

Apoio à decisão na prevenção de acidentes de trânsito: uma aplicação dos métodos AHP e PROMETHEE

**JOÃO VICENTE PEREIRA,
RÔMULO DE MEDEIROS PALMEIRA e
ANA CARLA B. REIS.**

Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada - UNB
(e-mail: {joao.vicentep, romulopalmeira}@gmail.com, anacarlabr@unb.br)
Autor Correspondente: João Vicente Pereira(e-mail: joao.vicentep@gmail.com).

• **RESUMO** - Uma das maiores causas de mortes no mundo é provocada por acidentes de trânsito envolvendo veículos e pedestres. Este artigo apresenta uma aplicação da metodologia multicritério para ordenação das Regiões Administrativas do Distrito Federal-DF, no Brasil, considerando os acidentes de trânsito com mortes e feridos. Identificou-se a variável natureza do acidente para criação dos critérios, tipo de acidente para subcritérios e a regiões administrativas (cidades) para alternativas. Aplicou-se os métodos AHP e PROMETHEE aos dados do Anuário Estatístico do DETRAN-DF de 2016. Os resultados obtidos foram comparados com a Unidade Padrão de Severidade (UPS), que é a medida utilizada pela maioria dos Detrans do país, indicando possibilidade de aperfeiçoamento nos critérios adotados pelos decisores para definição de estratégias, ações e medidas para melhoria da segurança no trânsito.

• **PALAVRAS-CHAVE** - Análise Multicritério, Apoio à Decisão, Acidentes de trânsito, AHP e PROMETHEE

I. INTRODUÇÃO

Segundo dados da Organização Mundial de Saúde (OMS) [1], cerca de 1,25 milhão de pessoas morrem por ano vítimas de acidentes de trânsito nas estradas, sendo considerada a maior causa mundial de mortes. Grande parte dos óbitos vem acontecendo nos países emergentes, por causa do elevado crescimento econômico, do aumento nos níveis de urbanização e da elevação no número de veículos automotores. Estima-se uma perda de 3% do PIB das economias em desenvolvimento, provocada pelos acidentes rodoviários.

A OMS estima para o Brasil 47 mil mortes por ano provocadas por acidentes rodoviários, o que representa aproximadamente uma taxa de 23,4 mortes para cada 100 mil pessoas. Mais de 80% das vítimas são do sexo masculino e calcula-se uma perda de 1,2% do PIB brasileiro provocada pelas colisões nas estradas. Em relação às categorias de usuários rodoviários, o maior contingente de mortes ocorre com condutores de veículos com 2 rodas (28%), seguido pelos pedestres com 20% e passageiros com veículos de 4 rodas.

Dados preliminares do Sistema Único de Saúde (SUS) [2] mostram que em 2016 ocorreram 35,7 mil óbitos por acidentes de transporte no Brasil e as regiões com maiores

registros foram Nordeste (11,2 mil óbitos), Sudeste (10,9 mil óbitos) e Sul com 6 mil registros. A região Centro-Oeste registrou 3,9 mil óbitos, ficando em 4º lugar, com os maiores registros observados nos estados de Goiás e Mato Grosso.

O Distrito Federal (DF), capital do Brasil localizada na região centro-oeste, possuía em 2016 uma frota de veículos de 1,6 milhão e registrou cerca de 9 mil acidentes com vítimas de trânsito, com 363 mortes. A taxa de acidentes com vítima por 10 mil veículos foi de 53 e a média de acidentes com vítima foi de 24,1 por dia. Os principais tipos de acidentes com mortes ocorreram por colisão, atropelamento de pedestres, choque com objeto fixo e capotamento/tombamento. Esses dados e outras informações estão no Anuário Estatístico de Acidentes de Trânsito [3], elaborado pelo Detran com a participação de vários órgãos do Governo do DF como Secretarias de Segurança Pública e de Saúde, Polícias Civil e Militar e Corpo de Bombeiros, que alimentam o Sistema de Informações de Acidentes de Trânsito (SAT), cujo objetivo é subsidiar o planejamento, o desenvolvimento e a avaliação das ações voltadas à redução de acidentes de trânsito.

Um importante indicador de análise dos usuários do SAT é a Unidade Padrão de Severidade (UPS), definida pelo Departamento Nacional de Trânsito [4] com base no número de

acidentes, classificados em três níveis conforme a gravidade: sem vítima, com ferido e com morte. Em virtude da baixa qualidade dos registros de acidentes sem vítima, o DETRAN-DF adota apenas o número de acidentes com ferido e com morte como critérios para o cálculo do indicador, chamando de UPS modificada (UPSm). Ela é utilizada para ordenação das vias do DF, apontando os locais onde ocorrem os acidentes com maior severidade e servindo de informação relevante para apoiar e melhorar o processo de tomada de decisão relativas às políticas, estratégias, ações e medidas que proporcionem um trânsito mais seguro.

Diante deste contexto, o objetivo deste estudo é apresentar proposta de aperfeiçoamento do cálculo do indicador UPSm do DETRAN-DF, por meio da metodologia de Análise de Decisão Multicritério (MCDA) e da aplicação dos métodos *Analytic Hierarchy Process (AHP)* e *Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE)*, que levem em consideração outros critérios além do número de acidentes, visando assim melhorar a qualidade das informações utilizadas pelos órgãos de trânsito, como por exemplo DENATRAN, Secretarias de Saúde e de Segurança do DF, Polícias Civil e Militar, Corpo de Bombeiros e comunidade em geral.

Para cumprir o objetivo proposto, este artigo apresenta na seção 2 a revisão da literatura sobre o assunto, o processo MCDA e os métodos AHP e PROMETHEE aplicados a situações ou estudos de casos próximos ao tema de acidentes de trânsito. Na seção 3 é descrita a metodologia empregada para resolver o problema de decisão. Na seção 4 são apresentados os resultados da aplicação dos métodos AHP e PROMETHEE nos dados de acidentes de trânsito ocorridos nas regiões administrativas (cidades) do DF. Na seção 5 é realizada avaliação crítica dos métodos adotados e finalmente na seção 6 tem a conclusão com propostas de utilização dos métodos avaliados e sugestão de trabalhos futuros.

II. REVISÃO DE LITERATURA

A. ESTUDOS RELACIONADOS AO PROBLEMA DE ACIDENTES DE TRÂNSITO

Nesta parte da pesquisa bibliográfica, buscou-se identificar os principais estudos relacionados a trânsito de veículos, priorizando conteúdos publicados nos últimos dez anos envolvendo acidentes, segurança, estatísticas e informações correlatas ao problema estudado. A seguir são resumidos os resultados encontrados:

- Novoa et al. [5] realizaram estudo sobre a efetividade dos pacotes de medida de segurança rodoviária, tendo como população as pessoas feridas em acidentes rodoviários na Espanha, no período de 2000 a 2006. Foi utilizado modelo de regressão de séries temporais Quasi-Poisson com o número de pessoas feridas sendo a variável dependente e a intervenção política com medidas de segurança como variável explicativa. A conclusão foi de que a priorização da segurança rodoviária reduz o número de pessoas feridas em colisões de trânsito;
- Hu et al. [6] compararam duas bases de dados sobre taxas de mortalidade no trânsito da China, originadas de relatórios policiais e registros de óbitos, no período de 2002 a 2007. Para comparação, foi utilizada técnica estatística como o teste Qui-quadrado e o modelo de regressão linear para verificar a tendência da mortalidade ao longo do período. A taxa de mortalidade obtida dos registros de óbitos foi duas vezes maior que a taxa informada nos relatórios policiais, e a regressão baseada em fontes policiais mostrou uma redução de 27% na taxa de mortalidade e pouca mudança no modelo baseado nos registros de óbitos, indicando assim que a qualidade dos dados policiais precisa ser investigada, monitorada e aperfeiçoada;
- Chen et al. [7] apresentaram uma estrutura hierárquica do Índice de Risco de Segurança (RSRI), baseada em fatores humanos, do veículo, de estrada, do meio ambiente, de gerenciamento, risco pessoal e risco de tráfego, para a avaliação do desempenho da segurança rodoviária em um conjunto de províncias da China. A metodologia empregada foi a entropia melhorada TOPSIS, caracterizada por ser uma técnica indicada para problemas envolvendo preferência de ordens por semelhança e bastante conhecida como um dos métodos clássicos multicritérios de tomada de decisão (MCDM);
- Staton et al. [8] avaliaram dados sobre acidentes rodoviários em Ruanda e no Sri-Lanka, por meio de pesquisas com os usuários das estradas, como alternativa aos registros policiais, buscando um mapeamento mais preciso dos locais perigosos, isto é, com alta densidade de ocorrências de colisões. Os métodos empregados foram comparação entre os dados da polícia e dos usuários pesquisados e a análise espacial utilizando sistemas de informação geográfica para mapear os pontos críticos de tráfego. Os resultados apontaram para a possibilidade de uso das pesquisas, por ser uma alternativa viável, barata e rápida em relação aos dados policiais;
- Paixão et al. [9] analisaram a contribuição de três diferentes fontes de informações na descrição de acidentes de trânsito em Belo Horizonte, utilizando estatísticas como proporções, coeficientes e medidas de associação dos dados coletados nos Sistemas de Informação da Empresa de Transportes e Trânsito, de Internações Hospitalares e Mortalidade. Os autores verificaram problemas no preenchimento das informações, porém identificaram os principais fatores associados aos acidentes: os pedestres idosos, motociclistas, o uso de álcool e excesso de velocidade;
- Chen et al. [10] identificaram os principais fatores que afetam duas categorias de colisões ou batidas existentes na China: acidente de trânsito grave ou acidente de trânsito muito grave, de acordo o número de mortes, quantidade de pessoas feridas e o custo total, compreendendo dados do período de 2007 a 2014. Cinco fatores de risco foram identificados como significativos para avaliação de impacto das colisões: localização, alinhamento, velocidade, condição da estrada e condição do veículo.

