

Avaliação da conformidade de Sinais de Trânsito para melhorar a segurança rodoviária em meio urbano: uma aplicação no Centro de Guimarães, Portugal

Evaluation of Road Signs conformity for improving road safety in urban Areas: a Case Study in Guimarães, Portugal

Daniel Souto Rodrigues, Carlos Eduardo Pires Magalhães, Fernando Pereira Fonseca, António de Lima Sampaio Duarte, Paulo Jorge Gomes Ribeiro

Universidade do Minho, Braga, Portugal

Resumo

A segurança rodoviária depende da existência de uma rede de sinalética apropriada e de uma correta manutenção dos sinais ao longo do tempo. Os sinais verticais de trânsito, para serem efetivamente funcionais, devem permanecer adequadamente visíveis e perceptíveis. Neste artigo apresenta-se uma metodologia para avaliar o nível de conformidade dos sinais, procurando identificar eventuais deficiências funcionais. A metodologia baseia-se numa análise multicritério, onde são considerados dois critérios e oito subcritérios relacionados com as características físicas e operacionais dos sinais. A visibilidade dos sinais foi avaliada através de uma análise em SIG, considerando as distâncias de travagem e de paragem. O nível de intervenção obtido é constituído por quatro níveis, em função da necessidade e da urgência em recuperar a função dos sinais. A metodologia foi aplicada na cidade de Guimarães, Portugal. Os resultados comprovam a funcionalidade da metodologia e revelam que mais de metade dos sinais analisados não estão totalmente em conformidade com as normas, muito por culpa da estrutura urbana compacta e da presença de vegetação nas ruas. Uma vez que, para vários sinais, as distâncias de travagem e de paragem não são adequadas, pode-se concluir que os utilizadores destas ruas estão expostos a riscos que ameaçam a sua segurança.

Palavras-chave: Sinais de trânsito. Conformidade. Visibilidade. SIG. Multicritério.

DSR é Professor Assistente, PhD, e-mail: dsr@civil.uminho.pt

CEPM é Eng. Civil, Mestre, e-mail: carlospiresmagalhaes@gmail.com

FPF é Pesquisador, PhD, e-mail: ffonseca@civil.uminho.pt

ASD é Professor Assistente, PhD, e-mail: aduarte@civil.uminho.pt

PR é Professor Assistente, PhD, e-mail: pauloribeiro@civil.uminho.pt



DOI: 10.1590/2175-3369.SUPL1.A007 ISSN 2175-3369
Licenciado sob uma Licença Creative Commons

Abstract

Road safety depends on the existence of an adequate network of signs and an effective management for proper conservation. Vertical traffic signs will only be effectively functional if they still provide adequate visibility and legibility. This paper presents a methodology to evaluate the level of conformity of traffic signs, in order to identify where to improve their functionality. The methodology is based on a multicriteria analysis, using two criteria and eight subcriteria that are related with signs physical and operational attributes. Their visibility was evaluated through a spatial analysis in a geographical information system, taking into account the braking and stopping distances. The intervention level is defined by four levels related with the necessity and urgency in restoring signs functionality. This methodology was applied in the city of Guimarães, Portugal. The results showed the usefulness of the methodology and revealed that more than half of the analyzed signs not fully complied with the norms, mainly due to the compactness of the urban structure e the presence of vegetation in streets. Since the braking and stopping distances of many signs are not adequate, it can be concluded that road users are exposed to risks and their safety can be threatened.

Keywords: Road signs. Conformity. Visibility. GIS. Multicriteria.

Introdução

A sinalização rodoviária é constituída por vários elementos, nomeadamente: a sinalização vertical, as marcas rodoviárias, os sinais luminosos, a sinalização temporária e os sinais dos agentes de trânsito. Os sinais verticais são infraestruturas rodoviárias que visam regular o normal funcionamento do tráfego e dos demais utentes das vias. Para que os diversos utentes das vias possam identificar, ler e interpretar corretamente a informação disponibilizada pelos sinais verticais, estes têm que ser adequadamente visíveis (Stasi et al., 2012). Em Portugal, a legislação que regula as características dimensionais e cromáticas e as regras de colocação dos sinais verticais é o Decreto Regulamentar n.º 41/2002, de 20 de agosto.

A visibilidade depende não só das características físicas dos sinais, como de um conjunto de características operacionais, que dependem de um adequado planeamento e gestão ao longo do tempo. A gestão pressupõe uma adequada monitorização da sinalética e envolve uma avaliação do estado e da adequabilidade da sinalética nas ruas (Bruno et al., 2012; Balali et al., 2015). O estado de conservação e a consequente visibilidade dos sinais são afetados por vários fatores, como as condições climáticas, acidentes, vegetação, vandalismo, etc. Em Portugal, o Instituto da Mobilidade e dos Transportes é a entidade responsável pela tarefa

de gestão e monitorização da sinalética rodoviária. A periodicidade das inspeções varia em função da categoria da via em causa. A recomendação é a de que as vias com maior volume de tráfego médio diário anual e que permitam velocidades mais altas, como as autoestradas, devem ser objeto de inspeções de quatro em quatro anos. Nas estradas nacionais, a recomendação é a de que esse trabalho seja feito a cada 10 anos.

Neste contexto, este artigo visa apresentar e descrever uma metodologia para classificar os sinais de acordo com o nível de intervenção necessário para estarem constantemente em conformidade com as normas existentes, tendo em conta a influência de fatores externos (por exemplo, obstruções temporárias). A classificação baseia-se numa análise multicritério, onde os pesos atribuídos refletem as condições de cada sinal em comparação com as especificações legais, em particular a visibilidade, e a exposição a riscos externos. A conformidade foi avaliada tendo em consideração dois critérios (as características físicas e as características operacionais dos sinais) e oito subcritérios (físicos: dimensão do sinal, altura do poste, distância à berma, distância do sinal ao ponto de colocação; operacionais: visibilidade do sinal, desgaste, presença de obstáculos e retroreflexão). Considerou-se que a visibilidade dos sinais era o fator mais influente, tendo nomeadamente em conta as distâncias de travagem e de paragem. A metodologia proposta foi aplicada

no centro da cidade de Guimarães, Portugal. Os dados relativos aos subcritérios foram recolhidos por meio de inspeções visuais *in loco*, enquanto a visibilidade dos sinais foi avaliada através de uma análise espacial com dados geográficos em formato *raster*, usando as funções *Viewshed* e *Visibility* do *ArcGIS*. A avaliação da visibilidade teve por objetivo determinar se os sinais eram visíveis no espaço compreendido entre as distâncias de travagem e de paragem aconselhadas, identificando também se existiam obstruções como edifícios, mobiliário urbano ou vegetação a ocultar parcial ou totalmente os sinais. O nível de intervenção foi classificado em quatro categorias que se distinguem pela necessidade/urgência em reestabelecer a conformidade do sinal. A aplicação na cidade de Guimarães foi levada a cabo com o intuito de validar a funcionalidade desta metodologia, bem como de mostrar a sua utilidade e replicabilidade em outros estudos de caso. A metodologia visa ser um elemento relevante no apoio à decisão no planeamento e na gestão do tráfego urbano, nomeadamente no que respeita a intervenções relativas aos sinais de trânsito. Este estudo procura também preencher um vazio na literatura sobre este tema, propondo uma abordagem inovadora que combina técnicas de análise multicritério e sistemas de informação geográfica (SIG) para definir uma hierarquia de intervenção nos sinais de trânsito, tirando ainda partido de funções de análise espacial para avaliar a sua visibilidade.

