




METODOLOGIA HIERÁRQUICO-FUZZY PARA AVALIAÇÃO DE ATRATIVIDADE DE PROJETOS: CASOS DE INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA

FUZZY MULTICRITERIA METHODOLOGY FOR EVALUATING PROJECT ATTRACTIVENESS: HIGHWAY CASES

 **Marion Gomes de Moraes Fernandes**
Mestre em Engenharia de Transportes
Instituto Militar de Engenharia – IME
Rio de Janeiro, RJ – Brasil
eng.marionfernandes@gmail.com

 **Renata Albergaria de Mello Bandeira**
Doutorado em Engenharia de Transportes
Instituto Militar de Engenharia – IME
Rio de Janeiro, RJ – Brasil
renatabandeira@ime.eb.br

 **Álvaro Vieira**
Mestre em Engenharia Civil
Instituto Militar de Engenharia – IME
Rio de Janeiro, RJ – Brasil
alvaro@ime.eb.br

Resumo

A atratividade de um projeto é verificada por meio da compatibilidade das demandas do projeto às capacidades organizacionais da instituição responsável pela sua execução. Deste modo, a análise da atratividade de um projeto é essencial para a gestão de portfólio, aumentando as chances de sucesso do empreendimento. Entretanto, poucas pesquisas analisam a atratividade de projetos sob uma ótica ampla, além da atratividade financeira, como verificado nos resultados da revisão sistemática de literatura conduzida nesta pesquisa. Assim, este trabalho propõe uma metodologia para avaliação da atratividade de projetos baseada no método hierárquico-*fuzzy*, considerando a atratividade sob os aspectos técnico-econômico, socioambiental e estratégico. O método é utilizado para compilar notas atribuídas a indicadores referentes a tais critérios, considerando diferentes pesos e incertezas inerentes a projetos. A metodologia foi aplicada a 13 projetos de infraestrutura rodoviária executados no Brasil, estimando-se seus índices de atratividade. Os resultados são comparados a avaliações gerais realizadas após a execução destas obras. Deste modo, foi possível identificar o valor do índice de atratividade a partir do qual as obras apresentaram resultados negativos, possibilitando a sugestão de um Índice de Atratividade mínimo. Enfim, a metodologia proposta é simples, flexível e pode ser amplamente empregada em diversos setores devido a sua praticidade de aplicação. O índice de atratividade proposto pode ser uma ferramenta versátil para auxiliar os gestores de projeto e de portfólio na tomada de decisão quanto a avaliação de execução de projetos.

Palavras-chave: Atratividade. Projetos. Gestão de Portfólio. Lógica *Fuzzy*. Índices. Infraestrutura Rodoviária.

Abstract

The attractiveness of a project is verified through the compatibility of the project's demands with the organizational capacities of the institution responsible for its execution. Thus, the analysis of the attractiveness of a project is essential for portfolio management, increasing the chances of success of the enterprise. However, few studies analyze the attractiveness of projects from a broad perspective, in

addition to financial attractiveness, as seen in the results of the systematic bibliographic review conducted in this research. Thus, this work proposes a methodology for assessing the attractiveness of projects based on the hierarchical-fuzzy method, considering the attractiveness under the technical-economic, socio-environmental and strategic aspects. The method is used to compile grades attributed to indicators referring to such criteria, considering different weights and uncertainties inherent in projects. The methodology was applied to 13 road infrastructure projects carried out in Brazil, estimating their attractiveness indexes. The results are compared to general assessments carried out after the execution of these works. In this way, it was possible to identify the value of the attractiveness index from which the works presented negative results, allowing the suggestion of a minimum Attractiveness Index. The proposed methodology is simple, flexible and can be widely used due to its practical application. The proposed index of attractiveness can be a versatile tool to assist project and portfolio managers in making decisions regarding the evaluation of project execution.

Keywords: Attractiveness. Project. Portfolio Management. Fuzzy Logic. Indexes. Road Infrastructure.

Cite como - American Psychological Association (APA)

Fernandes, M. G. M., Bandeira, R. A. M., & Vieira, A. (2020, set./dez.). Metodologia hierárquico-fuzzy para avaliação de atratividade de projetos: casos de infraestrutura rodoviária. *Revista de Gestao e Projetos (GeP)*, 11(3), 1-25. <https://doi.org/10.5585/gep.v11i3.18637>.

