

FERRAMENTA MULTICRITÉRIO PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA SINALIZAÇÃO VERTICAL EM TRECHOS DE RODOVIAS

Samuel Baesso Müller
Raquel Cristina Ferreira Silva
Samuel Augusto Mota
Carmen Brum Rosa
Alejandro Ruiz-Padillo

Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul
Laboratório de Mobilidade e Logística (LAMOT)

RESUMO

O modo rodoviário é uma forma de transportes essencial atualmente, porém, grande parte da malha viária possui algum tipo de deficiência, como na sinalização. A sinalização viária é parte fundamental para auxiliar na organização do trânsito e constitui medidas de baixo custo no tratamento de pontos críticos. Neste estudo, desenvolveu-se uma ferramenta interativa capaz de avaliar o desempenho da sinalização vertical em trechos de rodovia considerando os múltiplos critérios que influenciam. Assim, a ferramenta propõe uma adaptação do método multicritério qualitativo da Matriz de Leopold, com pesos determinados a partir de um painel de especialistas. Com o intuito de se comprovar o funcionamento da ferramenta, foi realizado um estudo de caso de três diferentes interseções de rodovia, que permitiu determinar qual o desempenho da sinalização vertical em cada uma e quais as placas se encontram em melhor e pior estado, para assim decidir e priorizar ações de melhoria.

ABSTRACT

Highway mode is one of the essential ways of transport nowadays. However, much of the road network has some type of disability, such as signaling systems. Road signaling is fundamental for traffic organization and is a low-cost measure for hot spots treatments. In this study, an interactive tool was developed to evaluate the performance of vertical signs in highway stretches considering influencing multiple criteria. Thus, the tool proposes an adaptation of the qualitative multicriteria method of the Leopold Matrix, including weights determined from an expert panel. In order to verify the tool operation, a case study of three different road intersections was carried out, and it was possible to determine the performance of the vertical signaling in each one and which signs are in better and worse state. These results can help decision-makers to prioritize improvement actions.

1. INTRODUÇÃO

O setor de transporte pode ser considerado um dos pilares essenciais da sociedade em conjunto com saúde, educação e segurança. Para Colavite e Konishi (2015) este setor relaciona-se com o progresso e o desenvolvimento de uma nação, pois propicia acessibilidade e mobilidade tanto de cargas quanto de pessoas. Também relaciona-se a qualidade de vida, pois exerce função social importante para a sociedade (Araújo *et al.*, 2011). Porém, no Brasil, conforme Erhart e Palmeira (2006), este setor é um grande limitador para a expansão da economia, devido à insuficiência dos investimentos em infraestrutura. Dentre os modais de transporte destaca-se no Brasil o rodoviário, já que, conforme a matriz dos transportes do Ministério dos Transportes (2012), verifica-se que esse modal movimenta a maior parte das cargas no país, com 52% do total. Também é possível comprovar este destaque do modal pela frota veicular nacional: segundo dados do DENATRAN (2016) a frota total em 2000 era de 29.722.950, já em 2006 passou para 45.372.640, um aumento de aproximadamente 52%, enquanto que em 2016 atingiu-se a cota de 93.867.016 veículos, o que representa o dobro em apenas 10 anos.

Em contrapartida, a CNT (2017) demonstra a situação das rodovias estaduais e federais: segundo o estudo realizado, dos 150.814 km avaliados constatou-se que 61,8% delas apresentam alguma deficiência. Da mesma forma com que o número de automóveis aumenta com o passar dos anos observa-se também que o número de vítimas fatais por acidentes de trânsito se eleva: 36.900 em 1996; 42.262 em 2006 e de 50.901 em 2016 (Ministério da Saúde, 1996, 2006, 2016), o que representa um aumento de 17% ao ano na taxa de óbitos. Segundo dados da PAHO (2016), nesse mesmo período os acidentes de trânsito constituem a 7^a causa de mortes no Brasil.

Os principais fatores contribuintes na ocorrência dos acidentes são excesso de velocidade, embriaguez ao volante, ultrapassagens perigosas, desatenção e ineficiência de sinalização (Lasmar *et al.*, 2017). Autores como Branco (1999) também destacam a “sinalização inadequada ou inexistente” dentre fatores elencados como causa externa aos acidentes. Nesse contexto, sobressaem-se as interseções como pontos críticos, onde se observa uma densidade maior de acidentes devido ao grande número de conflitos, constituindo assim um ponto chave para a segurança viária (Peña, 2011). Na pesquisa CNT de rodovias (CNT, 2017), 59,2% da extensão total avaliada foi identificada com problemas na sinalização, sendo 27,3% dela ruim ou péssima.

Dessa maneira, salienta-se a importância de uma sinalização corretamente projetada e alocada que consiga transmitir ao usuário da via a informação adequada, visto que a sinalização é fundamental para o movimento seguro e eficiente do tráfego (Möri e Abdel-Halim, 1981). Dentre o conjunto dos dispositivos de sinalização viária, a sinalização vertical se destaca por apresentar-se na altura dos olhos dos usuários, comunicando as informações de forma mais direta e independentemente das condições do tráfego e do pavimento da via (DNER, 1999).

Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo apresentar uma ferramenta capaz de avaliar os múltiplos critérios que compõem a sinalização viária vertical e mensurar o seu desempenho em trechos de rodovia, através do diagnóstico de suas características, fornecendo um resultado capaz de auxiliar na tomada de decisões para manutenção, implantação e conservação da sinalização viária. Para demonstrar a aplicabilidade da ferramenta, foi realizado um estudo de caso em três diferentes segmentos de rodovia, que abrangem três interseções de diferentes tipos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é apresentado o referencial teórico para elaboração deste estudo: em primeiro lugar, sobre a sinalização viária e sua importância no trânsito; a seguir, sobre os métodos de análise multicritério, pela necessidade de avaliar os vários aspectos que influenciam de forma simultânea e com níveis de importância diferentes na sinalização.