De seguida, descreve-se a estrutura deste artigo. Após esta introdução, a secção 2 apresenta um enquadramento teórico sobre a gestão de sinais de trânsito, com um enfoque sobre a problemática da visibilidade, da gestão e do planeamento. O caso de estudo e a abordagem metodológica, com a descrição da recolha de dados e desenvolvimento do modelo de avaliação, são apresentados na secção 3. Os resultados obtidos através da aplicação da metodologia a um conjunto de sinais em Guimarães são descritos na secção 4. Por fim, na secção 5 são apresentadas as principais conclusões resultantes deste estudo.

Enquadramento teórico

Os sinais verticais de trânsito são as infraestruturas mais comuns para controlar o tráfego de veículos, pelo recurso a símbolos e/ou palavras, e

são instalados para regular, avisar ou encaminhar os utentes das estradas. Nas últimas décadas, estas infraestruturas têm sido um tópico com interesse significativo para os investigadores, que têm abordado aspetos tais como a engenharia, a computação, a segurança, a educação, as capacidades humanas, entre outros (Al-Madani & Al-Janahi, 2002). A ciência cognitiva e a psicologia, em particular na área do raciocínio, têm envergado esforços no desenho de sinais de trânsito para melhorar a sua visibilidade. Aliás, os sinais apenas são consideradas efetivos quando visíveis de dia e de noite (Khalilikhah et al., 2015). A visibilidade dos sinais resulta da combinação de cinco principais fatores: o seu estado de conservação; as condições oferecidas pelo veículo; as capacidades de perceção e reação do condutor; as condições atmosféricas; e o estado da via (Carlson & Hawkins, 2003; Costa et al., 2014). Na literatura, diversos estudos centraram-se na avaliação do estado dos sinais de trânsito, nomeadamente do impacto do seu tamanho, forma e cor na visibilidade (Ng & Chan, 2008; Stasi et al., 2012), na análise da retro-reflexão (Tsyganov et al., 2002; Balali et al., 2015; Khalilikhah et al., 2015) e na inclusão de informação complementar nos sinais (Shinar & Vogelzang, 2013). Por outro lado, o estado dos veículos e as condições que oferecem ao condutor também são aspetos críticos para a segurança (Keall & Newstead, 2011), em particular os sistemas de travagem, iluminação e suspensão. O seu estado tem um impacto direto na visibilidade, mas também nas distâncias de travagem e de paragem dos veículos. Outras variáveis frequentemente estudadas são a idade dos condutores, tendo em conta que o avanço da idade afeta as funções sensoriais e cognitivas (Trick et al., 2010), e a influência do consumo de álcool e drogas na condução (Claret et al., 2011; Verster & Roth, 2012). Pelo seu lado, as condições atmosféricas e as condições da via são igualmente fatores relevantes, pois afetam a visibilidade, o desempenho do veículo e o tempo de perceção e de reação das pessoas (Hassan & Abdel-Aty, 2011).

A localização dos sinais de trânsito é também uma problemática importante: regra geral, quanto maior a velocidade de aproximação, maior será a distância de colocação em relação à situação a sinalizar (DT, 2013). Esta premissa visa garantir que os condutores disponham de tempo suficiente para travar ou mesmo parar se necessário. Neste

contexto, a distância de travagem é definida como a distância necessária para parar a partir do instante em que os travões são acionados. A distância de percepção/reacção é a distância percorrida entre o momento em que o condutor toma consciência que deve travar e o momento em que de facto aciona os travões. A distância total de paragem é assim a soma das distâncias de percepção e de travagem. Essas distâncias são também influenciadas por diversos fatores. Para além da localização do sinal, a distância de travagem pode ser afetada pelo declive, pela velocidade e pelo estado do pavimento. A distância de percepção depende de fatores tais como a velocidade, o cansaço, os níveis de atenção, o consumo de álcool ou de drogas, etc. Apesar dessa multitude de fatores, as distâncias de travagem e de paragem podem ser definidas em função da velocidade dos veículos em áreas urbanas, com o pressuposto de

encontrar um pavimento molhado (condições desfavoráveis) e considerando diferentes coeficientes de atrito, como se pode observar na Tabela 1 (Marques, 2005).

Em Portugal, assim como em outros países, os sinais de aviso devem ser localizados com uma antecedência que varia entre 150 e a 300 metros. No caso dos sinais reguladores (por exemplo, a cedência de passagem), essa distância não deve exceder os 25 metros. No entanto, é necessário ter em conta que, em alguns casos, a distância de colocação estipulada pode não coincidir com a distância necessária para tornar o sinal atempadamente visível e, consequentemente, garantir uma paragem em segurança. Essa distância é designada por distância de visibilidade de paragem. Ela varia em função da velocidade a que circulam os veículos, isto é, quanto maior a velocidade praticada, maior será essa distância.

Tabela 1 - Distâncias de percepção, travagem e paragem

Velocidade (km/h) com pavimento molhado	Percepção/Reação		Coeficiente de atrito	Distância de travagem (m)	Distância de paragem (m)
	Tempo (s)	Distância (m)			
45	1,5	21	0,62	16	37
45	1,5	19	0,36	23	42
50	1,5	25	0,60	23	49
50	1,5	21	0,34	29	50
55	1,5	27	0,60	28	55
55	1,5	23	0,33	36	59
65	1,5	33	0,58	44	77
65	1,5	27	0,31	54	81
75	1,5	42	0,55	72	114
75	1,5	30	0,30	75	106

Fonte: Marques (2005).

É também necessário garantir que não haja obstruções capazes de diminuir a visibilidade dos sinais. Por essa razão, o espaço compreendido na distância de visibilidade deve apresentar-se sem obstruções, nomeadamente provocadas por vegetação, outros sinais ou mesmo mobiliário urbano (DT, 2013). Como referem Borowsky et al. (2008) este é um problema que frequentemente condiciona a visibilidade dos sinais. O inadequado posicionamento dos sinais no que diz respeito à sua perpendicularidade, em relação à trajetória dos veículos, é também apontado como uma deficiência frequente (Bruno et al., 2012). Depreende-se, assim, que a visibilidade dos sinais pode ser afetada por diversos fatores que estão fortemente interligados, sejam eles humanos, físicos ou ambientais.

