

ELABORAÇÃO DE UM PROCESSO MULTICRITÉRIOS PARA APOIO À LOCALIZAÇÃO DE POSTOS DE PESAGEM EM MALHAS RODOVIÁRIAS

Lucas Franceschi
Gustavo Garcia Otto
Luciano Kaesemodel
Amir Mattar Valente

Universidade Federal de Santa Catarina
Laboratório de Transportes e Logística

RESUMO

Uma das principais responsabilidades das entidades responsáveis pela infraestrutura rodoviária é a manutenção do nível de serviço das rodovias, permitindo o bom funcionamento de sistemas logísticos. Neste contexto, é essencial agir de forma preventiva, monitorando o tráfego dos veículos pesados, principais responsáveis pelos danos prematuros ao pavimento. A localização de estações de fiscalização de peso é um problema que tipicamente considera diversos fatores quantitativos e qualitativos. Neste trabalho, realiza-se uma revisão bibliográfica em diversos contextos internacionais para identificar quais são os critérios considerados na localização de postos de pesagem nas malhas rodoviárias. Propõe-se então um processo de apoio à decisão, que consiste na normalização e agregação das diversas variáveis em um índice unificado, que permite comparar diversos trechos rodoviários em relação à viabilidade e necessidade de se implantar postos de pesagem. Um exemplo de aplicação em um cenário real do estado do Espírito Santo é apresentado.

Palavras-chave: localização, pesagem, decisão, fiscalização, critérios.

ABSTRACT

One of the main responsibilities of the entities responsible for road infrastructure is the maintenance of the service level of the highways, allowing the proper functioning of logistics systems. In this context, it is essential to act preventively by monitoring the traffic of heavy vehicles, which are mainly responsible for premature road damage. The location of weight enforcement stations is a problem that typically considers several quantitative and qualitative factors. In this work, a bibliographic review is carried out in several international contexts to identify the criteria considered in the location of weighing stations. Then, a decision support process is proposed, which consists in the normalization and aggregation of variables in an index, which allows the comparison of several road sections in relation to the feasibility and necessity of installing weighing stations. An example of application in a real scenario of the state of Espírito Santo, Brazil, is presented.

Keywords: location, weighing stations, enforcement, decision support, criteria.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país altamente dependente do bom funcionamento de seu modal rodoviário. Dados oficiais de 2018 mostram que o transporte de cargas no País ocorre mais de 61% através de rodovias (Brasil, 2018). Neste cenário, o funcionamento da economia está atrelado à boa condição das rodovias, que caso possuam defeitos podem aumentar os custos associados ao transporte das mercadorias.

No contexto de manutenção do nível de serviço das rodovias, não são necessárias somente intervenções para reparo das rodovias, mas também a sua preservação, prevenindo a degradação precoce do pavimento. Vários estudos mostram que um dos principais fatores que causam a degradação precoce das rodovias é o trânsito de caminhões com excesso de carga, prática conhecida como sobrepeso (Jacob e Feypell-de La Beaumelle, 2010). Além disso, várias pesquisas já mostraram que a fiscalização de peso em rodovias é de fato efetiva para prevenir a prática de sobrepeso (Coiro e Arriola, 2016; Han *et al.*, 2012; Jacob e Cottineau, 2016). Um estudo no cenário brasileiro também identificou que a falta da fiscalização de peso pode aumentar os custos de manutenção das rodovias em mais de 30% (Otto *et al.*, 2019).

Desta forma, verifica-se que a fiscalização de peso nas rodovias é essencial para a manutenção do nível de serviço do sistema rodoviário com custos controlados, que por sua vez é essencial para manter o bom funcionamento dos diversos sistemas logísticos no País. No entanto, os custos associados à instalação de postos de pesagem em rodovias fazem com que não seja viável instalar um número elevado de postos de pesagem, o que gera um problema de essencial importância para o funcionamento do sistema de fiscalização: em quais trechos do sistema rodoviário devem ser instalados os postos de pesagem, para que a fiscalização seja mais efetiva?

Este problema vem sendo abordado internacionalmente de diversas formas. No Brasil, o Plano Diretor Nacional Estratégico de Pesagem (PDNEP) foi um plano que realizou a localização de postos de pesagem na malha rodoviária Brasileira (Brasil, 2006). Neste estudo, foram realizadas análises de mapas rodoviários com a representação dos fluxos por trecho das rodovias. Os mapas foram analisados em contextos estaduais, regionais e nacionais para realizar a distribuição dos postos de pesagem, cujas localizações foram escolhidas de forma manual. Com o crescimento da disponibilidade das informações geográficas, no entanto, e de softwares para visualização e tratamento destas informações, é possível que o processo de localização dos postos de pesagem incorpore mais informações que também são relevantes.