2.1. Sinalização viária

A sinalização é parte intrínseca ao trânsito e visa a organização de circulação de veículos e pessoas, sempre sob o critério da segurança no trânsito (Costa *et al.*, 2014). O Manual de Sinalização Rodoviária (DNER, 1998) informa que a sinalização vertical se divide entre: Regulamentação; Advertência; Indicação e Educativas. Segundo Branco (1999), a sinalização, se bem planejada, é capaz de evitar acidentes além de orientar os usuários. Igualmente, para Magalhães *et al.* (2017) é necessária a existência de uma rede de sinais de trânsito que, para serem funcionais, devem estar visíveis e perceptíveis ao condutor.

Outra característica da sinalização é a capacidade de reduzir os conflitos, embora sua eficácia dependa da capacidade dos usuários da via de compreendê-la (Kaplan *et al.*, 2018). Tão importante quanto a informação contida na sinalização é sua localização na via. Por isso, os seus elementos devem ser localizados de modo a serem claramente visíveis e ainda assim não se tornarem obstáculos visuais (Möri e Abdel-Halim, 1981). Assim mesmo, a correta distância de visibilidade é fundamental para que os motoristas tenham um tempo necessário de resposta à sinalização (Costa *et al.*, 2018). Além disso, quanto maior o número de sinais aos quais os motoristas estão expostos, maior a dificuldade que eles têm em assimilar as informações (Costa *et al.*, 2018). Dessa maneira, a repetição não essencial de placas no mesmo caminho é um desperdício de atenção e reduz o desempenho do motorista (Möri e Abdel-Halim, 1981).

Os gestores do tráfego, buscando soluções rápidas e de baixo impacto financeiro, executam projetos de readequação da sinalização para reduzir efeitos negativos (Coelho *et al.*, 2008). Desta forma, a sinalização rodoviária foi a alternativa encontrada como um bom meio para limitar os acidentes, alertando aos usuários sobre possíveis perigos, restrições específicas de estradas e possíveis conflitos na interpretação de prioridades e interseções (Bazire e Tijus, 2009; Costa *et al.*, 2014).

2.2. Métodos multicritério de apoio à tomada de decisão

A utilização de métodos multicritérios ocorre pelo fato de que não há, em geral, decisões que sejam simultaneamente ótimas sob todos os pontos de análise para um determinado problema, sendo assim complexa a seleção da melhor opção possível (Roush, 1993). A tomada de decisão é um fator presente no dia-a-dia das pessoas, já que, é necessária sempre que houver mais de uma alternativa para um determinado problema.

O MCDM (*Multiple-criteria decision-making*) é considerado um conjunto de métodos de ajuda à tomada de decisão envolvendo vários fatores quantitativos e/ou qualitativos (Ishizaka e Siraj, 2018). Tais ferramentas fornecem ao usuário uma classificação e/ou ranqueamento das alternativas em questão (Saaty e Vargas, 2012) e diferenciam-se de outras pelo fato de avaliarem as ações por meio de um conjunto de critérios, empregando determinadas funções matemáticas para medir o desempenho (Ensslin, 2001 apud Briozo *et al.*, 2015).

Os métodos de MCDM são muito utilizados no âmbito de projetos de engenharia, já que fornecem uma visão ampla e sistemática dos efeitos do projeto, com base em características quantitativas e qualitativas (Ishizaka e Siraj, 2018). No âmbito dos transportes, a funcionalidade de uma rede rodoviária também pode ser determinada analisando vários aspectos que comumente influenciam nas condições operacionais, como fluxo de tráfego, segurança, condições de manutenção, acessibilidade e impacto ambiental (Fancellò *et al.*, 2014; Egilmez *et al.*, 2015; Ruiz-Padillo *et al.*, 2016; Rodrigues *et al.*, 2017).

Além disso, o MCDM torna-se interessante para o setor público, no qual seus gestores têm que tomar decisões para a sociedade como um todo (Briozo *et al.*, 2015). Como os recursos nem sempre são suficientes para resolver todas as necessidades, é fundamental adotar uma metodologia capaz de classificar as ações por ordem de prioridade (Fancellò *et al.*, 2018).

Segundo Randhawa e West (1995), os métodos multicritério abrangem quatro etapas: identificação de um conjunto de critérios para avaliar as alternativas; desenvolvimento de pesos para os critérios que reflitam sua importância relativa na decisão; avaliação de cada alternativa com respeito a cada critério; e agregação das avaliações ponderadas em uma classificação geral.

Os métodos de MCDM dividem-se por diferentes abordagens multicritérios, entre os mais consagrados na literatura científica estão as famílias dos métodos *Electre*, *Promethee*, *Analytic Hierarchy Process*, *Analytic Network Processes* ou *Multiattribute Utility Theory* (Simões *et al.*, 2014). No entanto, esta pesquisa fará uso dos conceitos gerais associados a essas metodologias para a construção da árvore de decisão, ponderação dos indicadores de desempenho e avaliação de critérios, e, portanto, não se faz necessário uma discussão aprofundada de cada abordagem.

3. METODOLOGIA

Os principais aspectos abordados para alcançar o objetivo proposto foram conduzidos em três etapas, conforme o procedimento metodológico esquematizado na Figura 1.

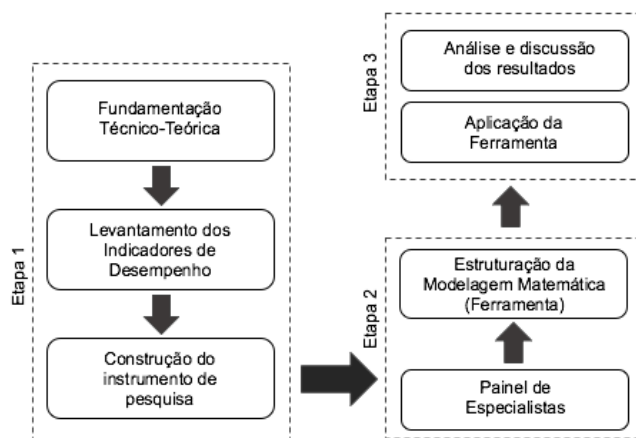


Figura 1: Representação Esquemática da Metodologia

Para o cumprimento dos objetivos do trabalho foi necessário obter uma fundamentação técnico-teórica para o levantamento dos indicadores de desempenho a partir de uma revisão da literatura especializada sobre o assunto, incluindo manuais dos gestores da rede no Brasil e noções da utilização dos métodos multicritério. O segundo passo dessa etapa inicial deu-se com a seleção dos indicadores baseados em parâmetros de análise dos elementos de sinalização e o agrupamento destes em fatores considerados como críticos de sucesso (FCS) para avaliação do desempenho dos três tipos de placas: regulamentação, advertência e indicação. Com a finalidade de estruturar os FCS na ferramenta fez-se o desdobramento do objetivo central da pesquisa em cinco Pontos de Vista Fundamentais (PVF), identificados na Figura 2: forma e cor, localização, dimensões, estrutura e legendas (CONTRAN, 2007a, 2007b, 2014).