A visibilidade dos sinais de trânsito conta com um vasto desenvolvimento na literatura, o que é elucidativo da importância do tema (Tsyganov et al., 2002; Carlson & Hawkins, 2003; Ng & Chan, 2008; Shinar & Vogelzang, 2013; Costa et al., 2014; Balali et al., 2015). Com efeito, a informação disponibilizada pelos sinais só é eficiente quando estes são devidamente visíveis (Khalilikhah et al., 2015). Na literatura sobre a sinalética rodoviária, muitos dos estudos e aplicações desenvolvidos baseiam-se nos sistemas de identificação e reconhecimento de sinais, associados a sistemas de apoio à condução. Apesar dos avanços realizados ao longo dos últimos anos nos sistemas de detecção automática dos sinais, o trabalho de inventariação e monitorização da sinalética continua a ser predominantemente manual (Castellano et al., 2015). As soluções automáticas enquadram-se, fundamentalmente, nos *driver assistance systems* (Sun et al., 2014). Estes baseiam-se em aplicações computacionais instaladas em veículos que, a partir da sua forma e cor, fazem o reconhecimento dos sinais colocados nas ruas. Estes sistemas inspiram-se em mecanismos de aprendizagem, como as redes neuronais, que operam em duas etapas: primeiro o sinal é detetado a partir de imagem ou de vídeo, sendo depois esses dados processados e os sinais identificados (Chen et al., 2015). Há diversos exemplos destas aplicações. Gao et al. (2006) construíram um modelo que efetua o reconhecimento dos sinais de trânsito a partir da cor (CIECAM97) e da forma (FOSTS). Alghamdi et al. (2012) criaram um sistema de apoio à condução que reconhece os sinais e gera alertas para informar o condutor. Sun et al. (2014) desenvolveram um dispositivo (ELM) baseado num algoritmo que faz o reconhecimento dos sinais de trânsito a partir do gradiente de orientação. E Balali et al. (2015) construíram uma solução informática que permite avaliar a retrorrefletividade dos sinais à noite a partir de um dispositivo móvel.

Apesar de se terem obtido bons resultados com estas aplicações, o problema da identificação dos sinais não está inteiramente resolvido, pois os sistemas automáticos revelam dificuldades na segmentação das imagens e no reconhecimento dos sinais (Guo, 2011), especialmente em condições de visibilidade reduzida. Além

disso, estas aplicações estão fundamentalmente direcionadas para o apoio à condução e não tanto para a gestão/manutenção dos sinais. Apesar da importância na segurança e na regulação das condições de tráfego, os estudos sobre a manutenção da sinalética de trânsito estão menos desenvolvidos na literatura. Ao nível das aplicações automáticas, Escalera & Mata (2003) criaram um sistema de reconhecimento de tráfego que funciona com base num algoritmo genético que opera em condições de visibilidade reduzida e permite inventariar e monitorizar o estado de conservação da sinalética. Bruno et al. (2012) desenvolveram também uma ferramenta de detecção automática de sinais, que identifica as anomalias dos sinais em termos de posicionamento e visibilidade.

Os SIG têm sido utilizados por alguns autores, embora sem um enfoque na manutenção da sinalética. Por exemplo, Arroyo et al. (2010) desenvolveram um modelo de apoio à decisão para gerir os lugares de estacionamento proibido em Madrid. O sistema inclui um equipamento de reconhecimento dos sinais e um SIG que contém uma base de dados sobre a localização dos sinais de estacionamento proibido na cidade. A partir da informação entre os dois módulos, é possível detetar casos de fraude e de necessidade de reparação/reposição dos sinais. Mina et al. (2013) criaram um algoritmo para gerir os sinais informativos numa cidade, a partir da leitura de uma base de dados SIG sobre a rede viária e a sinalética. Um outro exemplo é a ferramenta *Road Sign Management System* (Jung et al., 2014) que obtém, por meio de um SIG, vários atributos dos sinais, como a localização, o nome, a rua, a distância a que se encontra, etc.

Neste artigo dá-se conta da metodologia desenvolvida para classificar os sinais de trânsito definindo um nível de intervenção em função da sua conformidade permanente com as normas. A abordagem utiliza ferramentas SIG para avaliar a visibilidade dos sinais (funções de análise espacial), baseia-se numa análise multicritério que resulta no cálculo (operações sobre atributos) e mapeamento (funções de apresentação) de um índice individualizado. A utilização de uma análise multicritério de base espacial (SIG) para melhorar a eficiência dos sinais através de níveis de intervenção é pioneira, o que realça o carácter inovador desta metodologia.

Metodologia e sua aplicação à Cidade de Guimarães

O método que se propõe neste estudo para avaliar os sinais verticais de trânsito foi aplicado à cidade de Guimarães. Com uma população de 51.900 habitantes (INE, 2012), Guimarães é uma cidade de média dimensão localizada na região norte de Portugal. A cidade distingue-se pela qualidade urbana e arquitetônica do seu centro histórico que, em 2001, foi inscrito pela UNESCO na lista de Patrimônio Mundial. Foram consideradas diversas ruas do centro da cidade com o objetivo de cobrir diferentes tipologias do ponto de vista urbanístico e geométrico, contendo pontos de conflito, para se avaliar a eficácia da sinalização em função das características dos locais. As ruas selecionadas foram as seguintes: rua D. João I, rua de Camões, rua Dr. Bento Cardoso, rua da Liberdade, rua Manuel Saraiva Brandão e a rotunda na avenida S. Gonçalo, junto ao estádio de futebol. Estas ruas apresentam condições de circulação e de sinalização diversas, com cruzamentos, rotundas, e arruamentos de espaço reduzido, onde a colocação da sinalização está dependente do edificado. No total foram identificados 105 sinais nestas ruas (Figura 1). Para testar a funcionalidade da metodologia, optou-se por restringir a análise aos sinais de obrigação, cedência de passagem e de proibição. Assim, dos 105 sinais identificados na zona de estudo, a análise recaiu sobre 30 desses sinais (Figura 1).

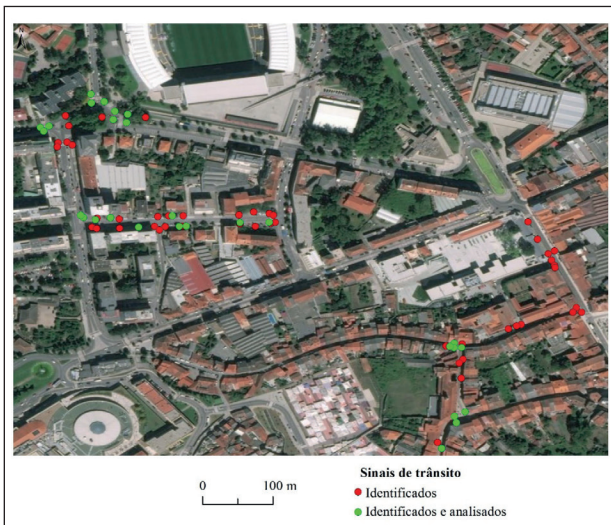


Figura 1 - Área de estudo em Guimarães e sinais de trânsito identificados.
Fonte: Elaborado pelos autores.

As etapas metodológicas seguidas no estudo encontram-se esquematizadas na Figura 2. Assim e depois de compilar a legislação nacional sobre as características dimensionais e cromáticas e as regras de colocação dos sinais verticais (Regulamento de Sinalização de Trânsito), a etapa seguinte consistiu no levantamento e recolha de informação sobre os sinais na área descrita. Para tal, preparou-se uma ficha modelo onde se inseriu toda a informação, como a identificação, georreferenciação, registo fotográfico e características (dimensionais, cromáticas e colocação) dos sinais, bem como sobre as ruas onde estão colocados (tipo de via, hierarquização, velocidade máxima, inclinação, etc.).

