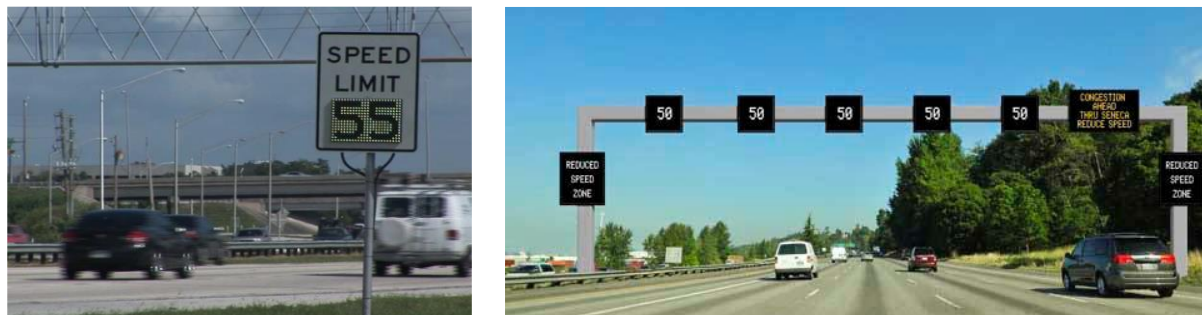


Fig. 3. Exemplos de VMS [16]

## 4 CASOS DE APLICAÇÃO

Desde os anos 80 do século XX, vários sistemas de VSL têm sido concebidos e implementados em diferentes países europeus, bem como em países de outros continentes, cujos exemplos mais relevantes são alguns estados dos EUA e da Austrália. A experiência acumulada nestes casos é sumariamente descrita neste capítulo, procurando-se apresentar os principais critérios de aplicação que determinaram a sua adoção.

### 4.1 Reino Unido – aplicação em autoestradas

Ao longo das últimas décadas, os sistemas de VSL têm sido implementados em vários locais do Reino Unido. As aplicações mais conhecidas integram-se em contexto de autoestrada, e envolveram a instalação de sistemas do tipo dinâmico.

A aplicação mais divulgada é a da autoestrada M25 em Londres, com 4 vias em cada sentido, cujo sistema de VSL entrou em funcionamento em 1995. A implementação incidiu num trecho com cerca de 22,6 km de extensão, com vista a melhorar as condições de circulação do tráfego, minimizando as situações de paragem-arranque e a conseqüente melhoria da capacidade da via e da segurança rodoviária. Foram instalados diversos equipamentos de recolha de informação em tempo real, nomeadamente detetores de tráfego (para medição da densidade e da velocidade) de 500 em 500 metros e estações meteorológicas espaçadas de 1 km [27]. Numa fase inicial da implementação, os limites de velocidade eram reduzidos sucessivamente em incrementos de 10 milhas por hora (cerca de 16,1 km), em função dos volumes de tráfego, podendo variar entre 70 e 50 milhas por hora (cerca de 112,7 e 80,5 km, respetivamente). Em caso de sinistro, era acionado um limite máximo de 40 milhas por hora (cerca de 64,4 km/h). Mais recentemente, foi concebido e implementado um novo e complexo sistema de controlo, funcionando através do *Controlled Motorways System*, em paralelo com o sistema MIDAS (*Motorway Incident Detection and Automatic Signalling*). Este sistema permite a deteção da formação de filas, ou de abrandamentos do tráfego, alterando automaticamente o limite de velocidade em vigor [5].

Este sistema permitiu obter resultados bastante satisfatórios, desde logo ao nível da segurança – redução de 15% no número de acidentes com feridos e de 30% nos custos relacionados com a sinistralidade, tendo ainda sido registada uma redução das situações de congestionamento, dos tempos médios de viagem, e das emissões gasosas em cerca de 2 a 8% [27]. Experiências adicionais têm sido, entretanto, levadas a cabo noutras vias do mesmo tipo (como no caso da M42), com resultados igualmente satisfatórios.