A construção da ferramenta foi realizada através do uso da abordagem de árvore de decisão, com a estruturação hierárquica dos PVFs, FCSs e Indicadores de Desempenho. Foram elaboradas três árvores de decisão, uma para cada categoria de sinalização viária. A representação esquemática da árvore de decisão desenvolvida para Placas de Regulamentação é apresentada na Figura 2.

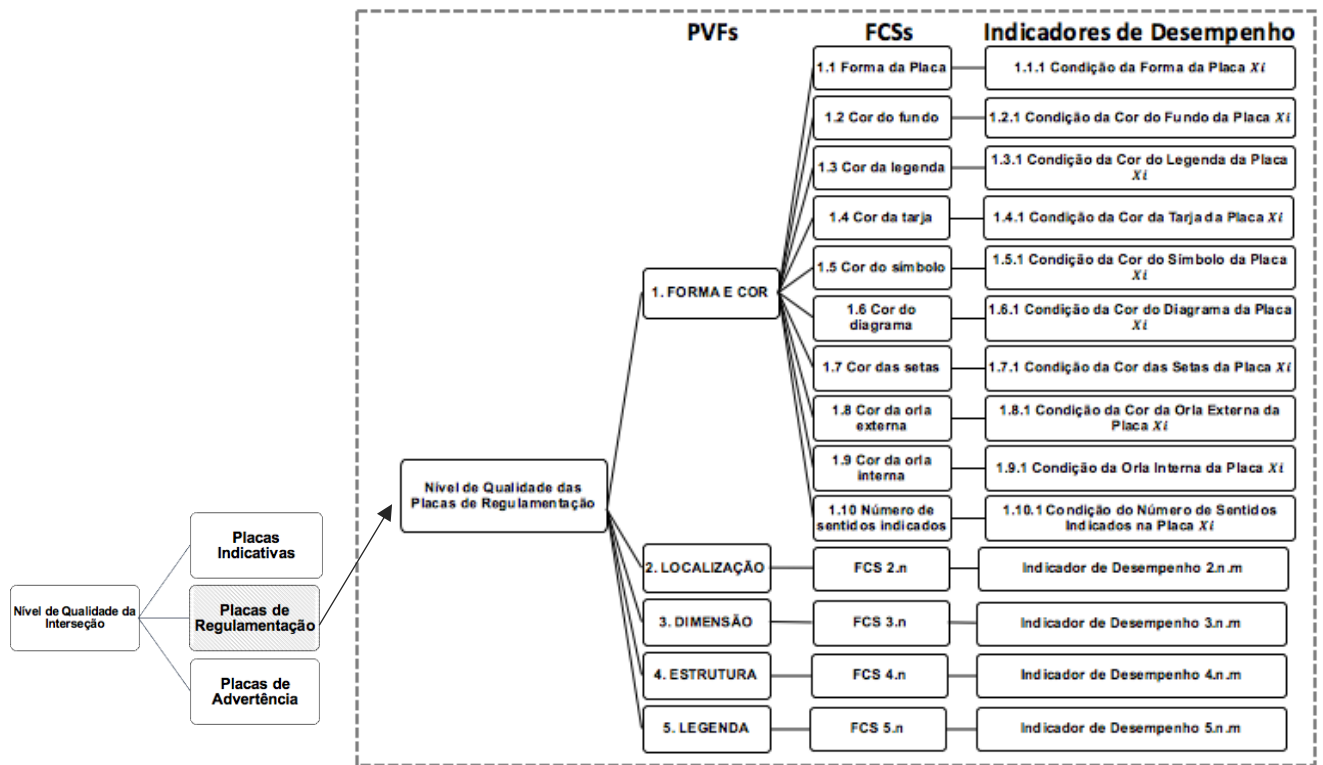


Figura 2: Representação Esquemática da árvore de decisão.

A ponderação de cada indicador de desempenho, proposta na etapa 2, foi estabelecida para que se pudesse desenvolver a modelagem matemática da ferramenta. Para tanto, cita-se o método da Matriz de Leopold (Leopold *et al.*, 1971), uma das metodologias baseadas na utilização de matrizes de interação criada com o objetivo de avaliar os impactos associados à implantação de projetos de engenharia (Oliveira e Moura, 2009). O método organiza as informações em uma tabela, conforme apresentado na Figura 3, na qual as atividades do projeto se apresentam em um eixo e as características ambientais em outro eixo (Silva e Moraes, 2012; Sobczyk *et al.*, 2017).

| Atividades | Aspectos Ambientais | | | | | | MÉDIAS | ÍNDICE FINAL |
|---------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|--------|--------------|
| | Aspecto Ambiental "1" | | | | | Aspecto Ambiental "n" | | |
| Atividade "1" | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| Atividade "n" | | | | | | | | |

Magnitude \rightarrow \leftarrow Importância

Figura 3. Matriz de Leopold original. Adaptada de Silva e Moraes (2012).

Na adaptação da Matriz de Leopold para construção do instrumento de pesquisa, os fatores avaliados foram dispostos em colunas e assimilados aos diferentes aspectos regulamentados aos elementos de sinalização vertical, definidos no Manual Brasileiro de Sinalização Rodoviária (DNER, 1998). Por outro lado, a ponderação dos pesos para esses fatores são obtidos a partir de opiniões de especialistas da área reunidos em um painel de avaliação, técnica comumente utilizada também no âmbito de análise de impactos procedentes de infraestruturas de transporte (Egilmez *et al.*, 2015; Ruiz-Padillo *et al.*, 2016). Visto que o painel de especialistas inclui respondentes do Rio Grande do Sul, a pesquisa refere-se à realidade deste estado. Os resultados obtidos no painel foram agregados mediante média aritmética para realizar as avaliações globais representativas das importâncias relativas dos PVFs e FCSs.