mento vertical, classificação de segurança na estrada, distração do motorista e excesso de carga no veículo. Os autores sugerem algumas recomendações para diminuir os acidentes como a melhoria da manutenção de semáforos e da iluminação das ruas, maior fiscalização dos agentes de trânsito e aperfeiçoamento da sinalização e dos controles de tráfego;

- Hasan e Asad [11] avaliaram a literatura sobre os acidentes de trânsito no Iraque no período de 2005 a 2015, pesquisando estatísticas oficiais, estudos de acidentes de trânsito e políticas atuais de segurança rodoviária e leis de trânsito. O resultado revelou vários pontos importantes em aspectos como características de colisão, ocorrência, gravidade e medidas. Os resultados também podem contribuir nos estudos sobre segurança rodoviária em países em desenvolvimento e nas ações governamentais e não-governamentais para redução no número de vítimas de acidentes de trânsito. Outra conclusão importante são os principais fatores que contribuem para os acidentes, como os perfis dos usuários das estradas, a situação das estradas, as condições do tempo, o estado dos veículos e as características das colisões, como por exemplo localização, dia e horário dos acidentes;
- Boulieri et al. [12] analisaram as dependências entre os níveis de gravidade dos acidentes rodoviários na Inglaterra, no período de 2005 a 2013, com as correlações espaciais e temporais, utilizando o modelo de efeitos multivariados conforme formulação hierárquica bayesiana. Foram encontradas associações importantes entre os efeitos de severidade, os níveis de gravidade e os mapas de taxas de acidentes, que permitiram produzir mapas informativos com o comportamento dos acidentes ao longo do tempo e a identificação de áreas com maior risco, sendo tais informações relevantes, por exemplo, para as estratégias de políticas de saúde;
- Marques e Machado [13] verificaram alguns fatores que podem auxiliar na tomada de decisão sobre os recursos arrecadados com as multas de trânsito, através da técnica Delphi e aplicação de um questionário para entrevistar especialistas em 10 capitais brasileiras, tendo como resultado uma estrutura hierárquica dos fatores com as dimensões. Os fatores mais relevantes, após agrupamento em dimensões, foram o histórico dos acidentes de trânsito, o histórico das multas de trânsito, situação da sinalização da via, quantidade de vias municipalizadas, taxa de motorização da população, taxa de crescimento populacional, nível de cobrança da imprensa local e histórico da aplicação dos recursos.

B. APOIO À DECISÃO MULTICRITÉRIO MCDA

Esta revisão da literatura busca referenciar os principais conceitos, características e possibilidades de utilização da metodologia de Análise de Decisão Multicritério (MCDA). Belton et al. [14] descrevem o processo MCDA como um conjunto de métodos formais para tornar explícitos critérios múltiplos que apoiem tomadores de decisão, individuais ou

em grupo, nos problemas de decisão importantes. O MCDA pode ser considerada uma ferramenta de tomada de decisão que procura integrar medidas objetivas com julgamento de valor, tendo como principal benefício aos decisores melhorar o entendimento do problema enfrentado e identificar possíveis ações ou providências a serem priorizadas.

A atividade de ajuda de decisão multicritério não pode ser restrita apenas à resolução de um problema em que é necessário agregar determinadas preferências em um determinado conjunto potenciais de ações. A identificação do conjunto de ações (e da confusão de sua fronteira), a construção dos critérios e a modelagem de preferências são aspectos fundamentais e, muitas vezes, difíceis da ajuda à decisão (COSTA, [15]).

Segundo Belton et al. [14], um dos principais objetivos da abordagem MCDA é ajudar o decisor a organizar e sintetizar as informações de forma que o leve a se sentir confortável e confiante em tomar uma decisão, minimizando o potencial de arrependimento pós-decisão ao estar satisfeito de que todos os critérios ou fatores foram adequadamente levados em consideração.

Costa [15] afirma que o MCDA permite melhorar o grau de conformidade e coerência entre a evolução de um processo de tomada de decisão, os sistemas de valores e os objetivos dos envolvidos nesse processo, sendo fundamental que os conceitos, ferramentas e procedimentos ajudem a ampliar a capacidade de solução de problemas na presença de ambiguidade, incerteza e abundância de alternativas.

Outro autor que analisa o conceito e o processo de decisão, levando-se em conta as interações entre os stakeholders como os agentes individuais, instituições e comunidades, é Roy [16] que destaca três importantes atores no processo de decisão: o tomador de decisão, o analista e o cliente.

1) AHP - Analytic Hierarchy Process

O AHP surgiu como um método útil para resolução de problemas relacionados à tomada de decisões complexas, envolvendo múltiplos critérios. Desenvolvido por Saaty [17], a técnica funciona pela decomposição de um problema em critérios hierarquizados. É baseado na avaliação das alternativas em termos de uma função preferência aditiva, em que são realizadas comparações par a par das alternativas com relação aos critérios. Conforme Ishizaka e Nemery [18], o processo abrange três etapas principais: definição do objetivo, dos critérios e das alternativas.

A comparação entre os critérios é feita com base nos julgamentos das partes interessadas, que atribuem valores à cada alternativa, com base em julgamentos objetivos ou subjetivos. Porém, devido à liberdade que o método fornece para a classificação dos critérios e alternativas, podem ocorrer inconsistências entre os julgamentos realizados. De forma a estabelecer um parâmetro que determinasse o nível aceitável de inconsistências de acordo com o número de comparações realizadas, Saaty [17] propôs uma “taxa de consistência” (CR), conforme a Equação (6):

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

Onde:

- *CR* (*Consistency Ratio*): indicador que compara os julgamentos realizados pelos avaliadores;
- *RI* (*Random Index*): julgamentos aleatórios calculados pelo próprio autor para matrizes de diferentes tamanhos, conforme Tabela 1.
- *CI* (*Consistency Index*): índice de consistência calculado de acordo com a Equação (7):

$$CI = \frac{\lambda_{Max} - n}{n - 1} \quad (7)$$

Em que:

- λ_{Max} é o resultado da multiplicação da matriz de comparação pelo seu vetor de eigen dividido pelo mesmo vetor de eigen, calculando-se, por fim, a média final dos valores obtidos;
- *n* é a quantidade de itens (critérios ou subcritérios) envolvidos no cálculo;

0.9

Tabela 1. Índices aleatórios calculados por Saaty [17]

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Saaty [17] sugere que um conjunto de decisões pode ser considerado “confiável” se a taxa de consistência permanecer abaixo de 0,1, ou 10%. Na visão do autor, taxas muito acima deste parâmetro aproximam-se demasiadamente de resultados aleatórios, o que indica que os julgamentos iniciais carecem de revisão.

2) PROMETHEE - Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation

Semelhante ao AHP, o PROMETHEE também compara as alternativas par a par indicando o desempenho de cada uma para um determinado critério (BRANS e MARESCHAL) [19]. Para a realização da metodologia PROMETHEE se faz necessário calcular:

$$\Pi(a, b) = \sum_{i=1}^n w_i * P_i(a, b) \quad (8)$$

Onde:

- $\Pi(a, b)$ - Grau de preferência da alternativa a em relação à b, para todos os critérios;
- w_i - Peso do critério i ($i = 1, 2, \dots, n$);
- $P_i(a, b)$ - Função de preferência que pode assumir valores entre 0 e 1.

A Função de Preferência se apresenta de seis formas diferentes, cabendo ao decisor escolher a mais adequada para o critério a representar, não necessariamente usando a mesma forma para todos os critérios.

A Equação (9) é usada para construção dos critérios das funções de preferências apresentados na Tabela 2.

$$\Delta(a, b) = g_i(a) - g_i(b) \quad (9)$$

Onde:

- $g_i(a)$ - representa o critério i da alternativa a ;
- $g_i(b)$ - representa o critério i da alternativa b ;
- $\Delta(a, b)$ - é a diferença do critério entre as alternativas a e b .