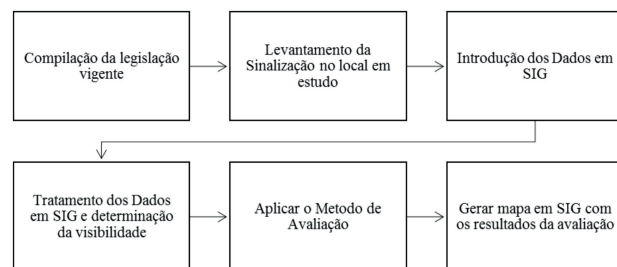


Figura 2 - Etapas metodológicas seguidas no estudo.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os dados recolhidos foram então introduzidos no SIG, para se realizar avaliação da visibilidade da sinalética. Mapearam-se os sinais e os elementos que podem interferir com a visibilidade, tais como edifícios e árvores. Os sinais foram representados através de pontos, e os espaços arborizados e edificados por meio de polígonos. Como a análise de visibilidade é melhor suportada pela estrutura de dados *raster* (McKenzie et al., 2006; Sitzia et al., 2014), foi necessário transformar os elementos vetorizados numa malha regular de pixels (rasterização). Este passo foi realizado usando uma função de conversão de dados geográficos efetuado pelo ArcGIS. Assim, cada ponto deu origem a uma célula com valor de atributo específico, enquanto os polígonos (árvores e edifícios) deram origem a regiões (células contíguas e conectadas com valor de atributo idêntico), estando rodeadas por outras de atributos diferentes. Com os dados em formato *raster*, procedeu-se a identificação dos pixels (correspondentes aos sinais), cuja visibilidade é obstruída por árvores e/ou edifícios. No processo de análise de visibilidade recorreu-se à função *viewshed* do ArcGIS, que

identifica as áreas que são observadas a partir de um ou mais pontos de observação. Esta ferramenta é, aliás, uma das mais usuais nas análises de visibilidade em SIG (Chamberlain & Meitner, 2013; Nutsford et al., 2015). Em seguida, procedeu-se à representação do cone visual do condutor. Este trabalho foi feito por meio da função *visibility* do ArcGIS, que indica o número de células ou localizações visíveis para determinados pontos. Para a reprodução dos cones de visão é imperativo especificar os ângulos de abertura do cone (azimute). Nesse sentido, calcularam-se os valores dos azimutes para garantir que a avaliação estivesse em conformidade com a abertura do campo visual do olho humano. Para tal, definiu-se um *near angle* que corresponde a um ponto de referência definido pelo ângulo entre o ponto de referência e o ponto definido como o local onde o condutor se encontra na rua. A partir deste procedeu-se à projeção dos ângulos de abertura, *azimute1* e *azimute3*, e ângulos de fecho, *azimute2* e *azimute4*. Os valores de *azimute1* (ângulo inicial da zona a analisar) e *azimute2* (define o ângulo final) dizem respeito à visão precisa e os *azimute3* e *azimute4*, ao campo de visão primário. Após a representação dos campos de visão do condutor para uma distância de visibilidade de paragem e de travagem, efetuou-se a intersecção entre os resultados obtidos pela ferramenta *visibility* e a *viewshed*, determinando-se, desse modo, a avaliação final da visibilidade do sinal (Figura 3).

No desenvolvimento da análise multicritério, foi efetuada uma adaptação da abordagem passo-a-passo, inicialmente proposta por Belloví & Malagón (1993) e explorada mais recentemente por autores como Bessa et al. (2015). Neste caso, uma classificação do nível de intervenção foi definida pela combinação de parâmetros de conformidade com a exposição a alguns riscos externos (Figura 4).

O nível de conformidade foi calculado quer para as características físicas, quer para as características operacionais dos sinais. No primeiro caso, a avaliação levou em conta as dimensões e as distâncias ao solo e à berma da estrada. Pelo seu lado, a visibilidade foi avaliada pela confrontação do posicionamento do sinal com as distâncias regulamentares de paragem e travagem e a verificação da eventual existência de obstruções nesse espaço. Como se pode observar na Figura 4, os níveis de conformidade expressam-se através de quatro pontuações distintas: *muito fraco* (10) quando os sinais apresentam deficiências graves,

não respeitando os regulamentos; *fraco* (6) quando as deficiências encontradas não são tão graves, mas requerem uma intervenção; *insuficiente* (2) quando as deficiências são menores, mas recomenda-se a sua solução; e *adequado* (0) quando os sinais se encontram em total conformidade com os regulamentos.



Figura 3 - Análise de visibilidade realizada no ArcGIS.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para descrever o nível de exposição a alguns riscos externos, os sinais foram pontuados em consonância com as seguintes categorias: *permanente* (4), quando se encontram expostos permanentemente a fatores ou acontecimentos desgastantes (como a poluição); *frequente* (3), quando a exposição é cíclica (por exemplo, exposição a condições climáticas); *ocasional* (2), quando a exposição é irregular (por exemplo, estacionamento para carga e descarga de pessoas ou mercadorias); e *rara* (1), quando a exposição é pontual.

O risco provável a que um elemento é exposto é descrito por Belloví & Malagón (1993) como a combinação da conformidade com as normas (fatores internos) e a exposição a riscos externos. A aplicação desta abordagem aos sinais de trânsito levou à definição de quatro classes de risco, onde o valor respeitante à quantificação do nível de risco provável varia entre 40 e 0 (Figura 4). As classes de risco provável são: *muito alto* [40-20], *alto* [20-8], *moderado* [8-4] e *baixo* [0-4]. Assim, um valor mais elevado indicará que o sinal tem uma menor conformidade e uma maior exposição a riscos. Por exemplo, um sinal com uma classificação de *muito fraco* ou *fraco* na conformidade com as normas

e *permanentemente* ou *frequentemente* exposto a riscos será classificado com nível de risco provável *muito alto*. Em situação inversa, o risco provável é classificado como *baixo* quando a conformidade é *insuficiente* e a exposição é *ocasional* ou *rara*.

O índice de intervenção (II) foi então definido pela equação (1) da Figura 4. Essa equação consiste no produto do risco provável (RP) pelo respetivo peso (P), tendo em conta as características dos sinais de trânsito.