Uma vez que as ponderações estejam estruturadas e a aplicação da ferramenta na interseção tenha sido feita, faz-se necessário o cálculo a partir de uma equação global capaz de avaliar efetivamente o desempenho de cada placa resultando no desempenho global da interseção. Para tanto, destacam-se as funções de agregação aditiva (Gomes *et al.*, 2011), conforme a equação 1:

$$V(\beta) = \sum_{i=1}^n W_i V_i(\beta) \quad (1)$$

onde $V(\beta)$ representa o desempenho global da interseção β , W_i refere-se aos pesos dos critérios e $V_i(\beta)$ indica a avaliação deste critério na alternativa considerada.

Na última etapa da metodologia realiza-se a aplicação da ferramenta e a discussão de seus resultados, o que permitirá mensurar o nível de qualidade da interseção avaliada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Seleção dos indicadores de desempenho e resultados do painel de especialistas

A modelagem matemática incorporada na ferramenta utiliza os pesos dos critérios necessários para a avaliação da sinalização viária na Matriz de Leopold, obtidos a partir das importâncias, em uma escala de 1 a 10, determinadas pela média aritmética de todas as avaliações realizadas pelos especialistas do painel. Concomitante à avaliação atribuída aos critérios da sinalização viária, foi avaliada a importância com relação aos diferentes tipos de categorias da sinalização vertical (regulamentação, advertência, indicação), considerando também seus subgrupos. No total 30 especialistas participaram do painel, dividindo-se em três diferentes grupos: 10 pesquisadores atuantes em programas de pós-graduação na área de transportes, 10 especialistas atuantes em empresas relacionadas com projeto, construção e manutenção de rodovias e 10 técnicos da Administração Pública rodoviária no Estado (Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem – DAER-RS).

As Tabelas 1 e 2 apresentam os indicadores de desempenho da sinalização viária selecionados e os pesos fornecidos pelos diferentes especialistas para placas de regulamentação, advertência e indicação. Os valores definidos correspondem ao produto das médias dos pesos atribuídos pelos especialistas para cada indicador avaliado, o tipo de placa e a categoria da placa.

É possível verificar que os indicadores de desempenho que obtiveram os menores índices de importância para todos os tipos de placas foram “Material da placa” e “Material do suporte”, enquanto os indicadores relacionados à distância de visibilidade e retrorrefletividade mostraram-se entre as maiores ponderações. Esses resultados evidenciam a grande importância que os

especialistas atribuem à possibilidade do usuário visualizar as placas em diferentes períodos do dia, mais do que o material utilizado para transmitir essa informação. O aspecto da legibilidade das placas é destacado na pesquisa CNT de rodovias (CNT, 2017), e seus resultados comprovaram que 22,3% da extensão avaliada apresentam problemas nesse critério.

Tabela 1: Indicadores de desempenho e pesos relativos às placas de regulamentação e advertência.

| Indicadores de Desempenho para Placas de Regulamentação e Advertência | Cor da placa e elementos (tarja, orla, símbolos, fundo) | Forma das placas (circular, triangular, octogonal) | Dimensão da placa (diâmetro, orla, lado) | Tamanho símbolos, letras (quando possuir legenda) | Retrorefletividade | Material da placa (aço, alumínio, plástico...), tinta | Material do suporte (aço, madeira) | Inflexão em relação à via | Distância de visibilidade (disposição horizontal) | Localização transversal | Gabarito vertical | Formato (disposição dos textos, tarjas, letras) | Conteúdo explicativo, simples e coeso | Cor (fundo, tarja, legenda) |
|---|---|--|--|---|--------------------|---|------------------------------------|---------------------------|---|-------------------------|-------------------|---|---------------------------------------|-----------------------------|
| Academia | 9,1 | 8,1 | 9 | 9,1 | 9,4 | 7,2 | 6,1 | 8,1 | 9,3 | 8,4 | 8,4 | 8 | 7,6 | 8,6 |
| DAER | 8,7 | 8,1 | 8,5 | 8,6 | 8,5 | 7,6 | 7,3 | 8,2 | 9,3 | 7,8 | 7,5 | 7,9 | 8,1 | 8,5 |
| Empresa | 8,8 | 8,6 | 8,1 | 8,6 | 9,8 | 5,6 | 6 | 8,6 | 10 | 9,6 | 9,5 | 8,9 | 9,3 | 8,7 |
| MÉDIA | 8,87 | 8,27 | 8,53 | 8,77 | 9,23 | 6,80 | 6,47 | 8,30 | 9,53 | 8,60 | 8,47 | 8,27 | 8,33 | 8,60 |

Tabela 2: Indicadores de desempenho e pesos relativos às placas de indicação.

| Indicadores de Desempenho para Placas de Indicação | Conteúdo explicativo, simples e coeso | Formato (disposição dos textos, das tarjas e das setas) | Quantidade de legendas | Retrorefletividade | Material de suporte e Placa (madeira, aço...) | Dimensão placa (largura, altura) | Tamanho letras e espaçamento dos caracteres | Inflexão em relação à via | Distância de visibilidade (disposição horizontal) | Gabarito vertical (altura em relação à pista) | Localização transversal (distância até o bordo da pista) | Cor placa e elementos | Forma da placa (retangular, brasão...) |
|--|---------------------------------------|---|------------------------|--------------------|---|----------------------------------|---|---------------------------|---|---|--|-----------------------|--|
| Academia | 9,8 | 8,4 | 8,4 | 9,6 | 7,0 | 9,6 | 9,8 | 8,8 | 9,6 | 8,8 | 8,8 | 9,0 | 8,2 |
| DAER | 9,2 | 7,4 | 7,0 | 9,0 | 7,4 | 7,8 | 8,2 | 8,2 | 9,2 | 8,0 | 8,0 | 8,0 | 6,8 |
| Empresa | 10 | 9,6 | 9,8 | 9,8 | 8,2 | 9,2 | 9,2 | 8,4 | 9,6 | 9,2 | 8,8 | 9,8 | 9,8 |
| MÉDIA | 9,67 | 8,47 | 8,40 | 9,47 | 7,53 | 8,87 | 9,07 | 8,47 | 9,47 | 8,67 | 8,53 | 8,93 | 8,27 |