3) Uso dos Métodos AHP e PROMETHEE em Estudos Relacionados

Esta parte da pesquisa buscou encontrar os principais estudos com a adoção dos métodos AHP e o Promethee a casos envolvendo o tema de acidentes de trânsito ou assuntos semelhantes, os quais estão resumidos abaixo:

- Bernardini et al. [20] desenvolveram uma metodologia multicritério para realizar uma avaliação integrada e preventiva de projetos rodoviários considerando seus desempenhos de segurança e alguns aspectos econômicos e ambientais. O autor aplicou, com base em um projeto real de infraestrutura rodoviária rural na Bélgica, uma técnica de agrupamento de critérios baseada no método PROMETHEE para identificar grupos de alternativas similares suportadas por uma estrutura parcialmente ordenada.
- Bauza et al. [21] estudaram os sistemas de veículos cooperativos desenvolvidos para melhorar a segurança e gestão do tráfego e apresentou uma nova técnica de cooperação baseada em comunicações veículo-veículo (V2V) e lógica difusa para detectar o congestionamento do tráfego rodoviário sem a necessidade de implantar sensores de infraestrutura.
- Turcksin et al. [22] recomendaram um pacote de políticas multifatorial ao governo belga para reduzir as externalidades ambientais, incentivando as pessoas a fazerem uma escolha de veículo mais sustentável. Para isso, o autor propôs uma abordagem integrada para o problema de decisão combinando os métodos AHP e PROMETHEE, permitindo uma avaliação dos cenários políticos com seus pontos fortes e fracos e fornecendo uma classificação que facilita a seleção final para o tomador de decisões.
- Pitchipoo et al. [23] analisaram a questão da visibilidade dos motoristas em veículos pesados e a relação com os acidentes rodoviários, através da otimização dos parâmetros utilizados no projeto do espelho retrovisor. Foi utilizada uma abordagem de tomada de decisão multicritérios (MCDM) chamada técnica COPRAS (Análise Proporcional Completa de Alternativas) e os pesos dos parâmetros do projeto foram calculados usando três abordagens diferentes, como AHP, FARE (Relação Fatorial) e Medição de Entropia.
- Babace et al. [24] avaliaram a segurança e mobilidade de motoristas idosos, usando o conceito de indicadores

Tabela 2. Critérios gerais para o Promethee

Critério	$F(a, b) =$	Parâmetro		Descrição	Gráfico
		q	p		
Usual	0 se $\Delta(a, b) > 0$ 1 se $\Delta(a, b) \leq 0$	×	×	não há parâmetros a ser definido	
Quase-Critério	0 se $\Delta(a, b) \leq q$ 1 se $\Delta(a, b) > q$	✓	×	limiar de indiferença	
Limite de preferência	1 se $\Delta(a, b) > p$ $\Delta(a, b)/p$ se $0 < \Delta(a, b) < p$ 0 se $\Delta(a, b) < 0$	×	✓	limiar de preferência	
Pseudocritério	0 se $\Delta(a, b) \leq q$ $0,5$ se $q < \Delta(a, b) \leq p$ 1 se $\Delta(a, b) > p$	✓	✓	q : limiar de indiferença p : limiar de preferência	
Área de indiferença	0 se $\Delta(a, b) \leq q$ $\Delta(a, b)/(p - q)$ se $q < \Delta(a, b) \leq p$ 1 se $\Delta(a, b) > p$	✓	✓	q : limiar de indiferença p : limiar de preferência	
Área de indiferença	0 se $\Delta(a, b) \leq 0$ $1 - e^{\left(\frac{-[\Delta(a,b)]^2}{2\delta^2}\right)}$ se $q < \Delta(a, b) > 0$	×	×	o desvio padrão deve ser fixado	

Fonte: Autores

Notas: $\Delta(a, b) = g_i(a) - g_i(b)$

compostos (ICs) e abordagem multicritérios, com a realização de testes para verificar aspectos psicológicos e físicos, bem como conhecimento de sinais rodoviários. Para a agregação e atribuição de pesos a cada subindicador que afeta a qualidade e a confiabilidade dos ICs, foram utilizados os métodos de Análise Envoltória de Dados (DEA) e MCDA, que serviram para elaborar um ranking dos motoristas em termos de condução. Vale destacar que o autor concluiu que o PROMETHEE II foi um método MCDA bastante robusto em termos de resultados.

- Kukadapwar e Parbat [25] elaboraram uma metodologia baseada em decisões multicritérios para encontrar o caminho ideal na rede rodoviária urbana, considerando sete variáveis que influenciam a rede de tráfego e definem a função de custo. O método AHP foi empregado para apoiar a melhor decisão com o caminho de menor custo (caminho ideal) e considerada uma ferramenta eficaz para lidar com o problema de seleção de rota.
- Hu et al. [26] analisaram o risco de trânsito ferroviário urbano na China considerando as fontes de perigo das ferrovias, aspectos de avaliação como frequência, extensão do dano e descontrole, e a ordem de diferentes fontes de risco. Foi utilizado o método Dempster-Shafer/Analytic Hierarchy Process (DS/AHP) melhorado para a avaliação de risco em um ambiente de informação incompleta e incerta.
- Zhao et al. [27] avaliaram a segurança rodoviária através de um indicador formado por fatores pontuados na

escala Lee e utilizou o método de AHP para estabelecer os pesos dos indicadores. Os resultados verificados com os casos de avaliação baseados no modelo AHP indicam maior eficácia e precisão no gerenciamento de segurança de manutenção de estradas.

- Zhang et al. [28] realizaram estudo sobre o índice de avaliação do transporte rodoviário de baixo carbono na China, por meio do método Fuzzy com AHP e Delphi, considerando fatores como infraestrutura rodoviária, tráfego rodoviário, gestão rodoviária e políticas e regulamentos relacionados, para os quais foi estabelecida uma matriz de julgamento com vetores de peso e avaliada a consistência do índice.
- He e Du [29] propuseram um modelo quantitativo de classificação de emergência durante o acidente, considerando fatores como a garantia de trânsito de resgate, emergência e impacto na sociedade, cujos pesos foram determinados através do processo hierárquico analítico difuso (Fuzzy AHP).
- Korchagin et al. [30] desenvolveram uma abordagem objetiva para tomar decisões com o objetivo de reduzir o número de feridos e danos provocados por acidentes de trânsito, com a criação de um sistema baseado no conhecimento de especialistas para melhorar a segurança rodoviária. A sugestão do autor é que a teoria dos conjuntos difusos (fuzzy logic) pode ser uma ferramenta de pesquisa mais racional considerando aspectos como o comportamento dos participantes do trânsito e as condições das rodovias.

III. METODOLOGIA

Dentre os diversos métodos existentes para o apoio multi-critério decidiu-se, após a revisão bibliográfica, utilizar os métodos AHP e PROMETHEE como ferramentas de apoio à decisão, pois ambos fazem comparação das alternativas par a par. Após a obtenção da aplicação de ambos métodos, faz-se uma comparação dos resultados com a metodologia UPSm, que é utilizada pela maioria dos Detrans do país.

Para se atingirem os objetivos estipulados, foram coletadas informações no DETRAN do Distrito Federal - DF sobre acidentes de trânsito com feridos e com mortes ocorridos em suas vias no ano de 2016. Esses dados são oriundos do Sistema de Acidentes de Trânsito (SAT-DF) que envolve diversos órgãos do Governo do DF como a Polícia Civil, a Polícia Militar e Secretaria de Saúde, dando maior credibilidade às informações divulgadas. O processamento das bases, tratamento de variáveis e realização dos cálculos para aplicação dos métodos AHP e PROMETHEE foram feitos no programa Statistical Analysis System (SAS). As tabelas e gráficos foram realizados com o aplicativo Microsoft Excel.

A. OBJETIVO, CRITÉRIOS, SUBCRITÉRIOS E ALTERNATIVAS

Um acidente de trânsito pode ser do tipo sem vítima ou com vítima, sendo o último subdividido em com ferido e com morte. Os dados disponibilizados não tratam de acidentes sem vítima, o que levou a adoção dos critérios com morte e com ferido.

Para completar os critérios foi necessário um atributo que revelasse mais detalhe a respeito do acidente, nesse intuito a variável natureza foi escolhida como subcritério, pois ela caracteriza perfeitamente o acidente de trânsito. O atributo em questão foi estruturado de forma a atender a modelagem, sendo necessário em alguns casos fazer um agrupamento deles, conforme apresentado na Tabela 3:

Tabela 3. Naturezas de acidentes de trânsito

Natureza do acidente	Sigla
Atropelamento de animal	ATA
Atropelamento de pedestre	ATP
Capotamento	CAP
Choque com objeto fixo	CHO
Colisão	COL
Queda de Pessoa	QPE
Queda de Veículo	QVE
Demais tipos*	DMA

Fonte: Detran/DF

Nota: * Demais naturezas não listadas nesta tabela.