Motivado pelo problema de localização de postos de pesagem e pela ampla disponibilidade de informações geográficas relevantes, este trabalho tem o objetivo de investigar, na literatura internacional, quais os principais critérios considerados nessa decisão, e propor uma técnica relevante para o cenário brasileiro. Em sequência, com base em uma seleção de variáveis obtidas dos estudos citados, um processo de decisão multicritérios é proposto para auxiliar na localização de postos de pesagem. Após isso, também se apresenta um exemplo de aplicação prática no qual é possível observar os resultados do processo proposto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para obter informações a respeito de como a localização de postos de pesagem é realizada em outros países, foram realizadas pesquisas em bases de conhecimento públicas e em sites de autoridades de transporte internacionais. Com isso se buscou identificar quais os principais critérios tomados como relevantes para a decisão. Além disso, também foram buscados métodos para localização automatizada de postos de pesagem em malhas rodoviárias.

Na França, que é um país que se localiza em meio a um continente com alta circulação internacional de mercadorias, identifica-se que os principais fluxos nas rodovias francesas são fluxos de passagem, com origem e destino em outros países europeus. Desta forma, os postos de pesagem são localizados próximos às fronteiras do país e em corredores logísticos de longa distância (Dolcemasclo *et al.*, 2016). No Uruguai, país que atua como centro logístico da região Sul da América do Sul, a localização dos postos de pesagem é realizada próxima aos principais portos do país, com o objetivo de interceptar o trânsito de carga internacional originário desses pontos (Coiro e Arriola, 2016)

Para os casos em que se deseja utilizar a pesagem em movimento em alta velocidade, *High Speed Weigh-in-Motion* (HS-WIM), a qualidade da superfície do pavimento também é tomada como um importante critério para a seleção dos trechos para localização de postos de pesagem (O'Brien e JEhaes, 2002). Além disso, outro critério importante é a disponibilidade de infraestrutura de apoio (redes elétricas e de telecomunicação) na região de instalação do posto (Marchadour e Jacob, 2008).

No estado do Kentucky, nos Estados Unidos da América, autoridades de planejamento de transportes indicam que, para o propósito de planejamento de infraestrutura (e não para fiscalização de peso), os postos de pesagem WIM devem ser localizados em regiões em que exista uma escassez de dados disponíveis. Para a perspectiva de fiscalização, no entanto, se aponta como prioridade a interceptação de rotas de fuga de fiscalização, de corredores logísticos e de trechos com maiores taxas de problema de segurança viária. O mesmo estudo também aponta que faz pouco sentido instalar equipamentos WIM em trechos com previsão para execução de obras, uma vez que obras de recuperação de superfície, por exemplo, podem inutilizar os sensores WIM (Martin *et al.*, 2014).

No estado de Montana, no mesmo país, a abordagem adotada é de priorizar trechos de rodovia mais danificados. Também nesse estado, oficiais estimam uma redução anual de custos de manutenção de \$700.000 (setecentos mil dólares) diante da fiscalização de peso (Marković *et al.*, 2015).

Na maioria dos estudos citados até agora, os critérios de decisão são mencionados, porém o processo de decisão em si não é devidamente estruturado, sendo as localizações selecionadas por especialistas através da análise dos critérios. Foi dessa forma também que foram selecionadas as localizações para os postos de pesagem no Brasil em 2006 (Brasil, 2006). Existe ainda uma outra linha de pesquisa, neste mesmo cenário, a respeito de métodos matemáticos de pesquisa operacional para localização de postos de pesagem em malhas rodoviárias.

Na Arábia Saudita, um estudo utiliza modelos de captura de fluxo para resolver um problema matemático de otimização, com a finalidade de localizar a distribuição ótima de postos de pesagem na rede rodoviária deste país (AlGadhi, 2002). Nesse estudo, o critério adotado é a maximização do número total de veículos interceptados pela fiscalização.