No caso específico das placas de regulamentação e advertência, as cores utilizadas nas placas e o tamanho dos símbolos empregados também apresentaram uma significativa importância. Para as placas de indicação destacam-se as características “conteúdo explicativo, simples e coeso” e “tamanho letras e espaçamento dos caracteres”, o que é coerente com este tipo particular de placa. Todos esses indicadores fazem referência novamente à importância dada à correta transmissão e compreensão das mensagens contidas nas placas.

Ainda é interessante destacar que houve pouca diferença entre as avaliações dos três diferentes grupos de especialistas abordados, o que oferece grande representatividade aos valores médios utilizados para obtenção dos índices de importância de cada tipo de placa. Porém, é possível verificar que, em geral, os maiores valores para a avaliação dos indicadores de desempenho

foram atribuídos pelo grupo de especialistas procedentes do setor privado, enquanto que os menores valores procedem dos especialistas do órgão público responsável pelas rodovias.

4.2 Construção da ferramenta

Os pesos obtidos do painel de especialistas foram adicionados em planilhas eletrônicas do aplicativo Microsoft Excel® para compor a modelagem matemática da ferramenta. O desenvolvimento desta interface justifica-se pelo fato das práticas de gestão e avaliação de desempenho desenvolvidas por meio de pesquisas científicas ainda enfrentarem dificuldades de implementação em ambientes empresariais. Este fato, em parte, é decorrente da necessidade de se dispor ferramentas mais intuitivas, através de interfaces de fácil assimilação pelo usuário final. A partir desta motivação, buscou-se estender a pesquisa e construir uma ferramenta eletrônica capaz de auxiliar a adoção prática da modelagem construída através da visualização dos pesos e dos indicadores, apresentada na Figura 4. Esta aplicação permite aos gestores acompanharem a situação atual da interseção avaliada e cria subsídios para a elaboração de planos de melhoria que podem alavancar a atual performance para patamares mais elevados de qualidade.

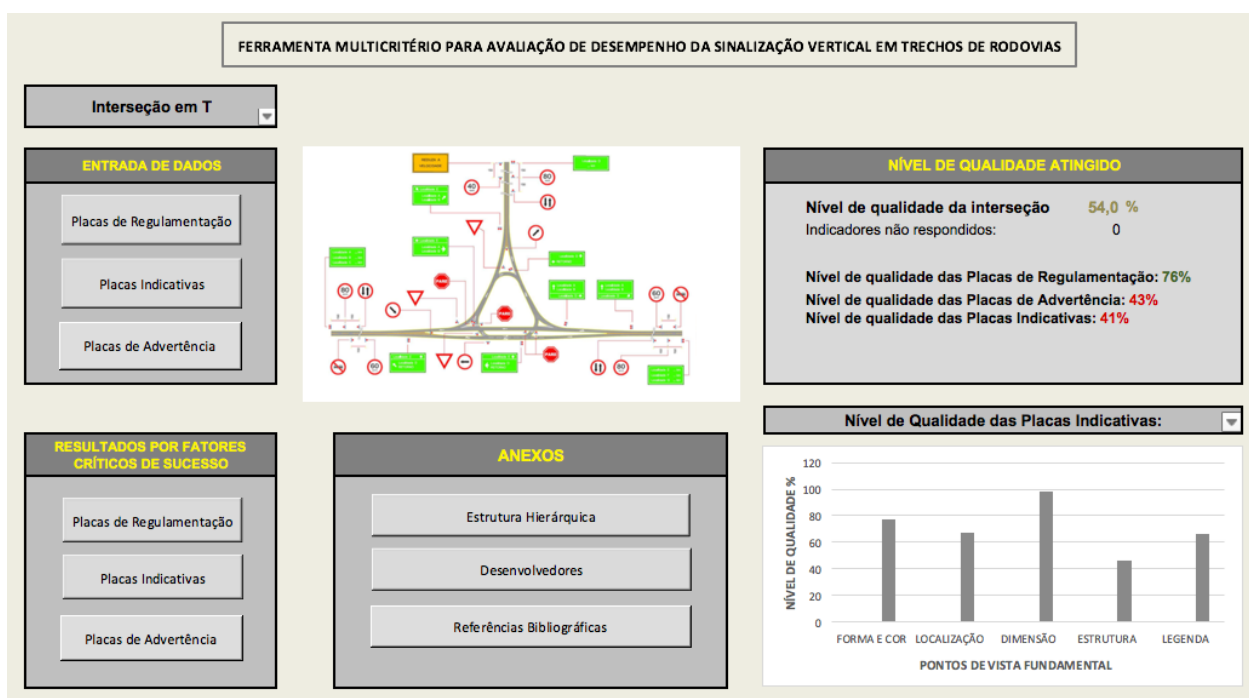


Figura 4: Interface da ferramenta.

A tela inicial desta ferramenta possui quatro blocos (Figura 4):

- Entrada de dados: botões que dão acesso aos formulários sobre a condição de cada um dos indicadores de desempenho, conforme esquematizado na Figura 2 da metodologia.
- Resultados: ambiente que fornece o nível de qualidade das placas estratificando os resultados por FCS e PVF, permitindo ao usuário uma noção específica dos pontos críticos do trecho.
- Anexos: espaço na ferramenta que apresenta a estrutura hierárquica da árvore de decisão para as três categorias de placas de sinalização viária, além do histórico dos desenvolvedores da ferramenta e as referências bibliográficas para seleção dos indicadores.