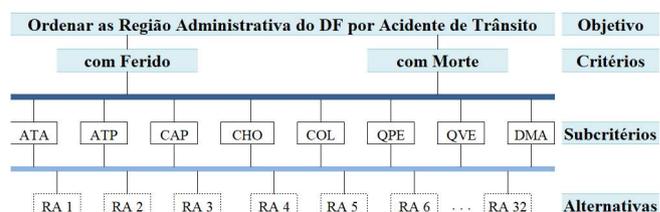
Para os casos em que havia mais de uma natureza para o acidente, ficou estabelecida a primeira natureza para termos de classificação, visto que esta natureza gerou as demais. Por exemplo: em uma colisão seguida por um atropelamento e um capotamento, a natureza deste acidente é classificada como colisão (ANUÁRIO ESTATÍSTICO) [3].

O Distrito Federal possui vias urbanas e rodovias, aquelas são controladas pelo DETRAN-DF e estas pelo Departamento de Estradas e Rodagem (DER). O trabalho foi delimitado para o estudo das vias urbanas. Porém, o foco principal não é a via em si, mas a Região Administrativa (RA) onde ela está localizada. Com isso, tem-se o objetivo que é ordenar as RA's no contexto de acidentes de trânsito.

Com a exposição do problema apresentado, passa-se à especificação dentro dos métodos escolhidos, primeiro no AHP e em seguida no PROMETHEE.

B. APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP

Neste método devem ser adotados os critérios, subcritérios e alternativas já descritos anteriormente, que adaptando para o AHP clássico ter-se-á a estrutura mostrada na Figura 1. Deve ficar claro que os subcritérios se repetem para cada critério, e que as alternativas também se repetem para cada subcritério, formando-se um produto cartesiano entre eles.



Fonte: Autores

Nota: DF - Distrito Federal

Figura 1. AHP Hierárquico proposto para este estudo

1) Determinação das matrizes de pesos e vetores de eigen Os pesos dos critérios utilizados foram definidos pelo DENATRAN através do indicador Unidade Padrão de Severidade (UPS) [4] conforme Equação (10).

$$UPS = (\text{n}^\circ \text{ de acidentes sem vítima} * 1) + (\text{n}^\circ \text{ de acidentes com ferido} * 5) + (\text{n}^\circ \text{ de acidentes com morte} * 13) \quad (10)$$

Porém o DETRAN-DF não disponibiliza dados de acidentes de trânsito sem vítima, desta maneira, a Equação 5 sofreu uma pequena alteração conforme mostra a Equação (11).

$$UPS = (\text{n}^\circ \text{ de acidentes com ferido} * 5) + (\text{n}^\circ \text{ de acidentes com morte} * 13) \quad (11)$$

Portanto, a matriz de pesos para os critérios ficou da forma mostrado na Figura 2.

No caso de se ter apenas dois critérios não há necessidade de calcular o índice de inconsistência – IC.

Após essa etapa, calculam-se os vetores para os subcritérios baseados nos critérios com ferido e com morte, conforme estabelecido na Figura 1. Importante notar que a matriz de pesos foi obtida utilizando a ideia do AHP Referenciado, conforme Gomes et al. [31], ou seja, baseado nas frequências relativas de cada item que compõe o respectivo subcritério.

CRITÉRIOS	Com Ferido	Com Morte	Pesos
Com Ferido	1	5/13	5
Com Morte	13/5	1	13

Após 2 multiplicações

CRITÉRIOS	Com Ferido	Com Morte	Vetor de Eigen
Com Ferido	2,000	0,769	0,27778
Com Morte	5,200	2,000	0,72222

Fonte: Autores

Figura 2. Cálculo do vetor de eigen para os critérios: com morte e com ferido

Para melhor entendimento do cálculo dos pesos apresentados na Tabela 4, considere o subcritério ATA (frequência = 11) e CHO (frequência = 335), o peso relativo considerado é calculado pela divisão da frequência de ATA pela de CHO ($11/335 = 0,033$).

Tabela 4. Matriz de pesos baseados na frequência – com ferido

Subcritérios	ATA	ATP	CAP	CHO	COL	QPE	QVE	DMA	Freq
ATA	1,000	0,009	0,162	0,033	0,003	0,115	0,028	0,647	11
ATP	112,455	1,000	18,191	3,693	0,287	12,885	3,156	72,765	1.237
CAP	6,182	0,055	1,000	0,203	0,016	0,708	0,173	4,000	68
CHO	30,455	0,271	4,926	1,000	0,078	3,490	0,855	19,706	335
COL	391,636	3,483	63,353	12,860	1,000	44,875	10,990	253,412	4.308
QPE	8,727	0,078	1,412	0,287	0,022	1,000	0,245	5,647	96
QVE	35,636	0,317	5,765	1,170	0,091	4,083	1,000	23,059	392
DMA	1,545	0,014	0,250	0,051	0,004	0,177	0,043	1,000	17

Fonte: Autores

Para obtenção do vetor eigen final, a matriz de pesos deve ser elevada ao quadrado e normalizada para obtenção do 1º vetor de eigen. Em continuação, pega-se o resultado da primeira multiplicação da matriz e eleva ao quadrado novamente e normaliza para obter o 2º vetor de eigen. Em seguida, compara-se o 1º vetor de eigen calculado com o 2º, se não houver diferença entre eles (diga-se até quatro casas decimais), encerra-se o cálculo; caso contrário, prossegue o processo até a diferença pré-estabelecida entre os vetores eigen ser atendida.

Para a obtenção do vetor de eigen da matriz de subcritérios, considerando o critério com ferido, foram necessárias duas iterações, o resultado é mostrado na Tabela 5.

Tabela 5. Cálculo do vetor de eigen para os subcritérios – com ferido

Subcritérios	ATA	ATP	CAP	CHO	COL	QPE	QVE	DMA	Vetor de Eigen
ATA	8,00	0,07	1,29	0,26	0,02	0,92	0,22	5,18	0,00170
ATP	899,64	8,00	145,53	29,54	2,30	103,08	25,24	582,12	0,19137
CAP	49,45	0,44	8,00	1,62	0,13	5,67	1,39	32,00	0,01052
CHO	243,64	2,17	39,41	8,00	0,62	27,92	6,84	157,65	0,05183
COL	3.133,09	27,86	506,82	102,88	8,00	359,00	87,92	2.027,29	0,66646
QPE	69,82	0,62	11,29	2,29	0,18	8,00	1,96	45,18	0,01485
QVE	285,09	2,54	46,12	9,36	0,73	32,67	8,00	184,47	0,06064
DMA	12,36	0,11	2,00	0,41	0,03	1,42	0,35	8,00	0,00263

Fonte: Autores

Utilizando a Equação (6) obtemos o valor 0,00 que é menor que 0,1 o que indica admissibilidade dos pesos atribuídos.

Para os subcritérios do critério com morte, um ajuste na frequência foi necessário, uma vez que não se pode dividir um número por zero.

N	Lambda Máximo	IC	IR	RC	Resultado
8	8	0	1,41	0	ADMISSÍVEL

Fonte: Autores

Figura 3. Matriz de pesos baseados na frequência – com morte

Portanto, somou-se 1 (um) a todos os subcritérios, conforme é mostrado na matriz de pesos da Tabela 6.

Tabela 6. Matriz de pesos baseados na frequência – com morte

Subcritérios	ATA	ATP	CAP	CHO	COL	QPE	QVE	DMA	Freq
ATA	1,000	0,015	0,111	0,042	0,027	0,333	0,100	1,000	1
ATP	66,000	1,000	7,333	2,750	1,784	22,000	6,600	66,000	66
CAP	9,000	0,136	1,000	0,375	0,243	3,000	0,900	9,000	9
CHO	24,000	0,364	2,667	1,000	0,649	8,000	2,400	24,000	24
COL	37,000	0,561	4,111	1,542	1,000	12,333	3,700	37,000	37
QPE	3,000	0,045	0,333	0,125	0,081	1,000	0,300	3,000	3
QVE	10,000	0,152	1,111	0,417	0,270	3,333	1,000	10,000	10
DMA	1,000	0,015	0,111	0,042	0,027	0,333	0,100	1,000	1

Fonte: Autores

Novamente, após duas iterações foi obtido o vetor de eigen mostrado na Tabela 7.