### 4.2 Finlândia – aplicações na gestão de condições climatéricas

A Finlândia tem vindo a implementar sistemas de VSL, do tipo dinâmico, para responder sobretudo à modificação das condições climatéricas. Um sistema deste tipo foi inicialmente implementado numa estrada rural, ao longo de um trecho com 25 km, que incluiu a instalação de estações meteorológicas [5]. Estes

dispositivos recolhem informação relativa à velocidade e direção do vento, temperatura do ar, humidade relativa, intensidade e quantidade acumulada da precipitação, e condições superficiais do pavimento, permitindo alterar o limite de velocidade com intervalos de 5 minutos, o qual é transmitido aos condutores por 80 sinais de VMS. Estes limites variavam entre 60 e 100 km/h, em intervalos de 10 km/h, consoante o nível de adversidade [28].

O sistema foi considerado globalmente bem sucedido, tendo sido obtidas reduções do número de sinistros na ordem dos 13%, no caso do Inverno, e de 2%, durante o verão. Posteriormente, sistemas semelhantes foram aplicados em mais 300 km de estradas rurais de várias categorias [28,29].

### **4.3 Holanda – aplicações em auto-estrada e na gestão das condições climatéricas**

A Holanda dispõe, hoje em dia, de um dos mais desenvolvidos sistemas de VSL existentes no mundo. O sistema, que começou a ser implementado ainda nos anos 80, cobria cerca de metade da extensão da rede de autoestradas do país no início do século.

#### *(i) Aplicação em autoestrada*

Este sistema, com sinalização eletrónica instalada geralmente com intervalos de 500 metros [5], pretendeu responder ao congestionamento do tráfego, sobretudo no que diz respeito aos dois problemas de capacidade descritos anteriormente: sobressaturação geral, gerando ondas de choque ao longo da via, e a existência de pontos de estrangulamento, causados por incidentes ou por problemas inerentes à via. Para tal, o sistema recolhe em tempo real vários dados relativos ao tráfego, impondo reduções do limite de velocidade sempre que alguma situação de congestionamento é detetada [5]. Estas reduções do limite de velocidade são operadas numa gama compreendida entre os 120 e os 30 km/h, com valores normalmente espaçados de 10 km/h, correspondendo cada limite a um determinado nível de congestionamento.

Da implementação deste sistema têm sido reportadas reduções da velocidade média, diminuição do número e da intensidade das ondas de choque produzidas pelo congestionamento, bem como reduções na dispersão das velocidades [5, 30, 31].

#### *(ii) Condições climatéricas*

Foram ainda desenvolvidos estudos no sentido de conceber sistemas que respondam a solicitações relacionadas com as condições climatéricas e ambientais. Jonkers *et al.* [32] propuseram um sistema, ainda em fase piloto, que atua face à ocorrência de precipitação intensa e a um determinado caudal de água superficial no pavimento. A intensidade de precipitação é determinada a partir de informação disponibilizada por radar meteorológico. O limite de velocidade a aplicar, por sua vez, deverá ser calculado através de um algoritmo desenvolvido pelos autores.

Foi ainda instalado numa via urbana um sistema de VSL baseado na visibilidade, para utilização em situações de ocorrência de nevoeiro. Este sistema utiliza sensores de visibilidade, que recebem sinais emitidos a cada 700 a 800 metros. A velocidade em condições normais, de 100 km/h, é sucessivamente reduzida, consoante o nível de visibilidade detetado, podendo atingir um mínimo de 60 km/h [28].

### **4.4 Alemanha - aplicação em autoestradas**

A Alemanha apresenta grande experiência no desenvolvimento e implementação de sistemas de VSL, sobretudo em autoestradas (*Autobahn*, na terminologia alemã). De entre os vários sistemas aplicados, destaca-se a utilização de sistemas dinâmicos, fazendo uso de VMS, no estabelecimento de limites de velocidade variáveis diferenciados para cada uma das vias de trânsito, determinados de acordo com as condições climatéricas prevalentes e com os volumes de tráfego (tendo em conta, inclusive, os tipos de veículo) em circulação [5]. Por outro lado, há ainda a salientar o uso de VSL em conjunto com sistemas integrados de controlo da rede (CCS, ou *Corridor Control Systems*) em boa parte da rede de autoestradas, para melhorar a segurança e o desempenho. Este sistema permite estabelecer automaticamente limites de velocidade, acompanhados de condicionamentos à circulação de veículos pesados e de avisos relativos a condições de circulação adversas [33].