- Nível de qualidade atingido: bloco interativo que informa ao usuário o nível de qualidade da interseção avaliada, e, conta também, com um alerta de erro caso algum indicador não tenha sido respondido. Para ilustrar o diagnóstico da interseção, a ferramenta retorna na interface uma representação gráfica da avaliação por PVFs.

4.3 Aplicação da ferramenta

Além dos pesos obtidos anteriormente, a aplicação da ferramenta precisa da inserção das magnitudes na Matriz de Leopold adaptada, que foram determinadas através da avaliação dos indicadores. Para isso, foram desenvolvidas duas planilhas (*checklist*) (uma direcionada para placas de indicação e outra para placas de advertência e regulamentação), onde cada aspecto da sinalização foi avaliado mediante uma escala Likert qualitativa: 1 - Ruim, 2 - Razoável, 3 - Bom, 4 - Muito Bom e 5 - Excelente. Alguns aspectos não são avaliados para todas as placas existentes, sendo assinalados na avaliação como “Não se aplica” (NA) para não ser contabilizados na modelagem matemática do trecho avaliado. As planilhas permitem a coleta de informações e avaliação em campo, tanto de forma manual quanto digital. Além da avaliação da condição é possível acrescentar anotações a respeito de condições particulares em cada critério avaliado.

Para avaliar os indicadores de desempenho *in loco*, a ferramenta propõe uma metodologia mediante “penalização” dos indicadores, visando minimizar a variância de avaliação entre diferentes examinadores. Para isto, definiu-se um sistema intuitivo similar às “multas de trânsito”, que considera a perda de pontos proporcional à gravidade com que o indicador difere dos princípios da sinalização de trânsito (legibilidade, conspicuidade, padronização, etc.) (DNER, 1998). Todos os indicadores iniciam com uma avaliação excelente (5 pontos) e a partir disto são feitos os descontos, que vão de 1 (leve) a 4 (gravíssima). Assim, estes dados penalizados são inseridos no bloco da Entrada de dados da ferramenta e, portanto, considerados como as magnitudes dos aspectos na matriz de Leopold para ser realizada a modelagem matemática.

Ainda, a ferramenta elaborada considera o modelo ideal de sinalização viária que todo trecho de uma rodovia deveria ter, de acordo com os parâmetros fornecidos pelos manuais (CONTRAN, 2007a, 2007b, 2014). Desse modo, a ferramenta incorpora, segundo o tipo de trecho ou interseção avaliados, uma relação de placas, sendo possível realizar a comparação entre o modelo ideal e o trecho real e levar em conta as inconformidades encontradas, como placas ausentes, inadequadas ou contraditórias. As placas assinaladas como ausentes são acrescentadas ao trecho estudado na Matriz de Leopold adaptada e sua magnitude correspondente é medida com valor 0, o que influencia diretamente na avaliação final do trecho inspecionado.

A partir desta modelagem é feito o somatório dos produtos entre importância e magnitude, sempre que a magnitude se aplica. Para determinar o desempenho das placas é realizada a normalização do resultado, levando em conta o número de aspectos avaliados e suas importâncias relativas. O desempenho de uma categoria de placa é obtido pela média ponderada dos valores de cada uma e apresentado em percentagem em relação à situação ideal. Finalmente, para o trecho completo considerado, faz-se a média ponderada dos valores por categoria de placa.

5. APLICAÇÃO A CASO DE ESTUDO

Com o objetivo de se comprovar a funcionalidade da ferramenta, avaliou-se a sinalização vertical de três interseções de diferentes tipologias localizadas na rodovia BR-153 entre os km 382.4 e 408.6, trecho que atravessa a cidade de Cachoeira do Sul - RS. Cada uma das interseções avaliadas possui características geométricas específicas, sendo a Interseção 1 (localizada geograficamente ao norte do trecho estudado) uma interseção em “T”, a Interseção 2 (ou central) é do tipo rotatória, e a Interseção 3 (ao sul) é uma interconexão de tipo trevo parcial.

Durante o estudo de caso avaliou-se um total de 73 placas, todas georreferenciadas para definir sua localização e facilitar a avaliação da visibilidade de cada uma, dividindo-se em 33 placas na Interseção 1, 11 na Interseção 2 e 29 na Interseção 3. Este levantamento possibilitou o cálculo do desempenho por interseção, por tipo de placas e, indiretamente, por critérios. Na Tabela 3 apresenta-se um resumo dos resultados da avaliação do caso de estudo, considerando também as placas ausentes em relação aos modelos ideais.

Tabela 3: Principais resultados da aplicação da ferramenta ao caso de estudo.

| | Interseção 1 | | Interseção 2 | | Interseção 3 | |
|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|
| | Reais | Reais+ausentes | Reais | Reais+ausentes | Reais | Reais+ausentes |
| Advertência | 83% | 78% | 0% | 0% | 76% | 76% |
| Indicação | 74% | 30% | 79% | 44% | 78% | 59% |
| Regulamentação | 79% | 50% | 83% | 30% | 78% | 28% |
| TOTAL | 87% | 52% | 56% | 26% | 77% | 53% |

Os resultados obtidos considerando as placas existentes e as ausentes demonstram que a Interseção 2 está em piores condições em relação às demais, enquanto que as Interseções 1 e 3 apresentam valores similares. Ao levar em conta apenas as placas presentes, a Interseção 2 continua com resultados inferiores às demais, sendo melhor a Interseção 1. Por categoria de placa, é possível perceber que o desempenho das existentes é similar, mas levando em conta a situação ideal fica evidente a deficiência maior das três interseções em relação às placas de indicação e regulamentação (exceto nas placas de advertência da Interseção 2, onde diretamente não existem). Estes resultados permitem priorizar as atuações por interseção e por tipo de placa, assim como planejar ações de melhoras visando o aprimoramento das placas existentes e a colocação correta de novos elementos de sinalização.