No Irã, estudos a respeito do mesmo problema resultam em um modelo de localização de postos de pesagem com o objetivo de aumentar a eficiência dos postos de fiscalização (Mahmoudabadi e Seyedhosseini, 2013). Nesse caso, o objetivo principal é maximizar o número de veículos capturados, porém minimizando o número de veículos capturados mais de uma vez na mesma viagem, o que otimiza a eficiência do sistema. Esta estrutura é condizente com o problema matemáticos de captura de fluxos, propostos por Hodgson (1990), através do qual é possível formular e resolver esse tipo de problemas através de algoritmos de otimização.

A respeito da consideração de rotas de fuga, existem vários estudos que mostram que os veículos possuem uma tendência de circular em rotas e horários nos quais não serão fiscalizados, uma vez que isso permite manter os lucros associados ao trânsito com sobrepeso (B. H. Cottrell, 1992; Cunagin *et al.*, 1997; Strathman e Theisen, 2002). Com isso, é importante que a localização dos postos de pesagem seja feita em locais que não apresentem rotas pelas quais os veículos possam evadir da fiscalização. De forma aproximada, uma maneira de atender este requisito é não instalando postos de fiscalização próximos de centros urbanos, nos quais existem uma maior quantidade de estradas locais e ruas urbanas que podem ser utilizadas para desviar dos postos de pesagem. Este problema já vem sendo resolvido na literatura através da otimização matemática com modelagem dos fluxos evasivos (Arslan *et al.*, 2018; Hooshmand e MirHassani, 2018; Lu *et al.*, 2018; Marković *et al.*, 2015, 2017), porém um problema deste tipo de abordagem é que a solução matemática depende da correta modelagem de todas as rodovias do sistema em um grafo e da correta definição de fluxos através de matrizes Origem-Destino, dados que podem ser de difícil aquisição para alguns cenários. Além disso, estes

problemas tratam apenas da captura dos fluxos, porém não consideram outros critérios que são levantados pela literatura como importantes para a localização de postos de pesagem.

Um trabalho na Tailândia realizou a localização de postos de pesagem através de um processo analítico multicritérios (Ammarapala *et al.*, 2013). Neste caso, os autores utilizaram a técnica de Processo Hierárquico Analítico (AHP) considerando os seguintes fatores: volume de veículos pesados; volume médio diário de tráfego; proximidade com postos de pesagem existentes e localização em polos industriais e de agricultura. Neste caso, os autores atribuíram uma pontuação para cada trecho em análise de acordo com uma análise das variáveis.

3. PROCESSO DE DECISÃO MULTICRITÉRIOS

A partir da observação dos métodos e critérios utilizados em diversos contextos para a decisão da localização de postos de pesagem, se propõe um processo estruturado de decisão. Nesse processo, serão considerados vários critérios das rodovias, escolhidos com base nos trabalhos analisados anteriormente. Os critérios considerados serão normalizados, para que se possa realizar uma comparação matemática entre os valores. Os critérios normalizados são então agregados através de um somatório com escolha de pesos individuais, para resultar em um valor que classifica os trechos rodoviários em relação ao potencial de fiscalização de peso no trecho. Este valor é denominado índice de viabilidade de fiscalização de peso, IVFP.

3.1. Critérios considerados

A primeira etapa do desenvolvimento do processo de decisão é a escolha dos critérios que serão considerados. Nesta etapa, buscou-se agregar as variáveis mencionadas na pesquisa realizada com critérios adotados no PDNEP, além de agregar dados que estão disponíveis em bases de dados geográficos e que podem auxiliar na decisão. Como um resultado desse processo, chegou-se a uma lista de critérios a serem considerados, apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Lista de critérios considerados no processo de decisão proposto.

Critério	Descrição	Simbologia	Unidade
Volume diário médio de veículos pesados	Volume médio de veículos pesados que trafegam no trecho em um dia.	$V_{MDA,p}$	Veículos pesados / dia
Qualidade do pavimento	Medido pelo Índice de Irregularidade Internacional, <i>International Roughness Index</i> (IRI) de cada trecho.	IRI	-
Histórico de sobrepeso	Representa o percentual médio observado de veículos com sobrepeso na região em que o segmento está localizado.	p	- (<i>Percentual em valor decimal</i>)
Proximidade de locais estratégicos	Mede a proximidade do segmento rodoviário a locais estratégicos para o planejador, como portos, aeroportos ou fronteiras.	D_{LE}	Quilômetros
Proximidade de postos inativos	Distância do trecho até um posto de pesagem inativo na mesma rodovia, cuja estrutura poderia ser reutilizada.	D_{PI}	Quilômetros
Proximidade de postos ativos	Distância do trecho até um posto de pesagem em operação na mesma rodovia.	D_{PA}	Quilômetros