Tabela 7. Cálculo do vetor de eigen para os subcritérios – com morte

Subcritérios	ATA	ATP	CAP	CHO	COL	QPE	QVE	DMA	Vetor de Eigen
ATA	8,00	0,12	0,89	0,33	0,22	2,67	0,80	8,00	0,00662
ATP	528,00	8,00	58,67	22,00	14,27	176,00	52,80	528,00	0,43709
CAP	72,00	1,09	8,00	3,00	1,95	24,00	7,20	72,00	0,05960
CHO	192,00	2,91	21,33	8,00	5,19	64,00	19,20	192,00	0,15894
COL	296,00	4,48	32,89	12,33	8,00	98,67	29,60	296,00	0,24503
QPE	24,00	0,36	2,67	1,00	0,65	8,00	2,40	24,00	0,01987
QVE	80,00	1,21	8,89	3,33	2,16	26,67	8,00	80,00	0,06623
DMA	8,00	0,12	0,89	0,33	0,22	2,67	0,80	8,00	0,00662

Fonte: Autores

Para as alternativas o processo de cálculo dos vetores de eigen é semelhante aos dos subcritérios. Omitiram-se os cálculos intermediários pelo fato de se terem muitas alternativas, no caso 32. Mas criou-se um resumo com os vetores de eigen finais para cada subcritério versus alternativa, conforme Tabelas 8 e 9.

Após obtenção dos vetores de eigen (autovalores) dos critérios (Cri), subcritérios (Subc), critérios versus subcritérios e subcritérios versus alternativas (Alt), a pontuação pelo método AHP é obtida multiplicando todos os vetores e somando para cada alternativa, conforme a Equação (12).

$$Pont. Alternativa_k = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^8 Crit_i \times Subc_j \times Alt_k \quad (12)$$

Em que:

- $i = 1$ (com ferido) e 2 (com morte). Os subcritérios são $j = 1$ (ATA), 2 (ATP), 3 (CAP), 4 (CHO), 5 (COL), 6 (QPE), 7 (QVE) e 8 (DMA). As alternativas k são as Regiões Administrativas conforme especificado na Tabela 13.

Dessa maneira, a pontuação da Região Administrativa de Brasília (BSB) foi obtida como mostra a Tabela 10. Cabe

Tabela 8. Vetores de Eigen para alternativas dos subcritérios do critério com ferido

ALTERNATIVA	SUBCRITÉRIOS - com Ferido							
	ATA	ATP	CAP	CHO	COL	QPE	QVE	DMA
ACL	0,0233	0,0355	0,0100	0,0191	0,0390	0,0391	0,0307	0,0204
BAN	0,0465	0,0055	0,0100	0,0027	0,0053	0,0078	0,0094	0,0204
BRZ	0,0698	0,0079	0,0200	0,0245	0,0123	0,0547	0,0165	0,0408
BSB	0,0233	0,1757	0,1700	0,1826	0,1657	0,1328	0,1085	0,0816
CDG	0,0233	0,0032	0,0100	0,0054	0,0016	0,0234	0,0024	0,0204
CEI	0,0698	0,1946	0,1200	0,1662	0,1567	0,2188	0,1745	0,0408
CRZ	0,0233	0,0055	0,0100	0,0136	0,0107	0,0156	0,0094	0,0408
EST	0,0233	0,0032	0,0100	0,0027	0,0037	0,0078	0,0118	0,0612
FER	0,0233	0,0016	0,0100	0,0027	0,0002	0,0078	0,0047	0,0204
GAM	0,0698	0,0591	0,1100	0,0654	0,0578	0,0234	0,0566	0,0408
GUA	0,0233	0,0339	0,0100	0,0409	0,0279	0,0234	0,0236	0,0204
ITA	0,0465	0,0181	0,0100	0,0054	0,0107	0,0156	0,0165	0,0204
JBO	0,0233	0,0055	0,0200	0,0109	0,0060	0,0078	0,0047	0,0204
LGN	0,0233	0,0008	0,0100	0,0109	0,0044	0,0078	0,0094	0,0204
LGS	0,0233	0,0024	0,0100	0,0191	0,0095	0,0078	0,0071	0,0204
NOR	0,0233	0,0032	0,0100	0,0027	0,0007	0,0078	0,0047	0,0204
PAR	0,0233	0,0189	0,0200	0,0027	0,0142	0,0078	0,0071	0,0204
PLA	0,0698	0,0496	0,0200	0,0518	0,0724	0,0234	0,0708	0,0204
PWY	0,0233	0,0024	0,0100	0,0136	0,0070	0,0078	0,0071	0,0204
REM	0,0233	0,0362	0,0400	0,0463	0,0367	0,0313	0,0401	0,0408
RF1	0,0233	0,0095	0,0200	0,0082	0,0088	0,0078	0,0047	0,0408
RF2	0,0233	0,0055	0,0100	0,0082	0,0056	0,0234	0,0118	0,0204
SAI	0,0233	0,0095	0,0100	0,0109	0,0086	0,0156	0,0142	0,0204
SAM	0,0233	0,0820	0,0800	0,0845	0,0659	0,0703	0,0896	0,0612
SB1	0,0233	0,0087	0,0400	0,0191	0,0230	0,0234	0,0236	0,0204
SB2	0,0233	0,0150	0,0100	0,0136	0,0128	0,0234	0,0189	0,0204
SMA	0,0233	0,0307	0,0100	0,0681	0,0399	0,0156	0,0542	0,0408
SOC	0,0233	0,0055	0,0300	0,0082	0,0077	0,0078	0,0071	0,0204
SSE	0,0233	0,0339	0,0500	0,0136	0,0369	0,0234	0,0590	0,0204
TAG	0,0233	0,1198	0,0800	0,0681	0,1332	0,0859	0,0731	0,0612
VAR	0,0233	0,0055	0,0100	0,0027	0,0016	0,0078	0,0047	0,0204
VPI	0,0465	0,0118	0,0100	0,0054	0,0135	0,0234	0,0236	0,0408

Fonte: Autores

salientar que todos os valores para efetivação do cálculo estão distribuídos nas figuras com vetores de eigen.

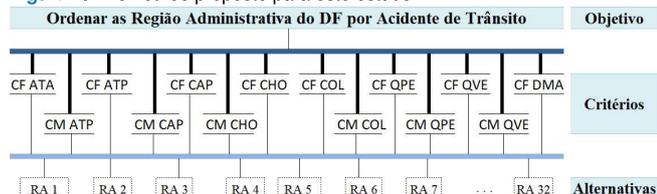
O resultado com a ordenação das alternativas é apresentado na Tabela 13 em que se destacam as seguintes regiões administrativas:

- Primeiras posições: Brasília (BSB) e Ceilândia (CEI).
- Últimas posições: Noroeste (NOR) e Fercal (FER).

A seção seguinte descreve a aplicação do método Promethee e cálculo da UPSm.

C. APLICAÇÃO DO PROMETHEE

Figura 4. Promethee proposto para este estudo



Fonte: Autores
Nota: DF - Distrito Federal

Usando uma estrutura semelhante ao AHP, porém transformando a hierarquia critério-subcritério para uma estrutura de somente critério conforme mostra a Figura 4 e Tabela 10.

Tabela 9. Vetores de Eigen para alternativas dos subcritérios do critério com morte

ALTERNATIVA	SUBCRITÉRIOS - com Morte							
	ATA	ATP	CAP	CHO	COL	QPE	QVE	DMA
ACL	0,0313	0,0103	0,0250	0,0182	0,0441	0,0588	0,0488	0,0313
BAN	0,0313	0,0103	0,0250	0,0182	0,0294	0,0294	0,0244	0,0313
BRZ	0,0313	0,0103	0,0250	0,0545	0,0147	0,0294	0,0488	0,0313
BSB	0,0313	0,2062	0,1000	0,0545	0,1324	0,0294	0,0488	0,0313
CDG	0,0313	0,0103	0,0250	0,0182	0,0147	0,0294	0,0244	0,0313
CEI	0,0313	0,1546	0,0250	0,1273	0,0441	0,0588	0,0732	0,0313
CRZ	0,0313	0,0103	0,0250	0,0182	0,0147	0,0294	0,0244	0,0313
EST	0,0313	0,0103	0,0250	0,0182	0,0147	0,0294	0,0244	0,0313
FER	0,0313	0,0103	0,0250	0,0182	0,0147	0,0294	0,0244	0,0313
GAM	0,0313	0,0309	0,0500	0,0364	0,0147	0,0294	0,0244	0,0313
GUA	0,0313	0,0103	0,0250	0,0182	0,0147	0,0294	0,0244	0,0313
ITA	0,0313	0,0309	0,0250	0,0182	0,0147	0,0294	0,0244	0,0313
JBO	0,0313	0,0103	0,0500	0,0182	0,0294	0,0294	0,0244	0,0313
LGN	0,0313	0,0103	0,0250	0,0182	0,0294	0,0294	0,0244	0,0313
LGS	0,0313	0,0103	0,0250	0,0182	0,0294	0,0294	0,0244	0,0313
NOR	0,0313	0,0103	0,0250	0,0182	0,0147	0,0294	0,0244	0,0313
PAR	0,0313	0,0103	0,0250	0,0182	0,0147	0,0294	0,0244	0,0313
PLA	0,0313	0,0309	0,0250	0,0364	0,0294	0,0294	0,0488	0,0313
PWY	0,0313	0,0103	0,0250	0,0182	0,0147	0,0294	0,0488	0,0313
REM	0,0313	0,0412	0,0250	0,0545	0,0735	0,0294	0,0244	0,0313
RF1	0,0313	0,0206	0,0250	0,0182	0,0147	0,0294	0,0488	0,0313
RF2	0,0313	0,0206	0,0250	0,0182	0,0147	0,0294	0,0244	0,0313
SAI	0,0313	0,0206	0,0250	0,0545	0,0294	0,0294	0,0244	0,0313
SAM	0,0313	0,0515	0,1000	0,0364	0,0441	0,0294	0,0244	0,0313
SB1	0,0313	0,0103	0,0250	0,0182	0,0441	0,0294	0,0244	0,0313
SB2	0,0313	0,0412	0,0250	0,0545	0,0147	0,0294	0,0244	0,0313
SMA	0,0313	0,0206	0,0250	0,0909	0,0588	0,0294	0,0488	0,0313
SOC	0,0313	0,0103	0,0250	0,0182	0,0294	0,0294	0,0244	0,0313
SSE	0,0313	0,0206	0,0250	0,0182	0,0294	0,0294	0,0244	0,0313
TAG	0,0313	0,1134	0,0250	0,0182	0,0735	0,0294	0,0244	0,0313
VAR	0,0313	0,0103	0,0250	0,0182	0,0147	0,0294	0,0244	0,0313
VPI	0,0313	0,0206	0,0250	0,0182	0,0294	0,0294	0,0244	0,0313

