



7º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável
Contrastes, Contradições e Complexidades
Maceió - Brasil, 05 a 07 de Outubro de 2016

AVALIAÇÃO DA VISIBILIDADE DE SINAIS DE TRÂNSITO COM BASE NUMA ANÁLISE MULTICRITÉRIO IMPLEMENTADA NUM SIG. Uma aplicação no centro de Guimarães, Portugal.

D. S. Rodrigues, C. E. P. Magalhães, F. P. Fonseca, A. S. Duarte e P. Ribeiro

RESUMO

A visibilidade dos sinais de trânsito é fundamental para regular o tráfego rodoviário, auxiliar os condutores e garantir a segurança dos utilizadores das vias. Neste artigo apresenta-se uma metodologia para avaliar a visibilidade dos sinais verticais de trânsito. Com base numa análise multicritério, atribuíram-se pesos a três parâmetros que condicionam a visibilidade dos sinais: a dimensão do sinal, a dimensão do poste e a visibilidade do sinal. A análise da visibilidade foi realizada através do geoprocessamento num SIG a partir da rasterização do terreno. Com a aplicação da análise multicritério obteve-se uma escala de prioridades de intervenção associada à visibilidade dos sinais. Esta metodologia foi aplicada a um conjunto de sinais na cidade de Guimarães, Portugal. Os resultados comprovam a funcionalidade da metodologia e revelam que os sinais na cidade de Guimarães têm problemas de visibilidade resultantes da estrutura urbana compacta e da presença de vegetação nas ruas.

1 INTRODUÇÃO

Os sinais de trânsito são infraestruturas rodoviárias que visam regular o normal funcionamento do tráfego e dos demais utentes das vias. 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. Para que haja uma adequada leitura e interpretação da informação dada pelos sinais, é necessário que estes sejam devidamente visíveis. 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 adequado planeamento e gestão ao longo do tempo, que é fundamental para garantir as condições de segurança das rodovias. A gestão começa por 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. A periodicidade das inspeções varia em função da categoria da via em estudo. As vias com maior volume de tráfego médio diário anual e que permitam velocidades mais altas devem ser objeto de inspeções mais periódicas.

Neste contexto, o objetivo do artigo consiste em apresentar uma metodologia para avaliar a visibilidade dos sinais e o seu nível de conformidade em relação aos requisitos legais e regulamentares. A metodologia foi aplicada ao centro histórico da cidade de Guimarães, Portugal. A avaliação teve por base uma análise multicritério que se baseou em

três parâmetros principais: a visibilidade do sinal, as características do sinal e as dimensões do poste de suporte. A localização e as características dos sinais foram levantadas através de trabalho de campo. A visibilidade dos sinais foi determinada através de análises espaciais rasterizadas (*viewshed* e *visibility*) efetuadas num SIG (ArcGIS). Foram considerados várias componentes nos três parâmetros de análise, aos quais foram atribuídos pesos diferentes. A visibilidade dos sinais foi o critério que recebeu maior ponderação. Os resultados obtidos permitem aferir o nível de conformidade dos sinais e o nível de intervenção necessário para repor a sua visibilidade. Assim, esta metodologia apresenta potencial no apoio ao planeamento urbano e do tráfego e na definição de intervenções na rede viária. A aplicação a ruas do centro da cidade Guimarães pretende demonstrar a viabilidade da metodologia e o seu potencial para ser replicada em estudos similares. Com o artigo pretende-se também enriquecer a literatura sobre o tema, demonstrando o caráter inovador e a funcionalidade desta metodologia.

2 ESTUDO DA VISIBILIDADE DE SINAIS DE TRÂNSITO

A visibilidade dos sinais de trânsito é um tópico com vasto desenvolvimento na literatura, o que é elucidativo da importância do tema. Com efeito, a informação disponibilizada pelos sinais só é eficiente quando estes são devidamente visíveis (Khalilikhah *et al.*, 2015). A visibilidade dos sinais depende da combinação de quatro fatores: das características do sinal, das condições oferecidas pelo veículo, das condições de perceção/reação do condutor e das condições oferecidas pelo ambiente e pela rodovia (Carlson and Hawkins, 2003; Costa *et al.*, 2014). No caso da visibilidade em função das características dos sinais, diversos autores têm analisado o tamanho, a forma e a cor (Ng and Chan, 2008), a retrorefletividade (Tsyganov *et al.*, 2002; Balali *et al.*, 2015; Khalilikhah *et al.*, 2015) e a informação acessória incluída nos sinais (Shinar and Vogelzang, 2013).

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 deteção 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 retrorefletividade 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 e 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 deteção automática de sinais, que identifica as anomalias dos sinais em termos de posicionamento e visibilidade.