Geometria da via	Medida da sinuosidade do segmento rodoviário. Obtida através da soma dos ângulos de desvio de todas as curvas do segmento, dividida pela extensão.	<i>G</i>	Graus(°)/km
Média de acidentes	Média anual de acidentes registrados no segmento.	<i>A</i>	Acidentes
Situação em unidades de conservação	Observa se o segmento se situa em uma unidade de conservação ambiental.	-	- (<i>Binário</i>)
Situação em áreas especiais	Observa se o segmento se situa em uma área de proteção especial, como reservas indígenas ou áreas quilombolas.	-	- (<i>Binário</i>)
Situação em áreas urbanas	Verifica se o trecho está situado em uma área edificada.	-	- (<i>Binário</i>)
Rodovia em concessão	Observa se a rodovia está sob regime de concessão.	-	- (<i>Binário</i>)
Previsão de obras	Identifica se existem previsões de obras para o trecho no futuro.	-	- (<i>Binário</i>)

Alguns critérios considerados são binários, ou seja, não se tratam de uma avaliação quantitativa de alguma característica do trecho, mas sim uma constatação de alguma condição específica, que determina se o valor da variável é unitário ou nulo.

As condições verificadas para as variáveis binárias são as seguintes:

- Situação em unidades de conservação: adota valor unitário caso mais de 50% do trecho rodoviário se situe dentro de uma área de conservação ambiental.
- Situação em áreas especiais: adota valor unitário caso mais de 50% do trecho se situe dentro de área indígena, quilombola ou de assentamento rural.
- Situação em áreas urbanas: adota valor unitário caso mais de 50% do trecho se situe em área edificada.
- Rodovia em concessão: adota valor unitário caso a rodovia se encontre atualmente em regime de concessão.
- Previsão de obras: adota valor unitário caso existam previsões de obras a serem realizadas no trecho rodoviário.

3.2. Normalização dos critérios

Para permitir a comparação aritmética da importância de cada fator na localização de postos de pesagem nos trechos rodoviários, é necessário realizar transformações com o objetivo de normalizar os valores considerados, isto é, transformar os valores de entrada dos critérios considerados (nas unidades em que estão disponíveis) em uma unidade unificada de pontuação. Para realizar esta normalização, são utilizadas equações não-lineares criadas com o objetivo de expressar o impacto de cada variável na importância e viabilidade de realizar a fiscalização de peso no trecho. A elaboração das equações de normalização foi realizada através da análise de dados de exemplo. O domínio dos valores reais medidos para cada variável foi analisado e o formato da curva que representa o crescimento da importância de cada variável para a localização de postos de pesagem, em função dos valores que a variável pode assumir, foi proposto.

A normalização é realizada de forma não-linear por se entender que, em vários casos, uma relação linear não é adequada. Por exemplo, o acréscimo em importância para a fiscalização com a variação do volume diário de veículos pesados de 100 para 600 veículos, deve ser maior que o acréscimo de 2000 para 2500, uma vez que no primeiro caso se trata da comparação entre um trecho com um volume baixo de veículos pesados e um trecho com um volume mais considerável, e no segundo caso se trata de dois trechos que já possuem volumes suficientemente grandes para justificar a fiscalização de peso, e o acréscimo não deve aumentar tanto a importância do trecho. As equações de normalização adotadas para as variáveis contínuas estão expressas na Tabela 2. As bases de cálculo para as variáveis binárias apresentadas anteriormente são denominadas B_{CA} , B_{AE} , B_{AU} , B_C e B_{PO} , respectivamente.

Tabela 2: Bases de cálculo para normalização das variáveis contínuas.

Critério	Equação da base de cálculo
Volume diário médio de veículos pesados	$B_V = \frac{(V_{MDA,p})^{\frac{1}{4}}}{5} \quad (1)$
Qualidade do pavimento	$B_{QP} = (2,96 - IRI) \times 0,6 \quad (2)$
Histórico de sobrepeso	$B_{HS} = P \times 3 \quad (3)$
Proximidade de locais estratégicos	$B_{PLE} = \max\left(\left(1 - \frac{D_{LA}}{50}\right) \times 1,5, \quad 0\right) \quad (4)$
Proximidade de postos inativos	$B_{PPI} = \max\left(\left(1 - \frac{D_{PI}}{50}\right)^3 \times 1,5, \quad 0\right) \quad (5)$
Proximidade de postos ativos	$B_{PPA} = \max\left(\left(1 - \frac{D_{PA}}{100}\right)^3 \times 3, \quad 0\right) \quad (6)$
Geometria da via	$B_{GV} = \frac{\sqrt{G}}{15} \quad (7)$
Média de acidentes	$B_{MA} = A \times 0,03 \quad (8)$