Fonte: Autores

Tabela 10. Cálculo da pontuação para a Região Administrativa de Brasília (BSB)

Critério	item	autovalor	Subcritério		Alternativa		Pontual parcial
			item	autovalor	item	autovalor	
com ferido	0,277778		ATA	0,001702	BSB	0,023256	0,000011
			ATP	0,191368		0,175729	0,009341
			CAP	0,010520		0,170000	0,000497
			CHO	0,051825		0,182561	0,002628
			COL	0,666460		0,165738	0,030683
			QPE	0,014851		0,132813	0,000548
			QVE	0,060644		0,108491	0,001828
			DMA	0,002630		0,081633	0,000060
com morte	0,722222		ATA	0,006623	BSB	0,031250	0,000149
			ATP	0,437086		0,206186	0,065087
			CAP	0,059603		0,100000	0,004305
			CHO	0,158940		0,054545	0,006261
			COL	0,245033		0,132353	0,023422
			QPE	0,019868		0,029412	0,000422
			QVE	0,066225		0,048780	0,002333
			DMA	0,006623		0,031250	0,000149
Pontuação final						0,147725	

Fonte: Autores
Nota: Vetor Eigen = autovalor

As duas primeiras letras dos critérios indicados nesta tabela significam: CF (com ferido) e CM (com morte).

O método exige o conhecimento de alguns parâmetros utilizados em sua fase de construção sobre relação de sobre-classificação. Portanto, devem-se identificar as alternativas e

os critérios; e dentro destes, identificar o peso e a respectiva função de preferência conforme informado na Tabela 11.

Tabela 11. Alternativas e critérios para aplicação do Promethee

Alternativas	Critérios													
	CF_A TP	CF_C HO	CF_C OL	CF_C QPE	CF_C QVE	CF_C COL	CM_QPE	CM_QVE	CF_A TA	CF_C AP	CF_Z DM	CM_	CM_	CM_
ACL	44	6	168	4	12	2	1	1						
BAN	6		23		3	1			1					
BRZ	9	8	53	6	6			1	2	1	1	2		
BSB	222	66	714	16	45	8		1		16	3	2	19	3
CDG	3	1	7	2										
CEI	246	60	675	27	73	2	1	2	2	11	1	6	14	
CRZ	6	4	46	1	3						1			
EST	3		16		4						2			
FER	1		1		1									
GAM	74	23	249	2	23				2	10	1	1	2	1
GUA	42	14	120	2	9									
ITA	22	1	46	1	6			1					2	
JBO	6	3	26	1	1	1			1					1
LGN		3	19		3	1								
LGS	2	6	41		2	1								
NOR	3		3		1									
PAR	23		61		2					1				
PLA	62	18	312	2	29	1		1	2	1		1	2	
PWY	2	4	30		2			1						
REM	45	16	158	3	16	4				3	1	2	3	
RF1	11	2	38		1			1		1	1		1	
RF2	6	2	24	2	4								1	
SAI	11	3	37	1	5	1						2	1	
SAM	103	30	284	8	37	2				7	2	1	4	3
SB1	10	6	99	2	9	2				3				
SB2	18	4	55	2	7								2	3
SMA	38	24	172	1	22	3		1			1	4	1	
SOC	6	2	33		2	1				2				
SSE	42	4	159	2	24	1				4				1
TAG	151	24	574	10	30	4				7	2		10	
VAR	6		7		1									
VPI	14	1	58	2	9	1		1		1			1	

Fonte: Autores

As alternativas correspondem às 32 Regiões Administrativas.

Na definição dos parâmetros e dos critérios envolvendo vítimas com morte, ficou claro que um óbito era suficiente para diferenciar uma alternativa da outra, por isso a função de preferência ficou definida com o critério usual. Para os demais critérios se observou a distribuição dos dados. Na definição dos pesos foi observada a frequência dentro da especificação com morte e com ferido e depois multiplicado pelos pesos especificados na Equação (6).

Tabela 12. Parâmetros utilizados para comparar as alternativas

Critério _i	Função de Preferência	q	p	w _j
CF_ATA	Critério Usual			5,01
CF_ATP	Área de indiferença	4	10	5,96
CF_CAP	Pseudocritério		3	5,05
CF_CHO	Pseudocritério		5	5,26
CF_COL	Pseudocritério		15	8,33
CF_QPE	Quase-critério	1		5,07
CF_QVE	Área de indiferença	2	6	5,30
CF_ZDM	Critério Usual			5,01
CM_ATP	Critério Usual			18,91
CM_CAP	Critério Usual			13,73
CM_CHO	Critério Usual			15,09
CM_COL	Critério Usual			16,27
CM_QPE	Critério Usual			13,18
CM_QVE	Critério Usual			13,82

Fonte: Autores

Em que :

- q representa o limite de indiferença, o maior valor para $[g_i(a) - g_i(b)]$ abaixo do qual existe uma indiferença.
- p representa o limite de preferência, o menor valor para $[g_i(a) - g_i(b)]$ acima do qual existe uma preferência estrita.
- w_j é o peso de cada critério e significa a importância que o critério tem.

Calculam-se as diferenças par a par das alternativas considerando os critérios e parâmetros estabelecidos. Após o cálculo do índice de preferência, fluxos de superação positivo e negativo, chega-se a uma pré-ordem, ou ordem parcial (Promethee I). Para obtenção de uma ordem completa (Promethee II) deve-se calcular o fluxo líquido que é a diferença entre os fluxos positivo e negativo. O resultado deve ser ordenado em ordem decrescente em que a primeira alternativa será a de maior pontuação, conforme Tabela 13, com destaque para as seguintes posições:

- Primeiras posições: Ceilândia (CEI) e Brasília (BSB).
- Últimas posições: Noroeste (NOR) e Fercal (FER).

Para comparação com os métodos AHP e Promethee, foi utilizada a Equação 2 para o cálculo do indicador UPSM que é utilizado pela maioria dos Anuários de Acidente de Trânsito.

D. APLICAÇÃO DA UPSM

Para calcular o indicador, substituiu-se o número de acidentes pelo número de vítimas na Equação 11 tornando-se a Equação 13.

$$UPS_M = (\text{n}^\circ \text{ de vítimas com ferido} * 5) + (\text{n}^\circ \text{ de vítimas mortas} * 13) \quad (13)$$

O indicador apresentou semelhanças com AHP em suas ordenações, conforme Tabela 13.

IV. RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO

O resultado com a ordenação das alternativas é apresentado na Tabela 13.

De maneira geral obteve-se:

- Primeiras posições: Brasília (BSB) e Ceilândia (CEI).
- Últimas posições: Noroeste (NOR) e Fercal (FER).

V. DISCUSSÃO

As comparações feitas neste tópico fazem referências à Tabela 13 e à Figura 5.

Como pode ser verificado pela análise da tabela e visualmente da figura, existem de fato alterações na ordenação de desempenho das Regiões Administrativas quando comparados os métodos AHP e Promethee, porém pode-se notar que nas duas primeiras posições as Regiões Administrativas são as mesmas. O mesmo acontece com as cinco últimas posições, havendo coincidência nas duas últimas. Considerando as maiores diferenças, nota-se concentração no centro do ordenamento, onde Brazlândia destaca-se como de maior diferença.