1 Introdução

O “gerenciamento de portfólio de projetos” ou PPM (Project Portfolio Management) tem como objetivo garantir que o conjunto de projetos desenvolvidos, sejam eles independentes ou não, atendam aos objetivos organizacionais (Archer & Ghasemzadeh, 1999; Kendall & Rollins, 2003). De tal modo, o PPM se tornou um fator significativo no sucesso das estratégias de longo prazo das organizações, estando relacionado ao papel dos altos executivos e tomadores de decisões que devem validar os investimentos relevantes, além de formular e implementar metas e objetivos (Castro & Carvalho, 2010).

Neste contexto, destacam-se as “decisões de pré-contrato”, que são questões

estratégicas analisadas antes do vínculo contratual (Lin & Chen, 2004). São essenciais para o executor do empreendimento, já que influenciam seus resultados técnicos, financeiros, reputação, relacionamento com os clientes, entre outros (Araújo, 2018). Uma das decisões críticas de pré-contrato está relacionada a submeter ou não uma proposta (Cheng & Cheng., 2011), uma vez que erros nas decisões desta fase podem aumentar as dificuldades da empresa na gestão do projeto e levá-la, inclusive, à falência (Plebankiewicz, 2014). Portanto, os executores devem participar de empreendimentos que apresentem atratividade no sentido amplo, e não apenas financeiro, ou seja, cujas demandas do projeto sejam compatíveis com suas capacidades técnica, financeira e de gestão, e também estejam alinhados com sua visão estratégica

(Araújo, 2018; Caron, Fumagalli & Rigamonti, 2007; Lin & Chen, 2004).

Esse conceito de atratividade é ainda mais crítico para o setor de infraestrutura de transportes, por se caracterizar por projetos de grande porte que requerem altos investimentos, longos períodos e tecnologia complexa (Liu & Ling., 2015). Assim, os executores, públicos ou privados, necessitam dispensar uma grande quantidade de recursos para a execução desses empreendimentos. Ao mesmo tempo, projetos de infraestrutura de transporte costumam ter baixo desempenho em relação a custos, prazo e qualidade (Eriksson & Westerberg, 2011). Segundo Meng (2012), 35,6% das obras de transporte não são finalizadas no prazo, sendo que 88,2% destas possuem algum tipo de falha ao seu término. Flyvbjerg (2002) analisou projetos de transporte em diversos países, constatando que 90% destes tiveram excedentes de custos.

No contexto internacional, as causas da elevação do custo final das obras de transporte estão associadas à incompatibilidade entre os meios disponíveis da empresa executora e as demandas do projeto. Tais incompatibilidades estão relacionadas a questões financeiras, demora em tomada de decisão e falta de capacidade técnica (Ejaz, 2017). No Brasil, por sua vez, havia 176 empreendimentos rodoviários paralisados em dezembro de 2016, cujos valores financeiros totalizavam R\$ 8 bilhões (Câmara Brasileira da Indústria da Construção [CBIC], 2018). As principais razões para o insucesso destas obras são de

caráter “orçamentário/financeiro”, “motivos técnicos” e erros no processo de tomada de decisão, em especial quanto à atratividade do projeto (Confederação Nacional da Indústria [CNI], 2018; Estache & Saussier, 2014; International Finance Corporation [IFC], 2015).

Assim sendo, a construção civil, em especial o setor de infraestrutura de transportes, beneficia-se de estudos relacionados ao gerenciamento de portfólio de projetos. De tal modo, o presente artigo tem como objetivo propor uma metodologia para avaliação da atratividade de projetos baseada no método hierárquico-fuzzy, considerando a atratividade sob os aspectos técnico-econômico, socioambiental e estratégico. Utiliza-se este método para compilar notas atribuídas a indicadores de atratividade técnico-econômico, socioambiental e estratégico, considerando diferentes pesos e incertezas de projetos. A metodologia foi aplicada a 13 projetos de infraestrutura rodoviária executados no Brasil, estimando-se seus índices de atratividade, comparando-os aos resultados práticos das obras, sugerindo então um índice de atratividade mínimo aceitável.

Este artigo está estruturado da seguinte forma: a seção 1 apresenta a introdução e objetivo, e a seção 2 aborda a metodologia aplicada. Na seção 3 apresenta-se a revisão de literatura sobre indicadores de atratividade de empreendimentos rodoviários. Na seção 4, são propostos os indicadores de atratividade para

os setores privado e público. A seção 5 apresenta a metodologia desenvolvida para cálculo de índice de atratividade e análise de projeto. Na seção 6, a metodologia proposta é validada por aplicação em estudos de caso e os resultados são analisados. A seção 7 é composta pela conclusão e sugestão de trabalhos futuros.