3.3. Cálculo do Índice de Viabilidade de Fiscalização de Peso (IVFP)

Os valores calculados para as bases de cálculo normalizadas são agregados em um valor chamado de índice de viabilidade de fiscalização de peso (IVFP), calculado através de um somatório com pesos configurados para cada variável. A escolha dos valores para os pesos de cada variável deve ser realizada pelo tomador de decisão no contexto de cada estudo, em que o impacto das variáveis e a sua relativa importância podem variar de acordo com o contexto. Os valores dos pesos são determinados entre -2 e 2, podendo para as variáveis binárias adotar um valor igual a -100, o que na prática garante que os trechos na respectiva condição possuam IVFP igual a zero. Assim, tendo-se configurado os pesos P_i para cada base de cálculo B_i , calcula-se o IVFP da seguinte forma:

$$IVFP = \max\left(\sum_i B_i \times P_i, \quad 0\right) \quad (9)$$

4. APLICAÇÃO PRÁTICA

Uma aplicação da técnica proposta foi realizada para o estado do Espírito Santo, em que foram obtidos dados em bases de dados públicas a respeito dos critérios levantados. Os pesos para cada critério considerado foram atribuídos de forma estimada, de acordo com a importância dada para cada critério na aplicação de exemplo. Em outras aplicações da técnica aqui proposta, os pesos podem ser atribuídos pelo analista que está realizando o estudo; idealmente o próprio responsável pela localização dos postos de pesagem, que pode personalizar o peso dos critérios de acordo com sua compreensão. Os pesos adotados na aplicação de exemplo estão expostos na Tabela 3.

Tabela 3: Pesos adotados para a aplicação de exemplo

Critério	Peso adotado
Volume diário médio de veículos pesados	$P_V = 1,00$
Qualidade do pavimento	$P_{QP} = 0,27$
Histórico de sobrepeso	$P_{HS} = 0,00$
Proximidade de locais estratégicos	$P_{PLE} = 0,24$
Proximidade de postos inativos	$P_{PPI} = 1,00$
Proximidade de postos ativos	$P_{PPA} = -1,00$
Geometria da via	$P_{GV} = 0,24$
Média de acidentes	$P_{MA} = 1,00$
Situação em unidades de conservação	$P_{CA} = -0,80$
Situação em áreas especiais	$P_{AE} = -0,40$
Situação em áreas urbanas	$P_{AU} = -0,30$
Rodovia em concessão	$P_C = -100,00$
Previsão de obras	$P_{PO} = -100,00$

O cálculo do IVFP para cada trecho resultou em valores entre 0 e 4,77. Em outros contextos, a amplitude dos valores deve variar de acordo com a escolha dos pesos. Um histograma dos valores resultantes pode ser visualizado na Figura 1.