As ferramentas SIG tem sido utilizadas por alguns autores não ao tanto ao nível da manutenção dos sinais, mas mais ao nível da gestão 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, através de um SIG, vários atributos dos sinais, como a localização, o nome, a rua, a distância a que se encontra de um dado local, etc. Além disso, existem exemplos de aplicações SIG para gerir a rede de sinais de trânsito em diversas cidades, como Sacramento, Ames, Kansas, etc.

Neste artigo dá-se conta da metodologia desenvolvida para avaliar a visibilidade dos sinais de trânsito e do respetivo nível de intervenção necessária, utilizando para o efeito ferramentas SIG associadas a uma análise multicritério. É de realçar que na literatura não foram encontradas abordagens similares, o que realça o carácter inovador da metodologia.

3 METODOLOGIA E SUA APLICAÇÃO À CIDADE DE GUIMARÃES

O método que se propõe neste estudo para avaliar visibilidade dos 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 arquitetónica do seu centro histórico que, em 2001, foi inscrito pela UNESCO na lista de Património Mundial. Foram consideradas diversas ruas do centro histórico de Guimarães para cobrir diferentes tipologias do ponto de vista urbanístico e geométrico e com 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 84 sinais verticais nestas ruas (Figura 1). Para testar a funcionalidade da metodologia, optou-se nesta abordagem pela análise de visibilidade aos sinais verticais de obrigação, cedência de

passagem e de proibição. Assim, dos 84 sinais identificados na zona de estudo, a análise da visibilidade em SIG recaiu sobre 30 desses sinais (Figura 1).

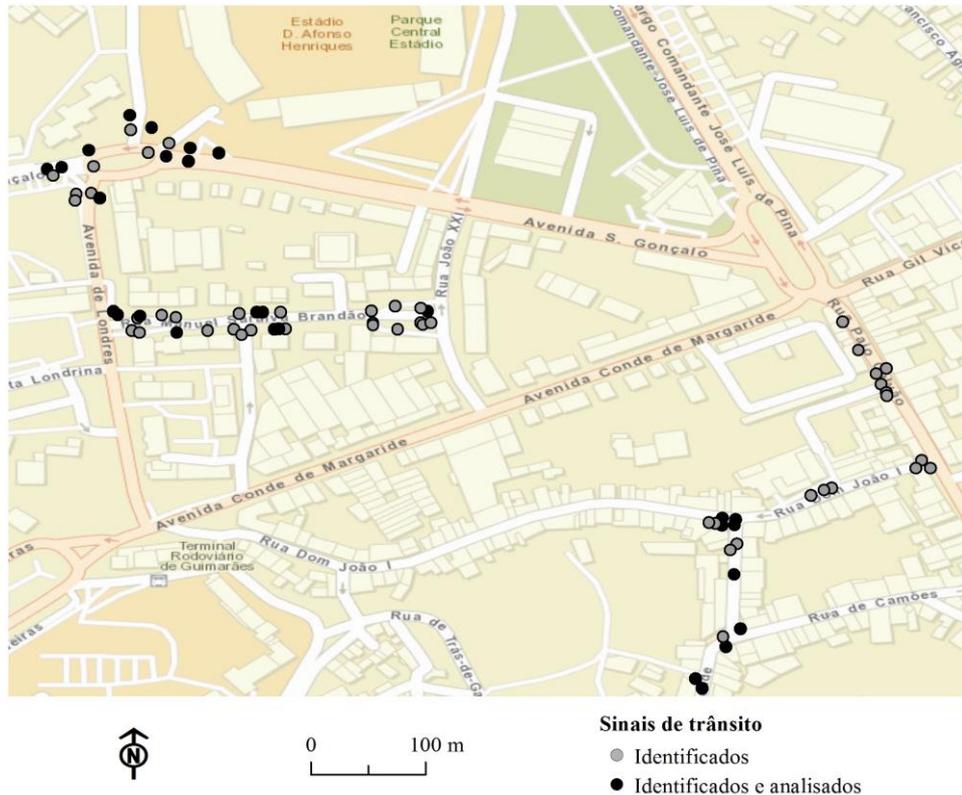


Fig. 1 Área de estudo e sinais de trânsito identificados no centro de Guimarães

As etapas metodológicas seguidas no estudo encontram-se esquematizadas na Figura 2. Assim e depois de compilar a legislação portuguesa sobre a 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.).