2 Metodologia

A dificuldade de análise, por parte de empresas privadas e instituições públicas, quanto a sua capacidade em executar uma determinada obra de grande porte, pode implicar em prejuízos financeiros a si mesma e à qualidade técnica da obra (Caron *et al.*, 2007). Neste contexto, esta pesquisa tem como objetivo o desenvolvimento de um índice que reflita a atratividade de projetos sob a perspectiva do executor (do projeto e/ou obra), aplicada a empreendimentos de infraestrutura rodoviária, considerando os aspectos técnico-econômico, socioambiental, e estratégico do projeto, de modo a colaborar com o processo de tomada de decisão. Ressalta-se que, mediante adaptações, tal metodologia pode ser aplicada em qualquer setor, sendo uma importante ferramenta para gestores (Carr & Tah, 2001).

Este trabalho buscou responder às seguintes questões de pesquisa: (i) quais são os critérios que os gestores devem avaliar para analisar a atratividade de execução de um projeto de infraestrutura?; (ii) existem indicadores ou um índice que permitam esta

análise?; (iii) quais são os passos a serem seguidos para analisar a atratividade de execução de um projeto de infraestrutura rodoviária?

Para responder as duas primeiras questões de pesquisa, foi desenvolvida uma revisão sistemática de literatura (RSL), conforme metodologia proposta por Thomé, Scavarda e Scavarda (2016), com o objetivo de identificar publicações que proponham indicadores de atratividade para execução de empreendimentos de infraestrutura rodoviária, bem como verificar se as mesmas propuseram um índice de atratividade para esta análise.

Por sua vez, em relação à terceira questão de pesquisa, foi proposta uma metodologia para avaliar a atratividade de projetos utilizando o método hierárquico-*fuzzy*. A teoria de conjuntos *fuzzy* foi introduzida por Zadeh (1965) para lidar com a modelagem de sistemas com fronteiras mal definidas. Desta forma, optou-se por utilizar a lógica *fuzzy* devido a sua possibilidade de converter o conhecimento humano e sua capacidade de tomada de decisão em regras e fórmulas matemáticas (Rajak, Parthiban, & Dhanalakshmi, 2016), uma vez que os processos decisórios referentes à análise de grandes projetos, como o caso de projetos de rodoviários, caracterizam-se por subjetividade e incerteza (Ghoddousi, Nasirzadeh, & Hashemi, 2018).

No contexto da infraestrutura de transportes, Carr e Tah (2001) utilizaram a *fuzzy* para avaliação dos riscos de projetos de

construção. Behnood, Ayati, Brijs, Neghab and Shen (2004) aplicaram a lógica *fuzzy* para apoio à decisão sobre plano de segurança de rodovias. Lin e Chen (2004) utilizaram a *fuzzy* para uma abordagem sobre a decisão de participar em licitações. E Awasthi, Chauhan e Omrani (2011) escolheram a *fuzzy* para avaliação da sustentabilidade de sistemas de transporte.

A metodologia proposta foi aplicada no contexto de execução de obras rodoviárias no Brasil, onde os empreendimentos de infraestrutura podem ser executados por empresas privadas ou pelo Exército Brasileiro (EB). O EB tem papel relevante no desenvolvimento nacional executando média histórica de 3% dos recursos para infraestrutura no país (Medina, 2005). Assim, dada a importância do EB neste contexto, justifica-se a sua escolha como unidade de análise dessa pesquisa.

A aplicação da metodologia proposta permitiu o cálculo do índice de atratividade de 13 obras concedidas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) para execução pelo Exército Brasileiro. Além disso, os especialistas do EB atribuíram conceitos (Bom, Médio e Ruim) aos retornos destas obras para a instituição. Os índices de atratividade dos projetos foram comparados aos conceitos de retorno das obras, permitindo a proposta de um valor para o índice de atratividade mínimo que delimita os projetos atrativos e os não atrativos para a

instituição avaliadora, no caso, o Exército Brasileiro.

3 Revisão sistemática de literatura sobre indicadores de atratividade de projetos rodoviários

Buscou-se identificar na literatura acadêmica, por meio de revisão sistemática de literatura (RSL), pesquisas sobre indicadores de atratividade além do aspecto econômico, considerando as diferentes perspectivas dos setores privado e público. Baseado no resultado da RSL, este artigo apresenta uma proposta de indicadores para a análise da atratividade de projetos rodoviários e auxílio à decisão.

3.1 Pesquisa de indicadores de atratividade para o setor privado

Para a identificação de indicadores de atratividade sob a ótica do setor privado, foi realizada pesquisa nas bases de indexações *ISI Web of Science* e *Scopus*, por serem consideradas as mais relevantes no ramo das engenharias (Mongeon & Paul-Hus, 2016).