Na análise multicritério foram considerados dois critérios e oito subcritérios, aos quais foram atribuídos pesos diferentes, como se pode observar na Tabela 2. O critério relativo às características operacionais recebeu o peso mais alto (0,8), enquanto as características físicas dos sinais, tais como dimensão, altura e distâncias de posicionamento, receberam um peso de 0,2. Nos dois casos, os pesos foram distribuídos pelos subcritérios, tal como apresentado na Tabela 2. Por essa razão, os intervalos de classificação dos valores de RP e II (Figura 4) são coincidentes, uma vez que o somatório dos pesos atribuídos aos oito subcritérios é igual a um. A atribuição de um maior peso às características operacionais deve-se principalmente a duas razões. Primeiro e, tal como evidenciado no enquadramento teórico, os subcritérios associados aos obstáculos, retrorreflexão, desgaste,

entre outros, são considerados como os mais influentes na perda de legibilidade dos sinais e, por consequência, na sua adequada identificação e interpretação nas distâncias de travagem e de paragem. Em segundo lugar, existe alguma flexibilidade nas normas legais no que diz respeito às dimensões e posicionamento em áreas urbanas compactas, onde se podem praticar velocidades de circulação inferiores e encontrar espaços de colocação reduzida nos passeios. Estas exceções estão devidamente definidas nos regulamentos em vigor. Esse é precisamente o caso do centro de Guimarães, que se caracteriza por ruas estreitas e irregulares, o que levou à implantação de sinais de menores dimensão que, por vezes, estão instalados em fachadas ou com menores distâncias à berma da estrada. Na Tabela 2, o subcritério “obstáculos” refere-se a elementos temporários ou facilmente removíveis que podem reduzir a visibilidade, tais como toldos. Esses elementos foram identificados no trabalho de campo. Em contrapartida, a “visibilidade” de um sinal foi avaliada por meio de funções de análise espacial em SIG, por estar relacionada com a possível existência de obstruções permanentes, como são exemplo o mobiliário urbano, os edifícios, a vegetação, entre outros.

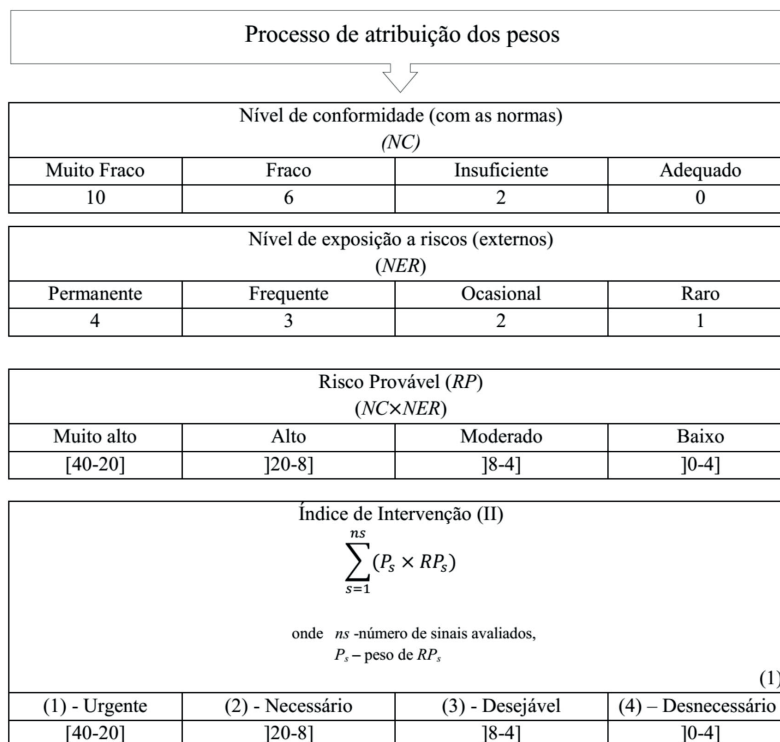


Figura 4 - Processo de atribuição de pesos para definir o nível de intervenção.

Fonte: Adaptado de Bellovi & Malagón (1993).

Na análise multicritério foram considerados dois critérios e oito subcritérios, aos quais foram atribuídos pesos diferentes, como se pode observar na Tabela 2. O critério relativo às características operacionais recebeu o peso mais alto (0,8), enquanto as características físicas dos sinais, tais como dimensão, altura e distâncias de posicionamento, receberam um peso de 0,2. Nos dois casos, os pesos foram distribuídos pelos subcritérios, tal como apresentado na Tabela 2. Por essa razão, os intervalos de classificação dos valores de RP e II (Figura 4) são coincidentes, uma vez que o somatório dos pesos atribuídos aos oito subcritérios é igual a um. A atribuição de um maior peso às características operacionais deve-se principalmente a duas razões. Primeiro e, tal como evidenciado no enquadramento teórico, os subcritérios associados aos obstáculos, retrorreflexão, desgaste, entre outros, são considerados como os mais influentes na perda de legibilidade dos sinais e, por consequência, na sua adequada identificação e interpretação nas distâncias de travagem e de paragem. Em segundo lugar, existe alguma flexibilidade nas normas legais no que diz respeito às dimensões e posicionamento em áreas urbanas compactas, onde se podem praticar velocidades de circulação

inferiores e encontrar espaços de colocação reduzida nos passeios. Estas exceções estão devidamente definidas nos regulamentos em vigor. Esse é precisamente o caso do centro de Guimarães, que se caracteriza por ruas estreitas e irregulares, o que levou à implantação de sinais de menor dimensão que, por vezes, estão instalados em fachadas ou com menores distâncias à berma da estrada. Na Tabela 2, o subcritério “obstáculos” refere-se a elementos temporários ou facilmente removíveis que podem reduzir a visibilidade, tais como toldos. Esses elementos foram identificados no trabalho de campo. Em contrapartida, a “visibilidade” de um sinal foi avaliada através de funções de análise espacial em SIG, por estar relacionada com a possível existência de obstruções permanentes, como são exemplo o mobiliário urbano, os edifícios, a vegetação, entre outros.

O modelo de avaliação foi concebido com dois tipos de avaliação diferentes (Tabela 2). O módulo de avaliação global é proposto para avaliar a eficiência dos sinais durante o dia e a noite, sendo constituído por oito subcritérios. No módulo de avaliação diurna, a retrorreflexão dos sinais não é considerada, havendo uma redistribuição dos pesos pelos restantes subcritérios.

Tabela 2 - Pesos atribuídos aos critérios e subcritérios na análise multicritério

Critérios Operacionais	Pesos 0,8		Critérios Físicos	Pesos 0,2	
	Avaliação Diurna	Avaliação Global		Avaliação Diurna	Avaliação Global
Obstáculos	0,18	0,14	Dimensão do sinal	0,04	0,04
Visibilidade do sinal	0,44	0,40	Distância colocação do sinal	0,06	0,06
Desgaste	0,18	0,13	Altura do poste	0,06	0,06
Retrorreflexão	-	0,13	Distância à berma do poste	0,04	0,04

Fonte: Elaborado pelos autores.

A formulação apresentada na equação 1 permitiu enquadrar os resultados em quatro tipologias de níveis de intervenção (NI), que indicam se o sinal em causa carece ou não de ser intervençionado e qual o grau e a urgência dessa intervenção para repor a sua eficiência. Na Tabela 3 descrevem-se os quatro níveis de intervenção definidos. Na

literatura encontram-se abordagens similares. Por exemplo, Rodrigues et al. (2015) desenvolveram uma análise multicritério, onde definiram classes que correspondiam a níveis de prioridade de intervenção para melhorar a segurança em estradas nacionais.

Tabela 3 - Nível de intervenção dos sinais em função da visibilidade

Nível de intervenção	Índice de intervenção	Descrição da intervenção
1	[40-20]	Situação crítica. Agir de imediato.
2]20-8]	Corrigir e adotar medidas de correção.
3]8-4]	Melhorar se possível.
4]4-0]	Não é necessário intervir.

Fonte: baseado em Belloví & Malagón (1993).