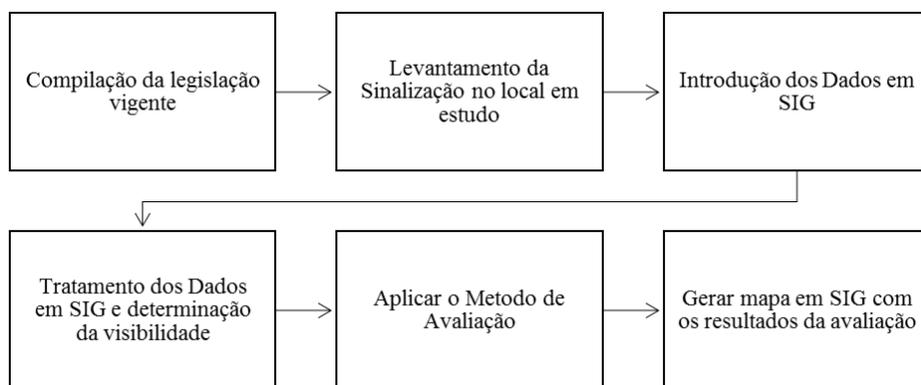


Fig. 2 Etapas metodológicas seguidas no estudo

Os dados recolhidos foram então introduzidos no SIG, potenciando assim a posterior 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 através 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 píxeis (rasterização). Este passo foi realizado usando uma função de conversão de dados geográficos disponibilizada pela plataforma SIG. 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 píxeis (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 populares nas análises de visibilidade em SIG (Chamberlain and Meitner, 2013; Nutsford *et al.*, 2015). De seguida, procedeu-se à representação do cone visual do condutor. Este trabalho foi feito através 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).



Fig. 3 Análise de visibilidade realizada no ArcGIS

Uma vez obtidos todos os valores sobre as características dimensionais e de visibilidade, passou-se ao desenvolvimento da análise multicritério para se avaliar o nível de intervenção necessário nos sinais das ruas do centro histórico de Guimarães. Foram considerados três critérios de avaliação: a dimensão do sinal, a dimensão do poste e a visibilidade do sinal (Figura 4). Na análise entendeu-se atribuir um maior peso à visibilidade (0,8) e um menor peso à dimensão do sinal (0,1) e à dimensão do poste (0,1). O menor peso atribuído a estes dois últimos parâmetros teve em conta a flexibilidade existente na legislação para as dimensões dos sinais rodoviários em espaços urbanos, tanto devido às menores velocidades praticadas e permitidas, como à reduzida área disponível para a sua implantação. Por outro lado e, tal como se demonstrou no enquadramento teórico, as componentes integradas no parâmetro visibilidade, a retrorreflexão, o desgaste e a existência de obstáculos são os fatores que mais condicionam a visibilidade. justificando-se assim o maior peso atribuído a este parâmetro.

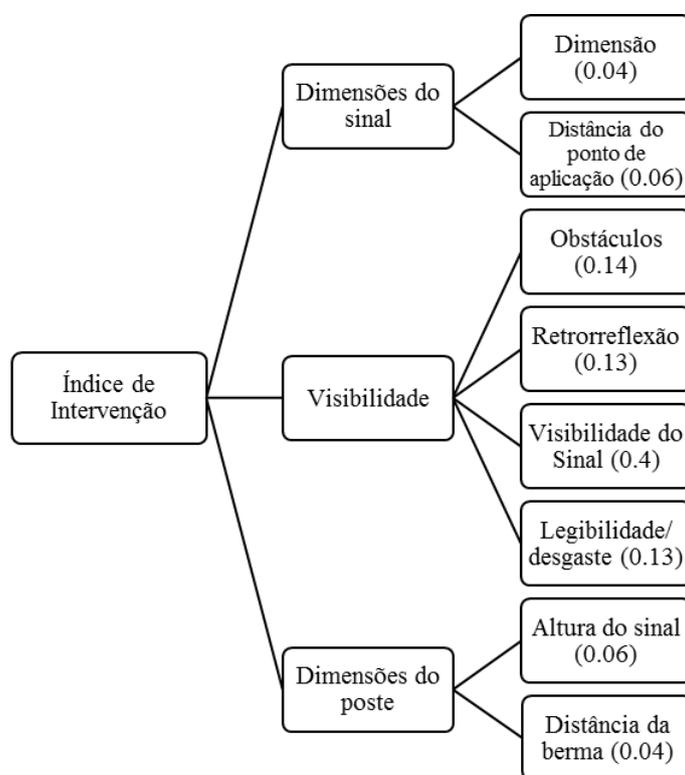


Fig. 4 Critérios e respetivos pesos considerados na visibilidade dos sinais

A partir da distribuição dos pesos apresentados na Figura 4, foi calculado o nível de intervenção final de cada sinal de acordo com a Equação 1.

$$ni = (ds * 0,1) + (v * 0,8) + (dp * 0,1) \quad (1)$$

Onde:

ni: nível de intervenção

ds: dimensão do sinal

v: visibilidade

dp: dimensão do poste

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

Os resultados demonstram, assim, a existência de diversos problemas de sinalização nas ruas do centro histórico 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 histórico 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, através 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 verifica-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.



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

Na rua Manuel Saraiva Brandão, identificaram-se também diversas anomalias. Nesta rua, o fator que mais condicionam 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.