A busca foi conduzida com a seguinte combinação de palavras-chave (“*contractors*” AND “*project*” AND “*decision*”), aplicada ao título, resumo e palavras-chave dos artigos, sendo restrita a publicações nos últimos dez anos (2009 à 2020) em periódicos indexados e em congressos. Foram identificadas 1448 publicações, após eliminação de duplicados.

Adotou-se como critério de exclusão: artigos com conteúdo não relacionado a

proposta de indicadores de análise de projeto rodoviário ou auxílio ao processo de tomada de decisão. Assim, após a revisão dos títulos e resumos, foram mantidos 44 artigos para leitura completa, aos quais foram acrescentadas mais 16 publicações identificadas por meio da aplicação do método *Snowball* (Thomé *et al.*, 2016). É importante destacar que, por meio do *Snowball*, foram incluídas publicações fora da restrição temporal (10 anos) aplicada na busca inicial. Assim, um total de 60 publicações foi selecionado para a leitura completa, sendo que, destas, apenas 8 artigos desenvolveram pesquisa para identificação de indicadores de análise de projeto.

Das publicações identificadas na literatura, Dias e Ioannou (1996) analisam quais são as características necessárias que um projeto de infraestrutura deve apresentar para obtenção de sucesso por uma companhia do setor privado, no caso de sua execução. Os autores analisam também quais os requisitos que a empresa deve ter para atender as demandas de tal projeto.

Bageis e Fortune (2009) desenvolveram uma pesquisa *survey*, na qual foram aplicados questionários às construtoras e clientes de forma a identificar os indicadores que mais afetam a decisão, por parte de construtoras, de participação em licitações de obras. Por sua vez, Chan, Lam, Chan, Cheung e Ke (2010) pesquisaram, também por meio da aplicação de questionários, os fatores críticos para o sucesso em empreendimentos de infraestrutura.

Mendes e Caldas (2011) utilizam conceitos de apoio multicritério à decisão para avaliar critérios qualitativos de análise de projetos rodoviários no Brasil, voltados para o transporte de carga. Foram considerados critérios econômicos, sociais, ambientais e de riscos, sob ponto de vista de uma análise de melhor investimento financeiro de uma empresa privada.

Akbiyikli (2013) analisa, por meio de estudos de caso múltiplos, o relacionamento entre a iniciativa privada e o poder público no que diz respeito à empreendimentos de infraestrutura rodoviária. Uma análise de tendência geral é apresentada quanto às características de empresas e projetos para o sucesso do empreendimento.

Dang, Le-Hoai, Kim, Nguyen, Lee e Lee (2017) pesquisaram sobre os padrões de risco encontrados em empreendimentos rodoviários. Em sua pesquisa, um questionário foi respondido por especialistas da iniciativa privada e dados foram coletados sobre os fatores que afetam tais empreendimentos. O resultado da análise indica a probabilidade e o impacto dos fatores de risco dos empreendimentos.

Dabarera, Perera e Rodrigo (2019) estudaram opções de adequação do método de análise de contratação de projetos rodoviários em um país em desenvolvimento. Aos dados coletados, foi aplicada uma ferramenta de análise para detectar as tendências das respostas e atribuir pesos aos fatores

identificados, concluindo sobre indicadores para análise de projetos.

Guevara, Garvin e Ghaffarzadegan (2020) estudam as complexidades da fase de modelagem de uma contratação de parceria público-privada. Os autores verificaram as principais percepções e características de projeto, e suas interdependências, nos quesitos

financeiro, operacional e sociopolítico. O estudo conclui sobre os principais indicadores para análise de viabilidade de projetos para a iniciativa privada.

A Tabela 1 apresenta os indicadores de atratividade identificados, na literatura, para o setor privado.

Tabela 1 - Indicadores de atratividade de projetos sob a ótica do setor privado encontrados na revisão bibliográfica