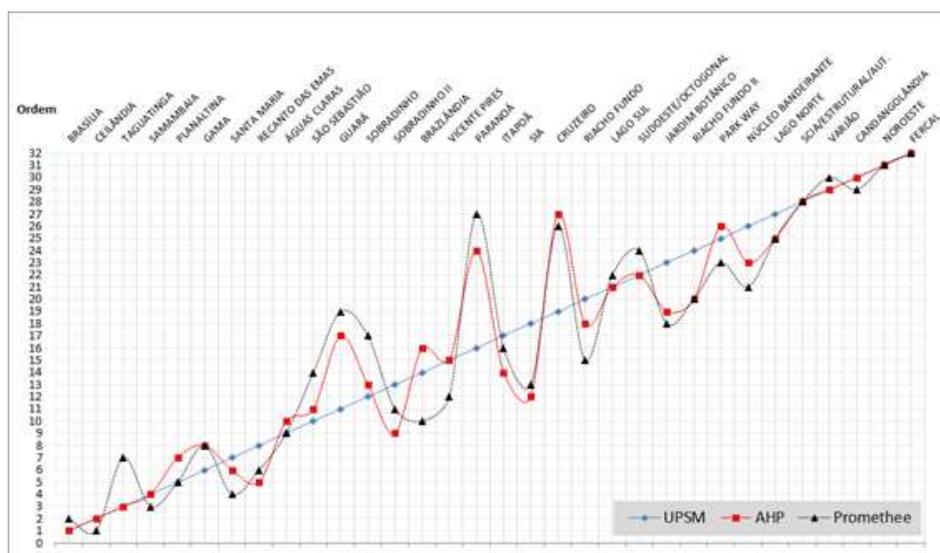


Figura 5. Gráfico comparativo das ordenações: UPSM, AHP e Promethee

Tabela 13. Comparação dos métodos

Alternativa		Ordenação			UPS _M		AHP	PROMETHEE			
Sigla	Descrição	UPS _M	AHP	Promethee	Morte	Ferido	valor	Q*	Q ⁻		
CEI	CEILÂNDIA	2	2	1	325	5475	5800	0,12	26,26	3,43	22,83
BSB	BRASÍLIA	1	1	2	429	5410	5839	0,15	25,32	3,09	22,24
SAM	SAMAMBAIA	4	4	3	130	2355	2485	0,05	20,73	5,69	15,05
SMA	SANTA MARIA	7	6	4	117	1290	1407	0,04	17,44	6,13	11,32
PLA	PLANALTINA	5	7	5	65	2130	2195	0,04	17,03	6,74	10,28
REM	RECANTO DAS EMAS	8	5	6	117	1210	1327	0,05	16,32	6,06	10,26
TAG	TAGUATINGA	3	3	7	182	3990	4172	0,09	16,01	5,84	10,17
GAM	GAMA	6	8	8	52	1920	1972	0,04	16,77	8,02	8,76
ACL	ÁGUAS CLARAS	9	10	9	52	1170	1222	0,03	13,83	8,32	5,51
BRZ	BRAZLÂNDIA	14	16	10	39	430	469	0,02	11,23	9,20	2,03
SB2	SOBRADINHO II	13	9	11	65	430	495	0,03	10,54	8,86	1,67
VPI	VICENTE PIRES	15	15	12	26	430	456	0,02	9,98	9,02	0,96
SAI	SIA	18	12	13	52	285	337	0,02	9,77	8,81	0,96
SSE	SÃO SEBASTIÃO	10	11	14	26	1175	1201	0,03	9,66	8,71	0,96
RF1	RIACHO FUNDO	20	18	15	26	270	296	0,02	8,21	10,27	-2,06
ITA	ITAPOÁ	17	14	16	26	385	411	0,02	7,68	10,01	-2,32
SB1	SOBRADINHO	12	13	17	26	645	671	0,02	7,05	9,76	-2,71
JBO	JARDIM BOTÂNICO	23	19	18	26	185	211	0,02	6,96	10,97	-4,01
GUA	GUARÁ	11	17	19		935	935	0,02	5,25	10,91	-5,66
RF2	RIACHO FUNDO II	24	20	20	13	190	203	0,02	5,22	10,95	-5,74
BAN	NÚCLEO BANDEIRANTE	26	23	21	13	165	178	0,02	5,06	11,09	-6,03
LGS	LAGO SUL	21	21	22	13	255	268	0,02	4,35	11,13	-6,78
PWY	PARK WAY	25	26	23	13	190	203	0,01	4,75	11,62	-6,87
SOC	SUDOESTE/OCTOGONAL	22	22	24	13	225	238	0,02	4,16	11,07	-6,91
LGN	LAGO NORTE	27	25	25	13	125	138	0,01	4,06	11,44	-7,38
CRZ	CRUZEIRO	19	27	26		305	305	0,01	3,27	11,36	-8,09
PAR	PARANOÁ	16	24	27		435	435	0,01	3,41	11,91	-8,50
EST	SGIA-ESTRUTURAL/AUTOMÓVEL	28	28	28		125	125	0,01	3,29	12,00	-8,71
CDG	CANDANGOLÂNDIA	30	30	29		65	65	0,01	2,64	12,33	-9,69
VAR	VARJÃO	29	29	30		70	70	0,01	2,22	12,59	-10,37
NOR	NOROESTE	31	31	31		35	35	0,01	2,19	12,72	-10,52
FER	FERCAL	32	32	32		15	15	0,01	2,19	12,82	-10,62

Fonte: Autores

Quando se compara o AHP com UPS_M, que é o indicador usado pela maioria dos Detran's do Brasil a exemplo do Anuário Estatístico [3], as diferenças começam somente após a quarta posição. Com relação às últimas posições, a mesma ordem de classificação coincide nas cinco finais. Análise semelhante pode ser feita entre o Promethee e a UPS_M. De maneira geral, observa-se que as maiores diferenças permanecem no centro da ordenação.

VI. CONCLUSÃO

O ordenamento das Regiões Administrativas do DF, com base nas estatísticas de acidentes de trânsito, é uma importante informação de apoio ao processo de decisão envolvendo as políticas públicas para um trânsito mais seguro.

Os resultados obtidos mostram o potencial da metodologia MCDA para auxiliar na estruturação do problema e no desenvolvimento dos métodos de apoio à decisão com vários critérios. Para este estudo de caso, os métodos AHP e Promethee mostraram comportamentos semelhantes quanto à ordenação, porém o primeiro foi mais complicado de se estruturar em relação ao segundo.

Uma possível vantagem do AHP sobre o Promethee neste trabalho foi a interpretação que se pode ter com relação aos subcritérios. Supondo que o tomador de decisão queira avaliar as três primeiras posições do Promethee (Ceilândia, Brasília e Samambaia), como seria a definição de prioridade nessas RA's, para a implementação de ações de prevenção de acidentes de trânsito?

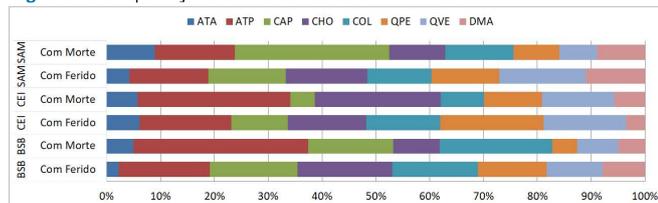
Em Ceilândia e Brasília fica claro que, com relação aos acidentes com morte, a ênfase deve ser dada para os atropelamentos de pedestres, com ações como priorizar estudos e vistorias para identificar os possíveis problemas das vias.

No caso da Samambaia, a prioridade seria a observância das vias que estão ocorrendo capotamentos com morte para verificar o real problema.

O método AHP pode revelar informações importantes com relação à hierarquia critério-subcritério. A Tabela 5 mostra que 66,7% dos acidentes com feridos são derivados de colisão, já para os acidentes com morte Tabela 7, 43,7% são derivados de atropelamento de pedestre.

Este trabalho aplicou dois métodos de MCDA para ordenar as Regiões Administrativas do DF segundo os acidentes de trânsito e apresentou resultados promissores para apoiar o processo de decisão relacionado às políticas, estratégias e

Figura 6. Interpretação dos subcritérios calculados no AHP



Fonte: Autores

ações de segurança viária. Como sugestão de trabalhos futuros, seria interessante estudar outros critérios que poderiam influenciar na avaliação dos acidentes de trânsito, como por exemplo, acidentes sem vítima. Além disso, poderiam ser testados métodos de apoio à decisão mais sofisticados, como a lógica nebulosa (Fuzzy Logic).