Resultados

Com base na metodologia descrita, procedeu-se à avaliação dos sinais de obrigação, cedência de passagem e de proibição identificados na Figura 1. Devido à inexistência de um equipamento para medir a retrorreflexão dos sinais durante a noite, procedeu-se a uma análise do desempenho diurno dos sinais. Na Tabela 4 apresenta-se o exemplo do processo de cálculo efetuado para um desses sinais (34-H7). Apesar da permanente exposição a riscos externos, este sinal encontra-se em conformidade com quase todos os requerimentos físicos, exceto a distância à berma, que é insuficiente (NC=2), uma vez que o poste está a uma menor distância que o recomendado pelas normas (no mínimo 0,50 metros). O principal problema está relacionado com aspetos operacionais, nomeadamente devido à presença de vegetação que oculta o sinal, não permitindo a sua adequada deteção dentro das distâncias de travagem e de paragem. Assim, o nível de intervenção

obtido para este sinal (nível 2 — necessário) foi essencialmente devido ao mau desempenho na visibilidade do sinal, que foi o subcritério mais valorizado na análise.

Em termos globais, a aplicação da metodologia descrita revelou a existência de problemas de visibilidade dos sinais por toda a área em estudo. Do total dos sinais analisados, 53% obtiveram um nível de intervenção 2. Nestes sinais será necessária uma intervenção para corrigir diversos problemas que interferem na sua visibilidade. Como se pode verificar a partir da Figura 5, os sinais a necessitar de medidas de correção localizam-se em maior número à entrada da rotunda, na rua Manuel Saraiva Brandão e na rua de Camões. Paralelamente, na rua D. João I foi diagnosticado um sinal que, não sendo necessário corrigir de imediato, seria desejável uma intervenção de melhoria. Os restantes sinais obtiveram um nível de intervenção 4 não revelando, por isso, problemas associados à visibilidade.

Tabela 4 - Nível de intervenção calculado para o sinal 34-H7

Crítérios	Subcritérios	NC	NER	RP _s (NCxNER)	pRP _s	II (\sum pRP _s)	NI
Características físicas	Dimensão do sinal	0	4	0	0	18,92	(Nível 2) Necessário
	Distância colocação do sinal	0	4	0	0		
	Altura do poste	0	4	0	0		
	Distância à berma do poste	2	4	8	0,32		
Características operacionais	Obstáculos	10	3	30	5,4		
	Visibilidade do sinal	10	3	30	13,2		
	Desgaste	0	4	0	0		

Onde pRP_s = RP_sxP_s; II = Índice de intervenção final (ver equação (1)).

Fonte: Elaborado pelos autores.

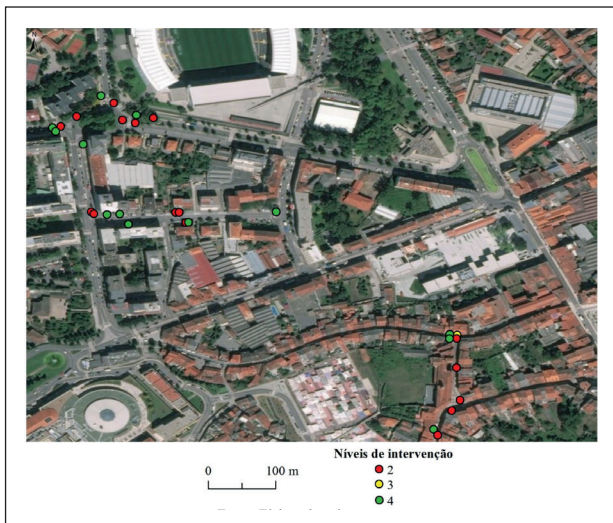


Figura 5 - Nível de intervenção dos sinais nas ruas em estudo no centro de Guimarães.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados demonstram, assim, a existência de diversos problemas de sinalização nas ruas do centro de Guimarães, que podem afetar a segurança e as condições de circulação dos condutores e dos peões. Os sinais que obtiveram um nível de intervenção 2 na análise multicritério evidenciam, fundamentalmente, problemas relacionados com uma ou mais componentes integradas no parâmetro da visibilidade. A malha urbana apertada e as ruas estreitas fazem com que os edifícios reduzam a visibilidade dos sinais. Noutros casos, essa visibilidade é afetada pelos elementos arbóreos existentes ao longo das ruas. Os edifícios e as árvores são os dois fatores que mais condicionam a visibilidade dos sinais nas ruas estudadas do centro de Guimarães.

Na rua D. João I, rua da Liberdade e rua de Camões, a análise revelou que os edifícios funcionam como barreira à visibilidade de alguns sinais. Este problema poderá ser mitigado de duas formas. Pelo reforço da sinalização existente, por meio da colocação de novos sinais a uma maior distância em relação àquela em que os sinais se encontram atualmente. Alternativamente, pela redução da velocidade autorizada, o que permitiria aumentar o cone de visão dos condutores e, assim, diminuir a distância de paragem em segurança. Esta última proposta parece ser a mais adequada, uma vez que as características da rua (muito estreita) não são favoráveis à colocação de novos sinais a maiores distâncias. Paralelamente, nesta rua verificou-se a existência de casos pontuais de sinalética em mau

estado de conservação, o que condiciona a sua visibilidade, como é o caso do sinal apresentado na Figura 6, localizado na rua D. João I.



Figura 6 - Sinal em mau estado de conservação na rua D. João I

Fonte: Arquivo pessoal.

Na rua Manuel Saraiva Brandão, identificaram-se também diversas anomalias. Nesta rua, o fator que mais condiciona a visibilidade dos sinais é a vegetação (Figura 7). Os passeios ao longo da rua têm implantadas diversas árvores que ocultam os sinais existentes, o que determinou que muitos deles obtivessem um nível de intervenção 2. Neste caso, será necessário proceder a uma manutenção periódica da vegetação por forma a não ocultar a sinalética. Pontualmente, a mudança de local de alguns sinais também poderá ser uma solução para resolver o problema.



Figura 7 - Sinal ocultado por vegetação ao longo da rua Manuel Saraiva Brandão

Fonte: Arquivo pessoal.

O local onde se identificaram mais problemas relacionados com a visibilidade dos sinais foi na rotunda da avenida S. Gonçalo, junto ao estádio D. Afonso Henriques. A maior parte dos sinais existentes na aproximação e no interior desta rotunda obtiveram um nível de intervenção 2, impondo-se, portanto, medidas de correção destas anomalias. A classificação da visibilidade da sinalética neste local foi a mais baixa de toda a área em estudo pois, na generalidade dos casos, a distância a que o sinal é visível está compreendida entre a distância de travagem e a distância de paragem. Como esta colocação dos sinais pode afetar a paragem dos veículos em segurança, impõe-se uma necessidade de intervenção que, não sendo crítica, deverá ser corrigida de forma a melhorar a segurança e o conforto dos utentes destas vias. Paralelamente, a análise SIG revelou que a visibilidade destes sinais é condicionada pela densa vegetação existente nos passeios das vias e no interior da própria rotunda (Figura 8). A realocização de alguns sinais para melhorar as condições de imobilização dos veículos associada a uma adequada manutenção da vegetação será uma medida importante para aumentar a visibilidade da sinalética neste local.