| INDICADORES DE ATRATIVIDADE SOB PONTO DE VISTA DO SETOR PRIVADO | Dias <i>et al.</i> (1996) | Bageis <i>et al.</i> (2009) | Chan <i>et al.</i> (2010) | Mendes e Caldas (2011) | Akbyrkh (2013) | Dang <i>et al.</i> (2016) | Dabarera <i>et al.</i> (2019) | Guevara <i>et al.</i> (2020) | Número de vezes que foi citado |
|--|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| INDICADORES TÉCNICO-ECONÔMICOS | | | | | | | | | |
| Conformidade do projeto com capacidade de investimento da empresa | X | X | X | X | X | X | X | X | 8 |
| Retorno financeiro do projeto | X | X | X | X | X | X | X | X | 8 |
| Conformidade entre a complexidade técnica do projeto e o conhecimento técnico da empresa | | X | | | X | X | X | X | 5 |
| Possibilidade de alteração de projeto | X | X | | | X | X | | | 4 |
| Dificuldade de acesso à região da obra | X | | | X | X | | | X | 4 |
| Solidez da empresa/consórcio | | X | | | X | X | | | 3 |
| Conveniência do sistema de pagamento do contrato | X | | | | | X | X | | 3 |
| Definição do projeto e especificações | X | X | | | | | X | | 3 |
| Capacidade administrativa operacional da empresa | | X | | | | X | | X | 3 |
| Qualidade do cronograma proposto | X | | | X | X | | | | 3 |
| Disponibilidade de insumo local | | | | | X | X | | X | 3 |
| Capacidade financeira do contratante | X | | | | | | X | | 2 |
| Disponibilidade de equipamentos por parte da empreiteira | X | | | | | | X | | 2 |
| INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS | | | | | | | | | |
| Dificuldade de obtenção de licenças ambientais | | | X | | X | X | | X | 4 |
| Contribuição para economia | | X | X | | | X | | X | 4 |
| Aceitação da comunidade | | X | | | X | | X | | 3 |
| Risco de acidente durante a execução | | | | X | | | | X | 2 |
| Dificuldades climáticas | | | | X | X | | | | 2 |
| INDICADORES ESTRATÉGICOS | | | | | | | | | |
| Aceitação política do projeto | X | X | X | | | X | X | X | 6 |
| Conformidade com visão estratégica da empresa | X | X | | | | | X | X | 4 |
| Dificuldades com subcontratadas | | | | X | X | X | | | 3 |
| Conveniência da alocação dos riscos entre contratado e contratante. | | X | X | | | X | X | | 4 |
| Experiência passada com o contratante | X | | | | | | X | | 2 |
| Transparência do processo de licitatório | | X | | | | | X | | 2 |

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se, por meio da Tabela 1, que há grande preocupação quanto a capacidade de endividamento da empresa e retorno financeiro do empreendimento. Tal fato não é uma surpresa considerando a característica básica de setor privado, que é a saúde financeira da empresa e o lucro.

Nota-se também que a conformidade entre a demanda técnica do projeto e a capacidade da empresa é fator relevante, assim como a aceitação política do empreendimento e dificuldade do acesso ao local das obras. Pode-se interpretar que tais indicadores revelam uma preocupação com fatores que elevem os riscos da empresa com gastos devido a dificuldades financeiras, técnicas, políticas e logísticas.

3.2 Pesquisa de indicadores de atratividade para o setor público

Para esta pesquisa, seguiu-se a mesma metodologia para revisão sistemática da literatura, apresentada na subseção 3.1. Adotou-se a seguinte combinação de palavras-chave “((public) AND (project) AND (decision) AND (indicator))”, sendo identificadas 462 publicações após a exclusão de artigos duplicados.

O mesmo critério de exclusão da seção 3.1 foi adotado. Após a revisão dos títulos e resumos, foram mantidos 69 artigos, aos quais foram acrescentadas cinco publicações identificadas por meio da aplicação do método *Snowball* (inclusive publicações fora da restrição dos últimos 10 anos aplicada na busca inicial). Após a leitura completa (total de 74

artigos), foram identificados apenas seis artigos que propõem indicadores de análise de projetos sob o ponto de vista do setor público.

Das publicações identificadas pela revisão sistemática de literatura, Grant-Muller, Mackie, Nellthorp e Pearman (2001) buscou identificar os critérios mais considerados nos países europeus para tomada de decisão dos governos para implementação de uma rodovia. Ele conclui que os fatores principais para a avaliação de um projeto variam consideravelmente entre os países europeus, de acordo com a cultura e legislação local.

Silva e Netto (2011) utilizam os métodos Delphi, *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) e Método de Análise Hierárquica (MAH) para propor uma metodologia de análise e seleção de projetos de infraestrutura no Brasil, sob a ótica da criação e expansão de condições para o atendimento às demandas sociais e aos requisitos de conservação ou de mitigação dos fatores agressivos ao meio ambiente pelo governo.

Fernández-Sánchez e Rodríguez-López (2011) propuseram um sistema de indicadores para avaliação da sustentabilidade de projetos de infraestrutura rodoviária. Com foco na ótica da sustentabilidade, os autores utilizam o método multicritério para identificar quais são os indicadores de projeto mais relevantes.

Furtado e Barbosa (2013) identificam critérios para priorização de investimentos públicos em infraestrutura de transporte rodoviário no Brasil, utilizando o método

MAH. Os autores concluem que os critérios relacionados a fatores econômicos têm peso preponderante em relação aos demais, enquanto os aspectos sociais apresentam o menor peso.