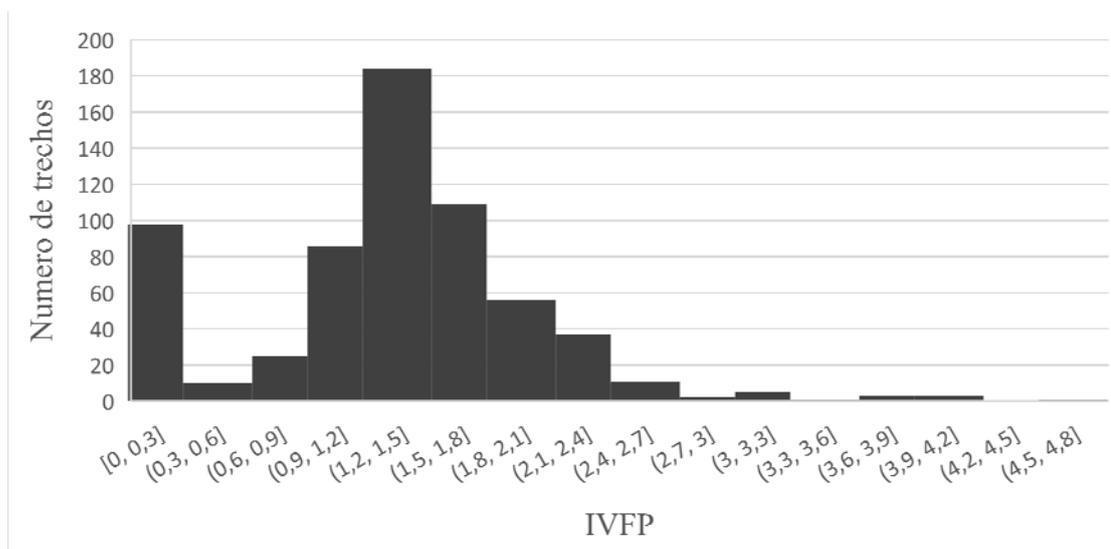


Figura 1: Histograma dos valores encontrados para o IVFP

Através do histograma, percebe-se a presença de trechos que foram categoricamente excluídos da análise (fator IVFP igual a zero) devido a condições binárias excludentes, ou devido à contribuição conjunta de variáveis com impacto negativo.

Um mapa dos trechos rodoviários com indicação dos valores de IVFP para cada trecho pode ser encontrado na Figura 2. Nesta figura, pode-se perceber a existência de corredores logísticos na direção Leste-Oeste, com maior potencial para fiscalização na região central do estado, porém alguns trechos nesses corredores possuem pontuação maior que outros, devido à variedade de fatores considerados além do volume de tráfego. Se observa também, na região sul do estado, uma concentração de trechos com pontuações um pouco maiores que o entorno, o que se deve à existência de um polo industrial na região.