Referências

- [1] World Health Organization. Global Status Report on Road Safety. Technical report, WHO, 2015.
- [2] Estatísticas Vitais DATASUS 2016. <http://datasus.saude.gov.br/>. Acessado em 10 de dezembro de 2017.
- [3] Governo do Distrito Federal. Anuário Estatístico de Acidentes de Trânsito. DETRAN, Brasília-DF, Brasil, 2016.
- [4] Ministério da Justiça. Manual de Identificação. Análise e Tratamento de Pontos Negros. Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), 1987.
- [5] A. M. Novoa, K. Perez, E. Santamarina-Rubio, M. MariDell'Olmo, R. Cozar, J. Ferrando, R. Peiro, A. Tobias, P. Zori, and C. Borrell. Road safety in the political agenda: the impact on road traffic injuries. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 2011.
- [6] Guoqing Hu, Timonthy Baker, and Susan P Baker. Comparing road traffic mortality rates from police-reported data and death registration data in China. *Bull World Health Organ*, pages 41-45, 2011.
- [7] Faan Chen, Jianjun Wang, and Yajuan Deng. Road safety risk evaluation by means of improved entropy TOPSIS-RSR. *Safety Science*, 2015.
- [8] Catherine A. Staton, Vijitha De Silva, Elizabeth Krebs, Luciano Andrade, Stephen Rulisa, Badra Chandanie Mallawaarachchi, Kezhi Jin, Joao Ricardo Vissoci, and Truls -stbye. High road utilizers surveys compared to police data for road traffic crash hotspot localization in Rwanda and Sri Lanka. *BMC Public Health*, 2015.
- [9] Lucia Maria Miana Mattos Paixão, Eliane Dias Gontijo, Eliane de Freitas Drumond, Amelia Augusta de Lima Friche, and Waleska Teixeira Caia. Acidentes de trânsito em Belo Horizonte: o que revelam três diferentes fontes de informações, 2008 a 2010. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, 2015.
- [10] Yikai Chen, Kai Wang, Mark King, Jie He, Jianxun Ding, Qin Shi, Changjun Wang, and Pingfan Li. Differences in factors affecting various crash types with high numbers of fatalities and injuries in China. *PLoS ONE*, 2016.
- [11] Firas Hasan and Alwan Asad. Road Traffic Accidents in Iraq: A Review of Evidence - Based Literature. *7(2)*, 2017.
- [12] Areti Boulieri, Silvia Liverani, Kees de Hoogh, and Marta Blangiardo. A space time multivariate Bayesian model to analyze road traffic accidents by severity. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A: Statistics in Society*, 2017.
- [13] Erico Veras Marques e Marco Aurélio Machado. Identificação dos fatores relevantes na decisão da alocação dos recursos econômicos visando um trânsito seguro. *44(6):1379-1404*, 2010.
- [14] Valerie Belton, Glasgow Scotland, and Theodor J Stewart. *Multiple Criteria Decision Analysis - An Integrated Approach*. 2002.
- [15] Carlos A. Bana e Costa. *Readings in Multiple Criteria Decision Aid*. Springer-Verlag, Berlin, 1st edition, 1990.
- [16] Bernard Roy. *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Springer Science-Business Media Dordrecht, 1st edition, 1996.
- [17] Saaty, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83 – 98. 2008.
- [18] ISHIZAKA, A.; NEMERY, P. *Multi-Criteria Decision Analysis - Methods and Software*. 1ª. ed. Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, United Kingdom: Wiley, 2013.
- [19] BRANS & MARESCHAL. *Promethee Methods*. In: Figueira et.al. *Multi-criteria Decision Analysis –State of the Art Surveys*. Ed: Springer Science + Business Media, Inc. 2005.
- [20] Annalia Bernardini, Quantin Hayez, Cathy Macharis, Yves De Smet. Multicriteria analysis of policy options scenarios to reduce the aviation climate impact - an application of the PROMETHEE based D-SIGHT software. OR52 Annual Conference, At Royal Holloway University of London, 2010
- [21] Ramon Bauza, Javier Gozalvez, and Joaquin Sanchez-Soriano. Road traffic congestion detection through cooperative Vehicle-to-Vehicle communications. In *Proceedings - Conference on Local Computer Networks, LCN*, 2010.
- [22] Laurence Turcksin, Annalia Bernardini, and Cathy Macharis. A combined AHP-PROMETHEE approach for selecting the most appropriate policy scenario to stimulate a clean vehicle fleet. In *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2011.
- [23] P. Pitchipoo, D. S. Vincent, N. Rajini, and S. Rajakarunakaran. COPRAS decision model to optimize blind spot in heavy vehicles: A comparative perspective. In *Procedia Engineering*, 2014.
- [24] Seddigheh Babae, Maryam Bagherikahvarin, Renaud Sarrazin, Yongjun Shen, and Elke Hermans. Use of DEA and PROMETHEE II to assess the performance of older drivers. In *Transportation Research Procedia*, 2015.
- [25] Surendra Kukadapwar and Dhananjay Parbat. Estimation of Optimal Path on Urban Road Networks Using AHP Algorithm. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 6(1):13 - 24, 2016.
- [26] Xiaoping Hu, Xiamiao Li, and Yin Huang. Urban Rail Transit Risk Evaluation with Incomplete Information. In *Procedia Engineering*, 2016.
- [27] Jianyou Zhao, Xiaoyu Fu, and Yunjiao Zhang. Research on Risk Assessment and Safety Management of Highway Maintenance Project. In *Procedia Engineering*, 2016.
- [28] Wendan Zhang, Jian Lu, and Yi Zhang. Comprehensive Evaluation Index System of Low Carbon Road Transport Based on Fuzzy Evaluation Method. In *Procedia Engineering*, 2016.
- [29] Yaqin He and Shengpin Du. Classification of Urban Emergency Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process. In *Procedia Engineering*, 2016.
- [30] Viktor Korchagin, Anatoly Pogodaev, Vladimir Kliavin, and Vitali Sitnikov. Scientific Basis of the Expert System of Road Safety. In *Transportation Research Procedia*, 2017.
- [31] Gomes, L. F. A. M.; Araya, M. C. G.; Carignano, C. Tomada de decisão em cenários complexos: introdução aos métodos discretos do apoio multicritério à decisão. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.



JOÃO VICENTE PEREIRA Funcionário do Banco do Brasil S.A, atua na área de gerenciamento de riscos e de capital, é graduado em Estatística pela Universidade de Brasília (UnB), e em Ciências Contábeis pela Fundação Universidade Tocantins, com pós-graduação em Estatística pela Universidade Paulista, e MBA em Gestão de Crédito pela Fundação Getúlio Vargas (FGV). Trabalhou no Instituto Nacional de Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP) como consultor estatístico de 1998-2004. Trabalhou no Departamento de Trânsito do Distrito Federal (Detran-DF) de 2001-2008 como analista de trânsito.



RÔMULO DE MEDEIROS PALMEIRA Possui graduação em Ciências Econômicas pelo Centro Universitário de Brasília - UNICEUB (2001) e pós-graduação em Estatística Aplicada pela Associação de Ensino Unificado do Distrito Federal - AEUDF (2013). Gerenciou microempresa do segmento esportivo no período de 1998 a 2003 (Academia de Ginástica NEW LIFE). É funcionário do Banco do Brasil desde abril de 2000 com a seguinte experiência: Escriturário na Agência Setor Militar Urbano, de 2000 a 2003, exercendo atividades de atendimento aos clientes do segmento pessoa física; Analista Júnior na Diretoria de Crédito, na Divisão de Apoio à Gestão, de 2003 a 2005, apoiando a gestão dos recursos humanos, materiais, tecnológicos e orçamentários da dependência; Assessor Pleno na Diretoria de Crédito, na Gerência de Acompanhamento do Risco de Crédito, de 2005 a 2013, com experiência em análise de risco setorial e de precificação do risco de crédito; Assessor Empresarial no Projeto Basileia II Risco de Crédito, na Divisão de Integração dos Parâmetros de Risco IRB na Gestão, de 2013 a 2016, com experiência nos processos de análise do Escopo IRB, estudos de impacto do cálculo de capital (QIS IRB), estruturação/homologação de dados corporativos para capital, modelagem da volatilidade para capital econômico e apoio à integração na gestão dos subprojetos de capital regulatório/econômico, teste de estresse, painel de risco e monitoramento de modelos. Exerce desde janeiro de 2017 a função de Assessor Empresarial na Diretoria de Gestão de Riscos, Gerência de Modelagem do Risco de Crédito.



ANA CARLA B. REIS Atua na área de Pesquisa Operacional e Gestão da Produção, possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Pernambuco (2005), mestrado (2007) e doutorado (2011) em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Pernambuco. Atualmente é professora adjunta do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade de Brasília e do mestrado de Computação Aplicada da UnB. Tem experiência na área de Engenharia de Produção,

com ênfase em Pesquisa Operacional, atuando principalmente nos seguintes temas: Modelos de Decisão, Decisão Multicritério, Programação e Controle da Produção e Melhoria de processos.

...

)