Bianco (2016) verifica os indicadores mais relevantes do ponto de vista estratégico e melhor aplicação do recurso público. O autor conclui que os decisores podem acabar mudando suas visões ao longo do processo e alterando a hierarquia dos critérios. O autor conclui ainda que a análise estritamente financeira de investimentos na construção de rodovias não é a mais indicada.

Li Ma e Chang (2017), sob a ótica da análise dos riscos de investimento na construção de uma rodovia, verificaram critérios principais e subcritérios e os analisou com redes neurais. Os autores identificaram que os entrevistados alteram seus critérios ao analisar as respostas dos outros entrevistados, o que sugere a incerteza quanto os principais critérios relacionados ao risco de um investimento em rodovia.

Os indicadores propostos pelos autores abordados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Indicadores de atratividade de projetos sob ótica do setor público encontrados pela revisão bibliográfica

| INDICADORES DE ATRATIVIDADE SOB PONTO DE VISTA DO SETOR PÚBLICO | Grant-Muller <i>et al.</i> , (2001) | Silva <i>et al.</i> (2011) | Fernández -Sánchez (2011) | Furtado <i>et al.</i> (2013) | Bianco (2016) | Li Ma (2017) | Número de vezes que foi citado |
|---|-------------------------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------------|---------------|--------------|--------------------------------|
| INDICADORES TÉCNICO-ECONÔMICOS | | | | | | | |
| Disponibilidade orçamentária | X | | | X | X | X | 4 |
| Melhor relação custo/benefício | | X | X | X | | | 3 |
| Complexidade da cadeia logística | X | | X | | X | | 3 |
| Qualidade de cronograma proposto | | X | | | X | X | 3 |
| Conexão modal | X | X | | X | | | 3 |
| Complexidade técnica de engenharia | | | | | X | X | 2 |
| Disponibilidade de insumo local | | | | X | | X | 2 |
| Complexidade com interferências e desapropriações | | | | | X | | 1 |
| INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS | | | | | | | |
| Desenvolvimento regional | X | X | X | X | X | | 5 |
| População beneficiada | X | X | X | | X | | 4 |
| Impacto ao meio ambiente | X | X | X | | X | | 4 |
| Potencial geração de passivos ambientais | | X | X | | | X | 3 |
| Dificuldade para obtenção de licenças ambientais | | | | | X | | 1 |
| INDICADORES ESTRATÉGICOS | | | | | | | |
| Desenvolvimento nacional | X | | | X | | | 2 |
| Proximidade a polos comerciais estratégicos | X | | | | X | | 2 |
| Retorno para a instituição | | | X | X | | | 2 |
| Segurança nacional | | | | | X | | 1 |

Fonte: Elaborado pela autora.

Dos indicadores identificados sob a ótica do setor público, nota-se que maior preocupação com o bem estar geral, diferentemente da ótica do setor privado. Isso se deve a característica do setor público de visar o bem comum.

Contudo, os aspectos econômicos não deixam de ser observados, assim como a relação do custo do empreendimento com o benefício por ela proporcionado. Nota-se forte preocupação com o desenvolvimento regional, quantidade da população beneficiada e o impacto ao meio ambiente gerado pela obra.

Observa-se, por meio da Tabela 2, que as publicações com enfoque no setor público tratam da perspectiva do concedente das obras, ou seja, órgãos públicos propondo empreendimentos para que a iniciativa privada execute. Esses indicadores referentes ao setor público foram utilizados como passo inicial para entrevistas com especialistas, que os alinham à perspectiva do setor público como executor de obras, que é o objeto de análise desta pesquisa.

Por fim, diante dos resultados da RSL, ressalta-se a pouca quantidade de publicações que pesquisem indicadores de atratividade para empreendimentos rodoviários, tanto para o setor privado quanto o público.

4 Proposta de indicadores para atratividade de projetos de empreendimentos rodoviários

Para a identificação e proposta dos indicadores foram realizadas entrevistas com oito especialistas: quatro do setor privado e

quatro do setor público, com experiência em execução, gerenciamento de projetos e tomada de decisão em empreendimentos de infraestrutura rodoviária.

Observou-se que alguns indicadores citados com frequência nas entrevistas com especialistas (marcados com “ * ” na Tabela 3), não haviam sido propostos nas publicações identificadas na RSL. Ao analisar as características de tais indicadores, verificou-se que tratam de questões específicas da dinâmica de contratação e construção nacional, refletindo alguns pontos sensíveis da legislação brasileira, portanto, não presentes na literatura internacional. Assim sendo, estes indicadores foram incluídos na proposta apresentada para melhor refletir as peculiaridades das contratações nacionais.