### **4.5 Austrália – aplicação na gestão de incidentes em trechos críticos**

No caso da Austrália (em todos os estados que constituem o país), o uso de sistemas de VSL encontra-se generalizado e em estágio avançado de desenvolvimento. No caso concreto da Nova Gales do Sul, encontram-se

em operação sistemas com um elevado grau de abrangência, procurando responder à gestão de incidentes, à gestão de filas, ao controlo da velocidade em condições climatéricas adversas, ao controlo da velocidade em zonas na proximidade de escolas, à circulação em túneis e pontes, e ao controlo do tráfego em vias reversíveis [5]. Os resultados obtidos têm sido extremamente positivos, tendo-se registado, nalguns casos, diminuições no número de sinistros da ordem dos 11 a 24% [34].

#### **4.6 EUA – aplicações diversas**

Os sistemas de VSL têm, ao longo das últimas décadas, sido frequentemente utilizados em vários estados dos EUA datando as primeiras experiências dos anos 60 do século XX (em Detroit, no Michigan). Ao contrário dos seus congéneres europeus, os sistemas americanos têm primado pela grande ênfase conferida à segurança rodoviária aquando da atribuição do limite de velocidade a aplicar (de que [35] é um exemplo), relegando para um segundo plano de importância os problemas de congestionamento do tráfego (que, na perspectiva americana, deverão ser abordados através do uso de outras soluções e instrumentos). Desta forma, estes sistemas têm procurado estabelecer e aplicar limites de velocidade seguros de acordo com as condições de circulação do tráfego, da estrada, e climatéricas, bem como em zonas na proximidade de escolas ou submetidas a trabalhos de construção [16]. De entre os vários casos de aplicação nos diversos estados, destacam-se os que se seguem.

##### *(i) Condições climatéricas*

No Wyoming, foram implementados sistemas com o objetivo de reduzir a velocidade, como forma de responder a condições climatéricas adversas, sendo o limite de velocidade determinado em cada minuto em função do grau de adversidade, da velocidade média e dos volumes de tráfego em cada uma das vias [36]. Ainda no mesmo estado, outro sistema implementado numa estrada interurbana, permite a atribuição do limite de velocidade em função da visibilidade e das condições meteorológicas, com variações sucessivas de 15 milhas por hora (cerca de 24,1 km/h), depois de confirmada com base em inspeção visual no local, por parte das forças policiais [37].

Na Flórida, após investigação que permitiu identificar os limites de velocidade mais adequados a determinadas condições climatéricas ou de tráfego, foi implementado um sistema que permitiu estabelecer estes limites, aplicando incrementos de 5 milhas por hora (8,04 km/h) a jusante e decréscimos da mesma ordem a montante, sucessivamente [6]. No Arizona, foi concebido um sistema de VSL que usa modelos lógicos do tipo *fuzzy* para a determinação do valor máximo seguro da velocidade a permitir numa determinada secção de estrada, baseando-se numa média ponderada dos seguintes fatores: temperatura do ar e da superfície da estrada, velocidade e direção do vento, visibilidade, condições superficiais e dados da velocidade do tráfego recolhidos em tempo real [5].

##### *(ii) Condições de circulação*

Por sua vez, no Maryland, foi implementado um sistema que procura reduzir a velocidade praticada, de forma a suavizar a transição entre o regime livre e o regime congestionado, na mesma medida em que as reações dos condutores são tidas em conta no processo dinâmico de seleção do limite de velocidade a aplicar em cada transição [38]. No Minnesota, foi concebido um sistema de VSL com o objetivo principal de minimizar a ocorrência e propagação de ondas de choque decorrentes de congestionamento, cuja deteção leva à modificação do limite de velocidade prescrito a montante, numa distância de 1,5 milhas (2,4 km), em que o limite é gradualmente reduzido, até à secção em que ocorre o congestionamento [39].