Figura 8 - Sinal ocultado por vegetação à entrada para a rotunda na avenida S. Gonçalo.

Fonte: Arquivo pessoal.

Conclusões

A visibilidade dos sinais verticais de trânsito depende, por um lado, de uma adequada colocação nas vias, respeitando os regulamentos, em termos de dimensões, afastamentos da berma e altura em relação ao solo, como de uma manutenção periódica ao longo do tempo, que permita corrigir anomalias e obstáculos à sua visibilidade. Neste artigo descreve-se uma metodologia para avaliar a conformidade permanente dos sinais com as normas nacionais, que se baseia numa análise multicritério, através da qual foram atribuídos pesos diferenciados às características físicas e operacionais dos sinais para o cálculo de um índice final. O maior peso foi atribuído à visibilidade por ser o fator que mais condiciona a sua leitura pelos condutores. A análise da visibilidade dos sinais foi realizada através de SIG, utilizando para o efeito as ferramentas de geoprocessamento em formato *raster viewshed* e *visibility* do ArcGIS, seguindo uma metodologia desenvolvida neste estudo. Estas análises permitem simular o campo de visão do condutor e determinar situações em que os sinais têm uma menor visibilidade devido à presença de obstáculos (árvores, edifícios) ou à própria morfologia das ruas. Da atribuição dos pesos resultou o nível de intervenção no sinal. É de realçar que esta metodologia, que combina SIG com análise multicritério, é inovadora, não se conhecendo abordagens similares em estudos relacionados com a hierarquização de ações de intervenção nos sinais, em particular na determinação dos seus níveis de visibilidade.

Esta metodologia foi aplicada no centro da cidade de Guimarães, onde foram escolhidas cinco ruas e uma rotunda, e se analisaram os sinais de obrigação, cedência de passagem e de proibição, num total de 30 sinais. Os resultados obtidos permitiram concluir que mais de metade dos sinais analisados foi classificada com um nível de intervenção 2, por apresentarem essencialmente deficiências de visibilidade. A maioria dos casos é provocada pela vegetação plantada nos passeios. Alguns estudos (Retting et al., 2003; Tollazzi & Rencelj, 2012) têm alertado que a vegetação pode degradar as condições de visibilidade e, conseqüentemente, aumentar a possibilidade de ocorrência de acidentes. Para eliminar o impacto indesejável da vegetação, a

solução pode passar pela manutenção e poda regular e, em caso extremo, pela sua remoção ou, quando possível, pela substituição ou reposicionamento dos sinais. As ruas estreitas e não lineares onde, por vezes, a visibilidade dos sinais é inferior à distância de travagem e de paragem, também constituem um problema. Nestes casos, a substituição dos sinais ou a introdução de novos para alerta antecipado pode ser a solução, de forma a reestabelecer as devidas distâncias de travagem e de paragem dos veículos.

Além dos resultados obtidos, a metodologia demonstrou a sua funcionalidade e a sua utilidade na gestão da sinalética rodoviária. Da análise multicritério resultou uma hierarquização das prioridades de intervenção nos sinais, informação que pode ser facilmente usada pelas entidades gestoras para localizar e reparar as situações anómalas detetadas. Dado que a formulação do modelo é independente do estudo de caso, esta metodologia pode ser replicada em qualquer cidade em ações de planeamento, gestão e manutenção da sinalética.

Apesar disso, admite-se que este modelo poderá sofrer incrementos no futuro. Algumas questões a explorar relacionam-se com os pesos atribuídos aos critérios e subcritérios considerados. Os pesos utilizados foram definidos pela consulta e interpretação da legislação portuguesa e de algumas referências. Será importante, por exemplo, confrontar os valores assim estabelecidos com a opinião de peritos para fixar os valores de uma forma mais objetiva. Para além disso, o envolvimento de decisores e especialistas de diferentes áreas é importante para reduzir a subjetividade e fortalecer a análise multicritério (Ramos & Fonseca, 2016). Outra melhoria passará pela inclusão da retroreflexão na análise (avaliação global), uma vez que tem um impacto direto na visibilidade dos sinais no período noturno (Tsyganov et al., 2002; Balali et al., 2015; Khalilikhah et al., 2015). Neste trabalho, este fator não foi avaliado por indisponibilidade de equipamento de medição. Optou-se então por redefinir os pesos, criando-se assim um módulo de avaliação da eficiência da sinalética para o período diurno. Um terceiro aspeto que pode ser alvo de melhoria em trabalhos futuros é distinguir a análise pelo ângulo de visão proporcionado pelos diversos tipos de veículos em circulação (carro, caminhão, autocarro, motociclo etc). Dado que as dimensões dos diversos tipos de veículos são variáveis, isso

proporciona aos condutores diferentes condições de visibilidade. Este modelo foi parametrizado tendo em consideração a perspetiva de um condutor de um veículo ligeiro. No entanto, para abranger outros tipos de veículos, será necessário ter em conta diferentes alturas em relação ao solo ao proceder à avaliação da visibilidade.

Por fim, os resultados obtidos são estáticos e dependem totalmente dos dados de base fornecidos. Para que a sua aplicação se mantenha útil no apoio à gestão de sinais de trânsito, é imprescindível que haja uma frequente atualização das bases de dados geográficos. Isso implica a existência de uma efetiva articulação entre diversos serviços municipais, em particular entre os departamentos de planeamento e da gestão de infraestruturas rodoviárias.

Referências

- Al-Madani, H., & Al-Janahi, A. (2002). Assessment of drivers' comprehension of traffic signs based on their traffic, personal and social characteristics. *Transportation Research Part F*, 5, 63-76. [http://dx.doi.org/10.1016/S1369-8478\(02\)00006-2](http://dx.doi.org/10.1016/S1369-8478(02)00006-2)
- Alghamdi, W., Shakshuki, E., & Sheltami, T. (2012). Context-aware driver assistance system. *Procedia Computer Science*, 10, 785-794. [10.1016/j.procs.2012.06.100](https://doi.org/10.1016/j.procs.2012.06.100)
- Arroyo, S., Sanz, S., Bascón, S., Figueras, J., & Sastre, R. (2010). A decision support system for the automatic management of keep-clear signs based on support vector machines and geographic information systems. *Expert Systems with Applications*, 37(1), 767-773. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2009.05.102>
- Balali, V., Sadeghi, M., & Fard, M. (2015). Image-based retro-reflectivity measurement of traffic signs in day time. *Advanced Engineering Informatics*, 29(4), 1028-1040. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aei.2015.08.003>
- Belloví, M. B., & Malagón, F. P. (1993). NTP 330: Simplified Method for evaluating Accident Risks, Spanish National Institute for Safety and Hygiene at Work (INSHT). In *Technical Norms for Prevention*, Ministry of Labour, Spain (in Spanish).