Os entrevistados também sugeriram a retirada de alguns indicadores identificados na RSL por julgarem não serem fatores relevantes no processo de decisão quanto a participar de um empreendimento rodoviário. Para o setor privado cita-se como exemplo a dificuldade de acesso ao local da obra, a contribuição da obra para a economia local e dificuldades passada com o contratante. Da mesma forma, para o setor público, sob a perspectiva do construtor, cita-se como exemplo de indicadores encontrados na RSL e julgados não relevantes pelos especialistas entrevistados, a conexão modal oferecida pelo projeto, a sua população beneficiada e a proximidade a polos comerciais estratégicos.

De tal modo, propõe-se um conjunto de 24 indicadores de atratividade, agrupados em três categorias: técnico-econômico, socioambiental e estratégico. Destes, 18 se aplicam à iniciativa privada e 10 são aplicados para a perspectiva do setor público como executante de obras, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Proposta de indicadores de atratividade de projetos de empreendimentos rodoviários

| PROPOSTA DE INDICADORES DE ATRATIVIDADE DE PROJETOS DE EMPREENDIMENTOS RODOVIÁRIOS –SETORES PÚBLICO E PRIVADO | | | | |
|--|---|--------------|----------------|----------------|
| INDICADORES TÉCNICO-ECONÔMICOS | | | | |
| Indicadores | Definição | Tipo | Privado | Público |
| Retorno financeiro do projeto. | Lucro líquido que a empresa terá com a execução da obra. | Quantitativo | X | |
| Compatibilidade entre os custos projeto e a capacidade de endividamento da empresa. | Compatibilidade entre os custos inerentes a execução do projeto e a possibilidade de endividamento da empresa para captação de recursos iniciais. | Qualitativo | X | |
| Conveniência do sistema de pagamento do contrato. | Cronograma e metodologia de pagamento para a contratada. | Qualitativo | X | |
| Complexidade com interferências e desapropriações. (*) | Diz respeito a complexidade de possíveis necessidades de remanejamento de tubulações, redes elétricas, e desapropriações. | Qualitativo | X | |
| Possibilidade de equilíbrio de preços de insumos. (*) | Previsão contratual de instrumento que garanta o equilíbrio contratual em caso de variações de preço de insumos. | Qualitativo | X | |
| Segurança jurídica do contrato. (*) | Clareza nos termos do contrato e previsão contratual de situações que possam gerar impasses entre as partes. | Qualitativo | X | |
| Qualidade do cronograma proposto. | Qualidade do cronograma proposto pelo concedente. Reflete se o cronograma considera o real contexto da obra quanto a prazos, condições climáticas, e demais questões que interfiram no prazo. | Qualitativo | X | X |
| Demanda administrativa operacional do projeto. | Conformidade entre a demanda do projeto, no que diz respeito a recursos administrativos e operacionais, e a capacidade de gestão desses recursos por parte da instituição executora. | Qualitativo | X | X |
| Complexidade técnica de engenharia | Compatibilidade entre a demanda técnica do projeto e o conhecimento do corpo técnico da empresa. | Qualitativo | X | X |
| Complexidade da cadeia logística | Complexidade da cadeia logística englobando qualquer recurso necessário para a execução da obra. | Qualitativo | | X |
| INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS | | | | |
| Indicadores | Definição | Tipo | Privado | Público |
| Aceitação da comunidade. | Aceitação do empreendimento pela comunidade. | Qualitativo | X | |
| Risco de acidente durante a execução. | Risco de ocorrência de acidentes durante a execução da obra. | Qualitativo | X | |
| Dificuldades climáticas. | Condições climáticas peculiares que dificultem de sobremaneira a execução da obra naquela região. | Qualitativo | X | |
| Possibilidade de incentivos fiscais devido | Possibilidade da empresa contratada participar de programas sociais ligados a | Qualitativo | X | |