## **5 AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE VSL**

Vários estudos têm sido conduzidos para a avaliação dos sistemas de VSL durante a fase de conceção, para teste dos respetivos algoritmos. De uma forma geral, este tipo de estudos recorre à simulação como instrumento para a avaliação do impacto das alterações causadas no sistema rodoviário, bem como para a seleção ótima de alternativas [16]. No Quadro 1 são apresentados alguns exemplos de estudos, levados a cabo nos últimos anos, e considerados como representativos destas avaliações. Nestes exemplos, foram analisados vários casos de análise dos benefícios potenciais da implementação de sistemas de VSL, normalmente em secções de autoestrada. Estas avaliações tiveram em conta o impacto destes sistemas sobre vários parâmetros, nomeadamente sobre os fluxos de tráfego, o risco de ocorrência de acidentes, a ocorrência de congestionamento ou o tempo de viagem. Os resultados obtidos são, genericamente, positivos, comprovando a relevância desta solução.

Quadro 1. Exemplos de avaliação de sistemas de VSL utilizando simulação

Estudo	Software	Caracterização geral	Efeitos potenciais
[40]	PARAMICS	Efeito da implementação de VSL sobre a segurança, em autoestrada.	↓ de ocorrência de acidentes. ↑ do tempo de viagem.
[41]	<i>Cellular Automata</i>	Impacte de VSL sobre a ocorrência de congestionamentos.	↓ da ocorrência de congestionamento.
[14]	PARAMICS	Impacte de VSL sobre fluxo de tráfego, segurança e tempo, em autoestrada.	Bons resultados ao nível da segurança, mas ↑ dos tempos de viagem.
[42]	AIMSUN	Impacte de sistema de VSL sobre a segurança, em autoestrada britânica.	↓ da variação da velocidade.
[43]	PARAMICS	Estudo do efeito de VSL na redução do risco de acidente, em autoestrada.	↓ do risco de acidente, em condições de reduzido volume de tráfego. Nenhum benefício em situações de congestionamento.
[24]	METANET	Impacte da implementação de VSL no fluxo de tráfego, em autoestrada.	↑ da eficiência da circulação do fluxo de tráfego.

## 6 CONCLUSÕES

Os limites de velocidade variável (VSL) têm sido uma solução implementada nas últimas décadas, em diferentes classes de vias e países, em geral com um elevado grau de sucesso. Estes sistemas procuram responder aos problemas que resultam da aplicação dos limites de velocidade convencionais, permitindo aferir a velocidade máxima adequada, em cada momento, tendo por base, entre outros fatores, a elevada variabilidade das condições de circulação do tráfego, do estado da via, ou as condições climatéricas adversas. De resto, as duas principais abordagens utilizadas para a determinação deste tipo de limites são a homogeneização das velocidades praticadas e a prevenção das situações de congestionamento do tráfego.

Os VSL contam com várias aplicações a nível mundial, em diversos tipos de via. Este artigo apresentou alguns exemplos implementados, sendo que, na sua generalidade, conduziram a resultados positivos, quer no que respeita a frequência de acidentes e o controlo das velocidades praticadas, quer na minimização dos efeitos associados ao congestionamento (redução no tempo de viagem e nas emissões poluentes). Este tipo de limites tem igualmente vindo a conduzir, em regra, a um maior cumprimento e aceitação do limite de velocidade por parte do condutor, quando comparado com a solução fixa convencional.

Até à data, não existem quaisquer experiências relevantes de aplicação de VSL em Portugal. Contudo, e face aos potenciais efeitos é prospetivável que a sua implementação possa constituir uma mais-valia, podendo melhorar o funcionamento da rede rodoviária, os seus impactes ambientais e a segurança rodoviária. A recolha bibliográfica aqui apresentada pretende contribuir para uma possível introdução futura desta prática no contexto nacional.

## 7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao programa MIT-Portugal, da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT).

## 8 REFERÊNCIAS

1. ERSO, *Speeding*, European Road Safety Observatory, 2006. Acedido em 30 de Dezembro de 2015, em <http://www.erso.eu>
2. R. Elvik, Speed Limits, Enforcement, and Health Consequences, *Annual Review of Public Health*, 33 225-238, 2012.
3. Austroads, *Balance Between Harm Reduction and Mobility in Setting Speed Limits: A Feasibility Study*, Research Report AP-R272/05, Austroads, Sydney, 2005.
4. TRB, *Managing Speed – Review of Current Practice for Setting and Enforcing Speed Limits*, TRB SR254, Transportation Research Board, National Academy Press, Washington, D.C., 1998.