Também é possível analisar os resultados segundo os indicadores de desempenho, de forma que se observa, de maneira geral, que os critérios referentes a localização e dimensão possuem avaliações superiores aos dados referentes a legenda, estrutura e forma e cor. Neste segmento de avaliação por critério destaca-se o critério “inflexão”, do qual, nas 3 interseções avaliadas, para todos os tipos de placas, obteve-se resultados razoáveis. Já a característica referente a “diâmetro/lado” e “forma da placa” apresentaram avaliações muito boas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O setor de transportes está intimamente ligado ao progresso e o desenvolvimento de uma nação, além de estar associado à qualidade de vida, tendo em vista que o transporte exerce função social indispensável para a sociedade. No entanto, a insuficiência de investimentos em infraestrutura associado ao aumento progressivo de automóveis tem resultado em números cada vez mais

expressivos de vítimas fatais no trânsito. Nesse contexto, a sinalização inadequada ou ineficiente destaca-se entre os principais fatores contribuintes na ocorrência de acidentes.

A partir disso, o presente trabalho teve por objetivo a construção de uma ferramenta capaz de avaliar os múltiplos critérios que compõem a sinalização vertical em trechos de rodovia e mensurar o seu desempenho através do diagnóstico de suas características, fornecendo um resultado capaz de auxiliar na tomada de decisões para manutenção, implantação e conservação da sinalização viária. Com base no procedimento metodológico, foram selecionados 47 indicadores de desempenho, selecionados através de uma revisão bibliográfica nos manuais de sinalização (CONTRAN, 2007a, 2007b, 2014; DNER, 1999), subdivididos em cinco pontos de vista fundamentais que foram avaliados mediante a adaptação da técnica da Matriz de Leopold. As importâncias foram atribuídas a cada indicador através do painel de especialistas e a avaliação *in loco* determinou a magnitude de cada indicador para cada placa. Constatou-se da avaliação dos especialistas que o critério mais importante para placas de advertência e regulamentação foi “Distância de Visibilidade (Disposição Horizontal)” e para placas de Indicação o critério de maior importância foi “Conteúdo explicativo, simples e coeso”.

A ferramenta realiza a tradução das avaliações qualitativas dos indicadores definidos para as placas em escala numérica e, seguidamente, implementa a avaliação quantitativa ponderada do desempenho da interseção mediante os pesos obtidos a partir do painel de especialistas. Além disso, a modelagem proposta possibilita a análise de desempenho por placa, por interseção e por critério, permitindo a visualização completa da situação dos trechos analisados. Desta forma, é possível perceber que a análise qualitativa define as diretrizes da ferramenta enquanto a análise quantitativa valida.

Com a aplicação em um caso de estudo, foi possível gerar uma análise completa da sinalização de três interseções diferentes de uma rodovia e identificar deficiências na sinalização, resultados que podem ser de grande importância para os órgãos gestores do tráfego (públicos e privados) e auxiliar na eficiência do planejamento e execução da manutenção. Os resultados do estudo de caso indicaram que a sinalização que se encontrava em melhores condições foi da “Interseção 3” com 53% de desempenho, considerando as placas existentes e as que deveriam existir. Se for considerada apenas a sinalização existente, o melhor desempenho é visto na “Interseção 1”, com 87%, no entanto a sinalização ausente foi determinante para o pior desempenho deste trecho, resultando em 52% de desempenho.

Como futuros trabalhos, indica-se o aprimoramento da ferramenta desenvolvida para incluir a avaliação da sinalização horizontal e dispositivos auxiliares, bem como sua adaptação para a aplicação em trechos urbanos e o teste para outros casos de estudo complexos. Do mesmo modo, sugere-se a possibilidade de incorporar simulação de cenários à ferramenta, possibilitando aos gestores um ambiente onde seria possível visualizar o impacto da melhoria de determinado trecho ao realizar alterações em certos critérios e/ou placas.

Agradecimentos

Os autores agradecem a colaboração dos especialistas que participaram do painel, especialmente ao professor Dr. Daniel Sergio Presta Garcia pela ajuda prestada. Também agradecem a revisão dos avaliadores, cujas contribuições

ajudaram a melhorar o texto. A Raquel Cristina Ferreira Silva agradece à Bolsa PROBIC-FAPERGS da UFSC, e o Samuel Augusto Mota agradece à Bolsa PIVIC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo, M. R. M. de, Oliveira, J. M. de, Jesus, M. S. de, Sá, N. R. de, Santos, P. A. C. dos, e Lima, T. C. (2011) Transporte público coletivo: discutindo acessibilidade, mobilidade e qualidade de vida. *Psicologia & Sociedade*, 23(3), 574–582. doi:10.1590/S0102-71822011000300015
- Bazire, M., e Tijus, C. (2009) Understanding road signs. *Safety Science*, 47(9), 1232–1240. doi:https://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.03.013
- Branco, A. M. (1999) *Segurança rodoviária*. CI-A Cultural, São Paulo.
- Briozzo, R. A., Musetti, M. A., Briozzo, R. A., e Musetti, M. A. (2015) Método multicritério de tomada de decisão: aplicação ao caso da localização espacial de uma Unidade de Pronto Atendimento – UPA 24 h. *Gestão & Produção*, 22(4), 805–819. doi:10.1590/0104-530X975-13
- CNT, S. S. (2017) Pesquisa CNT de Rodovias 2017.
- Coelho, J. C., Freitas, J. A., e Moreira, M. E. P. (2008) Implantações semaforicas são medidas eficazes para a redução de acidentes de trânsito? O caso de Fortaleza-CE. *XXII Congresso de Pesquisa e Ensino de Transportes*, v.
- Colavite, A. S., e Konishi, F. (2015) *A matriz do transporte no Brasil: uma análise comparativa para a competitividade*. XII SEGET - Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Resende -RJ.
- CONTRAN (2007a) Sinalização Vertical de Regulamentação. Ministério das Cidades & Departamento Nacional de Trânsito (Eds), *Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito volume I* (2º ed, p. 220). Brasília.
- CONTRAN (2007b) Sinalização vertical de advertência. Ministério das Cidades & Departamento Nacional de Trânsito (Eds), *Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito volume II* (1º ed, p. 218). Brasília.
- CONTRAN (2014) Sinalização Vertical de Indicação. Ministério dos Transportes, Departamento Nacional de Trânsito (Ed), *Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito volume III*. Brasília.
- Costa, M., Simone, A., Vignali, V., Lantieri, C., Bucchi, A., e Dondi, G. (2014) Looking behavior for vertical road signs. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 23, 147–155. doi:https://doi.org/10.1016/j.trf.2014.01.003
- Costa, M., Simone, A., Vignali, V., Lantieri, C., e Palena, N. (2018) Fixation distance and fixation duration to vertical road signs. *Applied Ergonomics*, 69, 48–57. doi:10.1016/j.apergo.2017.12.017
- DENATRAN (2016) Relatório Estatístico - Frota de Veículos.
- DNER (1998) Manual de Sinalização Rodoviária (2a ed.). *Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Ministério dos Transportes. Rio de Janeiro*.
- DNER (1999) Manual de Sinalização Rodoviária - DNER. *Manual de Sinalização Rodoviária*.
- Egilmez, G., Gumus, S., e Kucukvar, M. (2015) Environmental sustainability benchmarking of the U.S. and Canada metropolises: An expert judgment-based multi-criteria decision making approach. *Cities*, 42, 31–41. doi:https://doi.org/10.1016/j.cities.2014.08.006
- Erhart, S., e Palmeira, E. M. (2006) Observatorio de la Economía Latinoamericana: Análise do Setor de Transportes. *Revista académica de economía*.
- Fancello, G., Carta, M., e Fadda, P. (2014) A Modeling Tool for Measuring the Performance of Urban Road Networks. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 111, 559–566. doi:https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.089
- Fancello, G., Carta, M., e Fadda, P. (2018) Road intersections ranking for road safety improvement: Comparative analysis of multi-criteria decision making methods. *Transport Policy*. doi:https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.04.007
- Gomes, L. F. A. M., Araya, M. C. G., e Carignano, C. (2011) *Tomada de Decisões em Cenários Complexos*. (THOMSON, Ed). São Paulo.
- Ishizaka, A., e Siraj, S. (2018) Are multi-criteria decision-making tools useful? An experimental comparative study of three methods. *European Journal of Operational Research*, 264(2), 462–471. doi:https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.05.041
- Kaplan, S., Bortei-Doku, S., e Prato, C. G. (2018) The relation between the perception of safe traffic and the comprehension of road signs in conditions of ambiguous and redundant information. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 55, 415–425. doi:https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.03.021
- Lasmar, M. T., Moraes, B. M. de, Inouye, T. I., Bacaltchuck, P. B., e Pamboukian, S. V. D. (2017) Identificação e