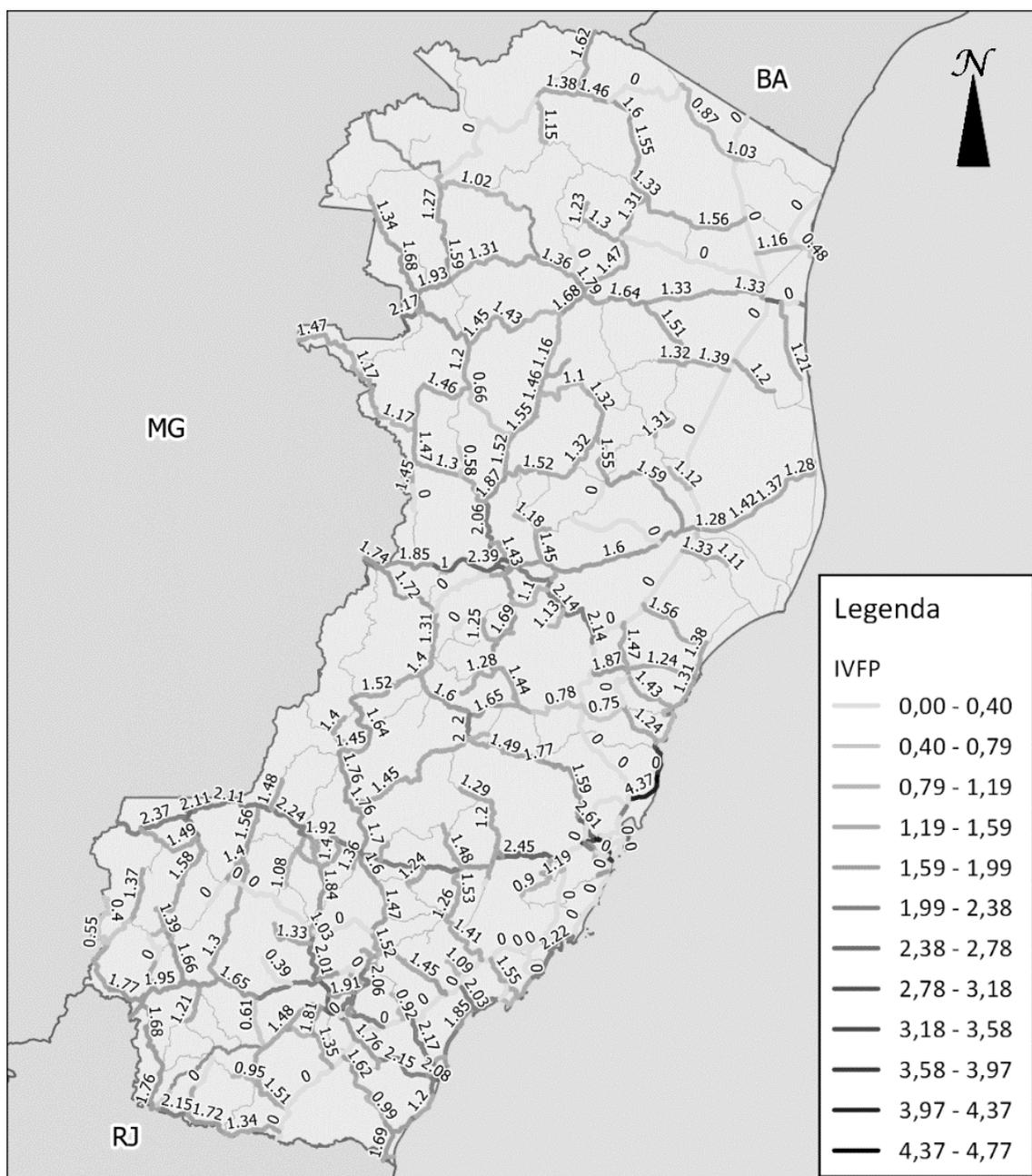


Figura 2: Mapa temático do estado do ES com indicação do IVFP de cada trecho

No mesmo estado, um corredor logístico de altos volumes também existe na direção Norte-Sul, em paralelo ao litoral do estado. Se trata da BR-101, que de fato possui grandes volumes, porém esta região encontra-se em regime de concessão. Dada a característica excludente atribuída ao critério “Rodovia em concessão”, a pontuação desse corredor manteve-se nula.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho objetivou realizar um levantamento bibliográfico dos critérios e variáveis utilizadas ao redor do mundo para realizar a localização de postos de pesagem em malhas rodoviárias e propor um método de análise multicritérios para apoio à decisão. Através do esforço realizado, foi possível identificar uma lista de fatores considerados em contextos nacionais e internacionais. Além do levantamento de critérios internacionais, também se revisou metodologias nacionais para propor uma lista de critérios a serem levados em consideração.

Após levantar a lista de critérios, prescreveu-se um processo analítico multicritérios de apoio à tomada de decisão, que agrega diversas informações pertinentes ao problema para chegar a uma métrica unificada. A técnica é flexível em relação à determinação dos pesos de cada variável, que pode ser realizada de forma particular para cada estudo. A técnica proposta foi em seguida aplicada em um cenário real do estado do Espírito Santo, demonstrando a aplicação e os resultados encontrados através do processo proposto.

A partir do processo proposto neste trabalho, é possível priorizar de forma analítica os estudos em relação à localização de postos de pesagem em malhas rodoviárias, de acordo com uma consideração simultânea de diversas variáveis. A estrutura do processo também permite que sejam acrescentados novos critérios de decisão, caso haja essa necessidade. Mesmo que a pesquisa bibliográfica inicial tenha sido orientada para a localização de postos de pesagem, o processo proposto e as variáveis consideradas não são exclusivas para esse contexto, podendo ser utilizados na localização de outras instalações de fiscalização, por exemplo.

Agradecimentos

Os autores são gratos pelo apoio financeiro do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), cujo interesse no assunto motivou a realização deste estudo. Os autores também agradecem à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) por viabilizar essa pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AlGadhi, S. A. H. (2002) Optimizing Truck Weigh Stations' Locations on the Highway Network of Saudi Arabia. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 14(2), 147–163. doi:[https://doi.org/10.1016/S1018-3639\(18\)30750-5](https://doi.org/10.1016/S1018-3639(18)30750-5)
- Ammarapala, V., Chinda, T., Udomworarat, P., Rongwiriyanich, T., Khampanit, A., Suanmali, S., e Samphanwattanachai, B. (2013) Selection of weigh station locations in Thailand using the analytic hierarchy process. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 35(1), 81–90.
- Arslan, O., Jabali, O., e Laporte, G. (2018) Exact Solution of the Evasive Flow Capturing Problem. *Operations Research*, 66(6), 1625–1640. doi:10.1287/opre.2018.1756
- B. H. Cottrell, J. (1992) *The Avoidance of Weigh Stations in Virginia by Overweight Trucks*. Charlottesville. Obtido de http://www.virginiadot.org/vtrc/main/online_reports/pdf/93-r2.pdf
- Brasil. (2006) *Localização dos postos de pesagem veicular do plano diretor nacional estratégico de pesagem*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Brasília.
- Brasil. (2018) *Boletim Estatístico*. (Vol. 2016). Confederação Nacional dos Transportes, Brasília. Obtido de [http://cms.cnt.org.br/Imagens/CNT/BOLETIM ESTATÍSTICO/BOLETIM ESTATÍSTICO 2018/Boletim Estatístico - 08 - 2018.pdf](http://cms.cnt.org.br/Imagens/CNT/BOLETIM%20ESTATÍSTICO/BOLETIM%20ESTATÍSTICO%202018/Boletim%20Estatístico%20-%2008%20-%202018.pdf)
- Coiro, D., e Arriola, M. (2016) Implementation and economic benefit of a wim enforcement system. *Proceedings of the International Conference on Weigh-in-motion* (p. 226–240).