5. Austroads, *Best Practice for Variable Speed Limits: Literature Review*, Research Report AP-R342/09, Austroads, Sydney, 2009.
6. X. Lu, S. E. Shladover, Review of Variable Speed Limits and Advisories, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2423) 15-23, 2014.
7. A. Garcia-Castro, A. Monzon, Variable Speed Limits. Review and Development of an Aggregate Indicator Based on Floating Car Data, *Proceedings of the 13th International Conference "Reliability and Statistics in Transportation and Communication" (RelStat'13)*, 117-127, Riga, 16-19 October, 2013.
8. B. Khondaker, L. Kattan, Variable Speed Limit: An Overview, *Transportation Letters: The International Journal of Transportation Research*, 2015.
9. W. Liu, Y. Yiu, H. Yang, Effectiveness of Variable Speed Limits Considering Commuters' Long-Term Response, *Transportation Research Part B*, (81) 498-519, 2015.
10. ECMT, *Speed Management*, European Conference of Ministers of Transport – Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, 2006.
11. A. Garcia-Castro, A. Monzon, Homogenization Effects of Variable Speed Limits, *Transport and Telecommunication*, 15(2) 130-143, 2014.
12. H. Peltola, Seasonally Changing Speed Limits – Effects on Speeds and Accidents, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1734 46-51, 2000.
13. N. van Nes, S. Brandenburg, D. Twisk Dynamic Speed Limits; *Effects on Homogeneity of Driving Speed, Intelligent Vehicles Symposium*, IEEE, 269, 2008.
14. P. Allaby, B. Hellinga, M. Bullock, *Variable Speed Limits: Safety and Operational Impacts of a Candidate Control Strategy for Freeway Applications*, *Intelligent Transportation Systems*, IEEE Transactions, 8(4) 671-680, 2007.
15. Austroads, *Best Practice for Variable Speed Limits: Best Practice Recommendations*, Research Report AP-R344/09, Austroads, Sydney, 2009.
16. L. Eleftheriadou, S. S. Washburn, Y. Yin, V. Modi, C. Letter, *Variable Speed Limit (VSL) – Best Management Practice, Final Report*, Florida Department of Transportation, Tallahassee, 2012.
17. A. Hegyi, B. de Schutter, J. Hellendoorn, Optimal Coordination of Variable Speed Limits to Suppress Shock Waves, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 6(1), 102-112, 2005.
18. J. Xu, F. Liang, W. Yu, Coordinated Control of Variable Speed Limits Based on Neural Dynamic Optimization, *IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety*, Shanghai, 2006.
19. A. H. Ghods, L. Fu, A. Rahimi-Kian, An Efficient Optimization Approach to Real-Time Coordinated and Integrated Freeway Traffic Control, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 11(4), 873-884, 2010.
20. X. Lu, P. Varaiya, R. Horowitz, S. Dongyan, S. E. Shladover, A New Approach for Combined Freeway Variable Speed Limits and Coordinated Ramp Metering, 13th International Conference on Intelligent Transportation Systems, Funchal, 2010.
21. Z. Li, Y. Li, P. Liu, W. Wang, C. Xu, Development of a Variable Speed Limit Strategy to Reduce Secondary Collision Risks During Inclement Weathers, *Accident Analysis and Prevention*, 72 134-145, 2014.
22. R. Yu, M. Abdel-Aty, An Optimal Variable Speed Limits System to Ameliorate Traffic Safety Risk, *Transportation Research Part C*, 46 235-246, 2014.
23. B. Khondaker, L. Kattan, Variable Speed Limit: A Microscopic Analysis in a Connected Vehicle Environment, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 58(A) 146-159, 2015.
24. M. Papageorgiou, E. Kosmatopoulos, I. Papamichail, Effects of Variable Speed Limits on Motorway Traffic Flow, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2047 37-48, 2008.