- Classificação de Pontos Críticos de Acidentes de Trânsito. *Revista Mackenzie de Engenharia e Computação*, 17(1), 85–100.
- Leopold, L. B., Clarke, F. E., Hanshaw, B. B., e Balsley, J. R. (1971) *A procedure for evaluating environmental impact*. Washington, D.C.
- Magalhães, R., Fonseca, F. P., Duarte, A. de L. S., e Ribeiro, P. J. G. (2017) Avaliação da conformidade de Sinais de Trânsito para melhorar a segurança rodoviária em meio urbano: uma aplicação no Centro de Guimarães, Portugal. *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 9, 346–360.
- Ministério da Saúde, B. (2016) Óbitos Causas Externas - Brasil.
- Ministério dos Transportes, B. (2012) Plano Nacional de Logística e Transportes.
- Möri, M., e Abdel-Halim, M. H. (1981) Road sign recognition and non-recognition. *Accident Analysis and Prevention*, 13(2), 101–115. doi:10.1016/0001-4575(81)90023-3
- Oliveira, F. C., e Moura, H. J. T. (2009) Uso das Metodologias de Avaliação de impacto ambiental em estudos realizados no Ceará. *Pretexto*, 10(4), 78–98. Obtido de <http://www.fumec.br/revistas/pretexto/article/view/498/493>
- PAHO. (2016) Principales causas de muerte. 2016.
- Peña, C. C. (2011) Análise da segurança viária em interseções nas rodovias de Santa Catarina.
- Randhawa, S. U., e West, T. M. (1995) An integrated approach to facility location problems. *Computers & Industrial Engineering*, 29(1), 261–265. doi:[https://doi.org/10.1016/0360-8352\(95\)00082-C](https://doi.org/10.1016/0360-8352(95)00082-C)
- Roush, F. W. (1993) Multicriteria decision-aid.: Philippe Vincke, Chichester: John Wiley, 1992, 154 pages, £29.95. *Mathematical Social Sciences*, 25(2), 204. doi:[https://doi.org/10.1016/0165-4896\(93\)90056-O](https://doi.org/10.1016/0165-4896(93)90056-O)
- Ruiz-Padillo, A., Ruiz, D. P., Torija, A. J., e Ramos-Ridao, Á. (2016) Selection of suitable alternatives to reduce the environmental impact of road traffic noise using a fuzzy multi-criteria decision model. *Environmental Impact Assessment Review*, 61, 8–18. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eiar.2016.06.003>
- Saaty, T. L., e Vargas, L. G. (2012) *Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process*. (2^o ed). New York. doi:10.1007/978-14614-3597-6
- Silva, A. L. E., e Moraes, J. A. R. (2012) Proposta de uma Matriz para Avaliação de Impactos Ambientais em uma Indústria Plástica. *Anais XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 32.
- Simões, Gomes, L. F. A. M., e Francisco, G. (2014) *Tomada de Decisão Gerencial - Enfoque Multicritério*. (5^a Ed.).
- Sobczyk, E. J., Kicki, J., Sobczyk, W., e Szuwarzyński, M. (2017) Support of mining investment choice decisions with the use of multi-criteria method. *Resources Policy*, 51, 94–99. doi:<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2016.11.012>

Samuel Baesso Müller (samuel.muller.baesso@gmail.com)

Raquel Cristina Ferreira Silva (raquelcrisfer@hotmail.com)

Samuel Augusto Mota (saugusto.mota@gmail.com)

Carmen Brum Rosa (carmenbrosa@gmail.com)

Alejandro Ruiz-Padillo (alejandro.ruiz-padillo@ufsm.br)

Laboratório de Mobilidade e Logística, Universidade Federal de Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul

Rua Ernesto Barros, 1345 – Cachoeira do Sul, RS, Brasil