- Bessa, R., Baptista, J., & Oliveira, M. (2015). Comparing three risk analysis methods on the evaluation of a trench opening in an urban site. In Pedro M. Arezes, João Santos Baptista, Monica P. Barroso, Paula Carneiro, Patrício Cordeiro, Nelson Costa, Rui B. Melo, A. Sergio Miguel, e Gonçalo Perestrelo (Eds.), *Occupational Safety and Hygien III* (p. 429-433). London: Taylor and Francis Group.
- Borowsky, A., Shinar, D., & Parmet, Y. (2008). Sign location, sign recognition, and driver expectancies. *Transportation Research Part F*, 11, 459-465. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2008.06.003>.
- Bruno, L., Parla, G., & Celauro, C. (2012). Improved traffic signal detection and classification via image processing algorithms. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 53, 811-821. doi: 10.1016/j.sbspro.2012.09.930
- Carlson, P., & Hawkins, J. (2003). *Minimum retro reflectivity levels for overhead guide signs and street-name signs*. Publication N^o. FHWA-RD-03-082, U.S. Department of Transportation, McLean. Recuperado de <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/03082/03082.pdf>
- Castellano, J., Jiménez, I., Pozuelo, C., & Álvarez, J. (2015). Traffic sign segmentation and classification using statistical learning methods. *Neurocomputing*, 153(4), 286-299. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neucom.2014.11.026>
- Chamberlain, B., & Meitner, M. (2013). A route-based visibility analysis for landscape management. *Landscape and Urban Planning*, 111, 13-24. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.12.004>
- Chen, Z., Lin, W., Ke, S., & Tsai, C. (2015). Evolutionary feature and instance selection for traffic sign recognition. *Computers in Industry*, 74, 201-211. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2015.08.007>
- Claret, P., Castillo, J., Mejías, E., Manzanero, J., Anta, G., Martín, M., & Moleón, J. (2011). Comparison of two methods to assess the effect of age and sex on the risk of car crashes. *Accident Analysis and Prevention*, 43(4), 1555-1561. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2011.03.011>
- Costa, M., Simone, A., Vignali, V., Lantieri, C., Bucchi, A., & Dondi, G. (2014). Looking behavior for vertical road signs. *Transportation Research Part F*, 23, 147-155. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2014.01.003>
- Department for Transport - DT (2013). *Traffic Signs Manual: Chapter 4 (Warning Signs)*. London: The Stationery Office.
- Escalera, A., & Mata, A. (2003). Traffic sign recognition and analysis for intelligent vehicles. *Image and Vision Computing*, 21, 247-258. Recuperado de http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/7089/traffic_escalera_IVC_2003_ps.pdf
- Gao, X., Podladchikova, L., Shaposhnikov, D., Hong, K., & Shevtsova, N. (2006). Recognition of traffic signs based on their colour and shape features extracted using human vision models. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 17(4), 675-685. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvcir.2005.10.003>
- Guo, H., Wang, X., & Zhong, Y. (2011). Traffic signs recognition based on visual attention mechanism. *The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications*, 18(2), 12-16. 10.1016/S1005-8885(10)60139-2
- Hassan, H., & Abdel-Aty, M. (2011). Analysis of drivers' behavior under reduced visibility conditions using a Structural Equation Modeling approach. *Transportation Research Part F*, 14, 614-625. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2011.07.002>
- Instituto Nacional de Estatística - INE. (2012). *Censos 2011*. INE, Lisboa.
- Jung, I., Rhee, K., Yoon, H., Chong, K., & Lee, Y. (2014). A study on the methodology for automatic DB update in the road sign management system. *International Journal of Information Technology and Business Management*, 25(1), 96-105.
- Keall, M., & Newstead, S. (2011). Passenger vehicle safety in Australasia for different driver groups. *Accident Analysis and Prevention*, 43(3), 684-689. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2010.10.012>
- Khalilikhah, M., Heaslip, K., & Song, Z. (2015). Can daytime digital imaging be used for traffic sign retroreflectivity compliance? *Measurement*, 75, 147-160. <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2015.07.049>
- Marques, J. (2005). *Engenharia de segurança rodoviária em áreas urbanas*. Prevenção Lisboa: Rodoviária Portuguesa.
- McKenzie, D., O'Neill, S., Larkina, N., & Norheimb, R. (2006). Integrating models to predict regional haze from wildland fire. *Ecological Modelling*, 199(3), 278-288. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.05.029>

- Mina, L., Min, H., Ming, N., & Lei, R. (2013). Deployment model for urban guide signs based on road network topology. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 96, 1631-1639. [10.1016/j.sbspro.2013.08.185](http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.185)
- Ng, A., & Chan, A. (2008). Visual and cognitive features on icon effectiveness. *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*, 2, 19-21.
- Nutsford, D., Reitsma, F., Pearson, A., & Kingham, S. (2015). Personalising the viewshed: visibility analysis from the human perspective. *Applied Geography*, 62, 1-7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.04.004>
- Ramos, R., & Fonseca, F. (2016). A methodology to identify a network of industrial parks in the Ave valley, Portugal. *European Planning Studies*, 24(10), 1844-1862. [10.1080/09654313.2016.1202201](http://dx.doi.org/10.1080/09654313.2016.1202201)
- Retting, R., Weinstein, H., & Solomon, M. (2003). Analysis of motor-vehicle crashes at stop signs in four U.S. cities. *Journal of Safety Research*, 34(5), 485-489. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsr.2003.05.001>
- Rodrigues, D., Ribeiro, P., & Nogueira, I. (2015). Safety classification using GIS in decision-making process to define priority road interventions. *Journal of Transport Geography*, 43, 101-110. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2015.01.007>
- Shinar, D., & Vogelzang, M. (2013). Comprehension of traffic signs with symbolic versus text displays. *Transportation Research Part F*, 18, 72-82. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2012.12.012>
- Sitzia, T., Rizzi, A., Cattaneo, D., & Semenzato, P. (2014). Designing recreational trails in a forest dune habitat using least-cost path analysis at the resolution of visitor sight distance. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(4), 861-868. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2014.09.011>
- Stasi, L., Megías, A., Cándido, A., & Maldonado, A. (2012). Congruent visual information improves traffic signage. *Transportation Research Part F*, 15, 438-444. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2012.03.006>
- Sun, Z., Wang, H., Lau, W., Seet, G., & Wang, D. (2014). Application of BW-ELM model on traffic sign recognition. *Neurocomputing*, 128, 153-159. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neucom.2012.11.057>
- Tollazzi, T., & Rencelj, M. (2012). Typical deficiencies in traffic safety and irregularities of Slovenian roads. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 53, 655-663.
- Trick, L., Toxopeus, R., & Wilson, D. (2010). The effects of visibility conditions, traffic density, and navigational challenge on speed compensation and driving performance in older adults. *Accident Analysis and Prevention*, 42(3), 1661-1671. [10.1016/j.sbspro.2012.09.915](http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.915)
- Tsyganov, A., Machemehl, R., & Liapi, K. (2002). Identification of traffic control problems on urban arterial work zones. *CTR Research Report: 4266-1*, Austin: Center for Transportation Research, University of Texas.
- Verster, J., & Roth, T. (2012). The prevalence and nature of stopped on-the-road driving tests and the relationship with objective performance impairment. *Accident Analysis and Prevention*, 45, 498-506. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2011.09.003>

Recebido: Nov. 19, 2016

Aprovado: Jan. 16, 2017