25. *Regulamento da Sinalização do Trânsito*, Decreto Regulamentar nº 22-A/98, de 1 de Outubro, alterado pelos Decretos Regulamentares nº 41/2002, de 20 de Agosto, e nº 13/2003, de 26 de Junho.
26. ANSR, *Instrução Técnica sobre a Utilização da Sinalização de Mensagem Variável*, Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária, 2009.
27. Highways Agency, *M42 ATM Monitoring and Evaluation Project Summary Report*, Highways Agency, 2009.
28. FHWA, *Evaluation of a Variable Speed Limit System for Wet and Extreme Weather Conditions: Phase 1 Report*, Report No. FHWA-OR-RD-12-14, Federal Highway Administration, 2012.
29. P. Rama, A. Schirokoff, Effects of Weather-Controlled Variable Speed Limits on Injury Accidents, *4th European Congress on ITS*, Budapest, 24-26 May, 2004.
30. E. van den Hoogen, S. Smulders, Control by Variable Speed Signs: Results of the Dutch Experiment, *7th International Conference on Road Traffic Monitoring and Control*, London, 26-28 April, 1994.
31. S. P. Hoogendoorn, W. Daamen, R. G. Hoogendoorn, J. W. Goemans, Assessment of Dynamic Speed Limits on Freeway A20 near Rotterdam, the Netherlands, *92nd TRB Annual Meeting*, Washington, D.C., 13-17 January, 2013.
32. E. Jonkers, G. Klunder, R. van der Horst, R. de Rooy, Development of an Algorithm for Using Weather-Dependent Dynamic Speed Limits to Enhance Safety, *15th World Congress on ITS*, New York, November, 2008.
33. P. Schick, *Effects of Corridor Control Systems upon Capacity of Freeways and Stability of Traffic Flow*, PhD Thesis, Institute for Road and Transportation Science, Faculty of Civil and Environmental Engineering, University of Stuttgart, 2003.
34. A. A. Guebert, R. Chow, C. Mulyk, I. Akhnoukh, S. Sharma, S. McDonald, M. Pinet, Variable Speed Limits Framework on a Pilot Study on Alberta Highways, *Conference of the Transportation Association of Canada*, Fredericton, 2012.
35. M. Abdel-Aty, J. Dilmore, A. Dhindsa, Evaluation of Variable Speed Limits for Real-time Freeway Safety Improvement, *Accident Analysis and Prevention*, (38) 335-345, 2006.
36. V. Sabawat, R. Young, Control Strategy for Rural Variable Speed Limit Corridor, *92nd TRB Annual Meeting*, Washington, D.C., 13-17 January, 2013.
37. FHWA, *Guidelines for the Use of Variable Speed Limit Systems in Wet Weather*, Report No. FHWA-SA-12-022, Federal Highway Administration, 2012.
38. G. Chang, S. Y. Park, J. Paracha, ITS Field Demonstration: Integration of Variable Speed Limit Control and Travel Time Estimation for Recurrently Congested Highway, *91st TRB Annual Meeting*, Washington, D.C., 22-26 January, 2012.
39. E. Kwon, C. Park, D. Lau, B. Kary, Minnesota Variable Speed Limit System – Adaptive Mitigation of Shock Waves for Safety and Efficiency of Traffic Flows, *90th TRB Annual Meeting*, Washington, D.C., 23-27 January, 2011.
40. C. Lee, B. Hellinga, F. Saccomanno, Assessing Safety Benefits of Variable Speed Limits, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1897) 183-190, 2004.
41. R. Jiang, Q. Wu, Suppressing Jams by Multiple Speed Limits: A Simulation Study Based on Cellular Automata Model, *85th Transport Research Board Annual Meeting*, Washington, D.C., 22-26 January, 2006.
42. J. Piao, M. McDonald, Safety Impacts of Variable Speed Limits – A Simulation Study, *11th International IEEE – Conference on Intelligent Transportation Systems*, 2008.
43. M. Abdel-Aty, R. J. Cunningham, V. V. Gayah, L. Hsia, Dynamic Variable Speed Limit Strategies for Real-Time Crash Risk Reduction on Freeways, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2078) 108-116, 2008.