- Cunagin, W., Mickler, W. A., e Wright, C. (1997) Evasion of Weight-Enforcement Stations by Trucks. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1570(1), 181–190. doi:10.3141/1570-21
- Dolcemascolo, V., Fernandez, J., Jacob, B., e Klein, E. (2016) French policy to prevent overloading. B. Jacob & F. Schmidt (Eds), *Proceedings of the International Conference on Weigh-In-Motion* (p. 206–214). International Society for Weigh-In-Motion.
- Han, L. D., Ko, S.-S., Gu, Z., e Jeong, M. K. (2012) Adaptive weigh-in-motion algorithms for truck weight enforcement. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 24, 256–269. doi:https://doi.org/10.1016/j.trc.2012.01.010
- Hodgson, M. J. (1990) A Flow-Capturing Location-Allocation Model. *Geographical Analysis*, 22(3), 270–279. doi:10.1111/j.1538-4632.1990.tb00210.x
- Hooshmand, F., e MirHassani, S. A. (2018) An Effective Bilevel Programming Approach for the Evasive Flow Capturing Location Problem. *Networks and Spatial Economics*. doi:10.1007/s11067-018-9415-0
- Jacob, B., e Cottineau, L.-M. (2016) Weigh-in-motion for Direct Enforcement of Overloaded Commercial Vehicles. *Transportation Research Procedia*, 14, 1413–1422. doi:https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.214
- Jacob, B., e Feypell-de La Beaumelle, V. (2010) Improving truck safety: Potential of weigh-in-motion technology. *IATSS Research*, 34(1), 9–15. doi:10.1016/j.iatssr.2010.06.003
- Lu, C.-C., Yan, S., Ko, H.-C., e Chen, H.-J. (2018) A Bilevel Model With a Solution Algorithm for Locating Weigh-In-Motion Stations. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 19(2), 380–389. doi:10.1109/TITS.2017.2696046
- Mahmoudabadi, A., e Seyedhosseini, S. M. (2013) Improving the efficiency of weigh in motion systems through optimized allocating truck checking oriented procedure. *IATSS Research*, 36(2), 123–128. doi:https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2012.08.002
- Marchadour, Y., e Jacob, B. (2008) Development and implementation of a wim network for enforcement in france. *Proceedings of the International Conference on Weigh-In-Motion* (p. 266–274). International Society for Weigh-In-Motion.
- Marković, N., Ryzhov, I. O., e Schonfeld, P. (2015) Evasive flow capture: Optimal location of weigh-in-motion systems, tollbooths, and security checkpoints. *Networks*, 65(1), 22–42. doi:10.1002/net.21581
- Marković, N., Ryzhov, I. O., e Schonfeld, P. (2017) Evasive flow capture: A multi-period stochastic facility location problem with independent demand. *European Journal of Operational Research*, 257(2), 687–703. doi:10.1016/j.ejor.2016.08.020
- Martin, A., Keathley, V. J., Kissick, J. J., e Walton, J. R. (2014) *Coordinating the Use and Location of Weigh-In-Motion Technology for Kentucky*. Lexington. Obtido de https://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com/&httpsredir=1&article=2422&context=ktc_researchreports
- O'Brien, E., e JEhaes, S. (2002) *COST 323: Weight-in-Motion of Road Vehicles, Final Report*.
- Otto, G. G., Franceschi, L., Dellaroza, L. F. G., Tani, V. Z., e Valente, A. M. (2019) Impacts of the Lack of Weight Enforcement on Maintenance Costs of the Brazilian Roadway Network. *Proceedings of the 8th International Conference on Weigh-In-Motion*.
- Strathman, J. G., e Theisen, G. (2002) *Weight enforcement and evasion: Oregon case study*.