Fig. 7 Sinal ocultado por vegetação ao longo da rua Manuel Saraiva Brandão

O local onde se identificaram mais problemas relacionados com a visibilidade dos sinais foi na rotunda na 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 visibilidade de paragem e a distância de travagem. 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 por 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 realocação de alguns sinais para melhorar as condições de imobilização dos veículos associada a uma adequada manutenção da vegetação serão medidas importantes para aumentar a visibilidade da sinalética neste local.



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

5 CONCLUSÕES

A visibilidade dos sinais de trânsito verticais 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 visibilidade dos sinais, que se baseia numa análise multicritério, através da qual foram atribuídos pesos diferenciados às dimensões do sinal, às dimensões do poste e à visibilidade. 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. 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 resulta 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 no estudo da visibilidade de sinais.

Esta metodologia foi aplicada ao centro histórico de Guimarães. Os resultados revelam que mais de metade dos sinais têm problemas de visibilidade (nível 2), sendo necessária a adoção de medidas de correção. Os principais problemas resultam da existência de vegetação que oculta parcial ou totalmente os sinais. As ruas estreitas e sinuosas também causam alguns constrangimentos à visibilidade da sinalética, que é ocultada pelos edifícios em distâncias inferiores às definidas para a paragem dos veículos em segurança.

Além dos resultados obtidos, a metodologia demonstrou a sua funcionalidade e a sua utilidade na gestão da sinalética rodoviária. Da análise multicritério resulta 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 três parâmetros e a cada uma das suas componentes. Será importante, por exemplo, confrontar os valores estabelecidos a partir da interpretação da legislação, com a opinião de peritos para fixar os valores de uma forma mais objetiva. A adaptação desta metodologia em vias com características diferentes e que permitam velocidades superiores, como fora das localidades, poderá também ser interessante porque implica mudanças nas distâncias de travagem e de paragem.

6 REFERÊNCIAS

Alghamdia, W. Shakshukia, E. Sheltamib, T. (2012) Context-aware driver assistance system, **Procedia Computer Science**, 10, 785-794.

Arroyo, S. Sanz, S. Bascón, S. Figueras, J. Sastre, R. (2011) 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, 767-773.

Balali, V. Sadeghi, M. Fard, M. (2015) Image-based retro-reflectivity measurement of traffic signs in day time, **Advanced Engineering Informatics**, 29, 1028-1040.

Belloví, M. Malagón, F. (2011) **NTP 330: Sistema simplificado de evaluación de riesgos de accidente: INSHT**. Disponível em www.insht.es (acedido em maio 2016).

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.

Carlson, P. Hawkins, J. (2003) Minimum retroreflectivity levels for overhead guide signs and street-name signs, **Publication N°. FHWA-RD-03-082**, U.S. Department of Transportation, McLean.

Castellano, J. Jiménez, I., Pozuelo, C. Álvarez, J. (2015) Traffic sign segmentation and classification using statistical learning methods, **Neurocomputing**, 153, 286-299.

Chamberlain, B. Meitner, M. (2013) A route-based visibility analysis for landscape management, **Landscape and Urban Planning**, 111, 13-24.

Chen, Z. Lin, W. Ke, S. Tsai, C. (2015) Evolutionary feature and instance selection for traffic sign recognition, **Computers in Industry**, 74, 201-211.

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.

Escalera, A. Mata, A. (2003) Traffic sign recognition and analysis for intelligent vehicles, **Image and Vision Computing**, 21, 247-258.

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.

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.

INE - Instituto Nacional de Estatística (2011) **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.

Khalilikhah, M. Heaslip, K. Song, Z. (2015) Can daytime digital imaging be used for traffic sign retroreflectivity compliance?, **Measurement**, 75, 147-160.

McKenzie, D. O'Neill, S. Larkina, N. Norheimb, R. (2006) Integrating models to predict regional haze from wildland fire, **Ecological Modelling**, 199, 278-288.

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.

Ng, A. Chan, A. (2008) Visual and cognitive features on icon effectiveness. **Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2008 Vol II IMECS 2008**, Hong Kong 19-21 March, 2008.

Nutsford, D. Reitsma, F. Pearson, A. Kingham, S. (2015) Personalising the viewshed: visibility analysis from the human perspective, **Applied Geography**, 62, 1-7.

Shinar, D. Vogelzang, M. (2013) Comprehension of traffic signs with symbolic versus text displays, **Transportation Research Part F**, 18, 72–82.

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, 861–868.

Sun, Z. Wang, H. Lau, W. Seet, G. Wang, D. (2014) Application of BW-ELM model on traffic sign recognition, **Neurocomputing**, 128, 153-159.

Tsyganov, A. Machemehl, R. Liapi, K. (2002) Identification of traffic control problems on urban arterial work zones, **CTR Research Report: 4266-1**, Center for Transportation Research, University of Texas, Austin.