| | | | | |
|---|--|-------------|----------------|----------------|
| a implementação de programas sociais locais. (*) | região da obra e tenha abatimento em imposto de renda. | | | |
| Dificuldade para obtenção de licenças ambientais. | Dificuldade para obtenção de licenciamento ambiental por parte da instituição executora devido à complexidade do empreendimento. | Qualitativo | X | X |
| Complexidade de condicionantes socioambientais. (*) | Ações sociais e/ou ambientais que a instituição executora da obra deverá atender como condição para iniciar a obra. Ex.: construção de casas para comunidade reassentada, ações sociais com comunidade nativa etc. | Qualitativo | X | X |
| Potencial geração de passivos ambientais | Potencial de geração de passivos ambientais associados a execução do empreendimento e que serão responsabilidade da instituição que executa a obra. | Qualitativo | | X |
| INDICADORES ESTRATÉGICOS | | | | |
| Indicadores | Definição | Tipo | Privado | Público |
| Aceitação política do projeto. | Aceitação do projeto junto a classe política | Qualitativo | X | |
| Conformidade com visão estratégica da empresa executora. | compatibilidade entre as características do empreendimento e o alinhamento estratégico/área de atuação da empresa | Qualitativo | X | |
| Conveniência da alocação dos riscos entre contratado e contratante. | Definição contratual das responsabilidades de cada uma das partes | Qualitativo | X | |
| Transparência do processo de licitatório. | Processo licitatório claro e isento. | Qualitativo | X | |
| Potencial de melhora no adestramento do corpo técnico. (*) | A execução da obra traz como retorno à instituição o adestramento do seu corpo técnico. | Qualitativo | | X |
| Potencial de renovação da frota de equipamentos. (*) | Renovação da frota de equipamentos para execução da obra vigente e futuras. | Qualitativo | | X |
| Potencial de melhora na imagem institucional. (*) | Visibilidade positiva adquirida pela instituição aumentando sua credibilidade. | Qualitativo | | X |
| (*) – indicadores inseridos após entrevistas com especialistas | | | | |

Fonte: Elaborado pela autora.

5 Desenvolvimento de índice de atratividade composto para projetos de infraestrutura rodoviária

Esta seção apresenta os passos para o desenvolvimento de um índice composto para avaliação de atratividade de execução de empreendimentos rodoviários.

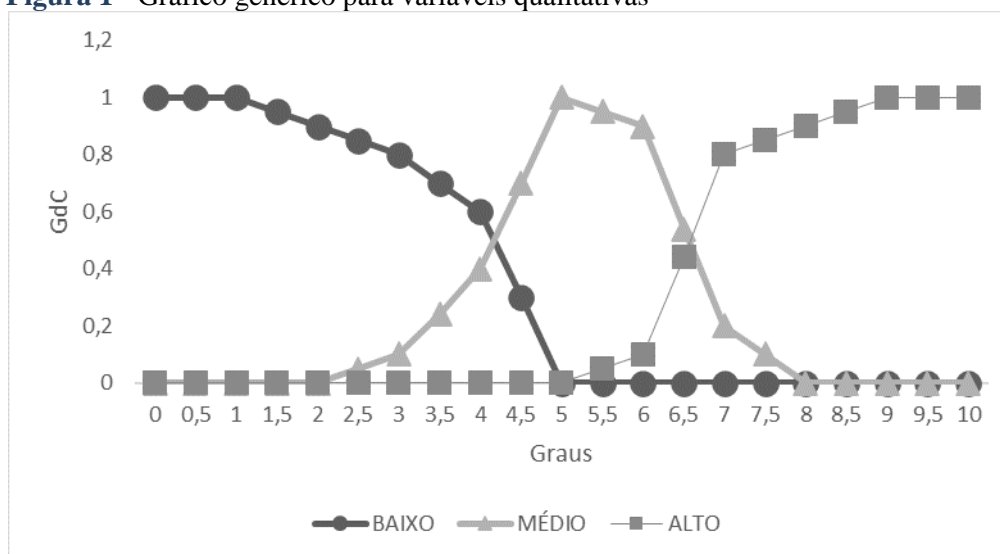
5.1 Definição e tratamento das variáveis de entrada

Recomenda-se a utilização dos indicadores propostos na Tabela 3. Contudo, o método proposto pode ser aplicado em diferentes conjuntos de indicadores, desde que estes de fato representem o problema em

questão. Para tal, adaptações podem ser necessárias.

As variáveis de entrada são convertidas em variáveis linguísticas (Alto, Médio e Baixo, por exemplo) pelo processo de fuzzificação, utilizando conjuntos *fuzzy* conforme descrito por (Dursun & Karsak, 2010). Se a variável de entrada tiver natureza quantitativa, os especialistas podem medi-la em campo ou obtê-la por meio de pesquisa. Para o caso de variáveis qualitativas, deve-se utilizar o gráfico genérico proposto por Cury (1999), apresentado na Figura 1, que traz a relação entre os graus dos indicadores e os Graus de Certeza (GdC) para cada variável linguística.

Figura 1 - Gráfico genérico para variáveis qualitativas



Fonte: Adaptado de Cury (1999).

5.2 Elaboração da arquitetura da rede fuzzy e atribuição de pesos

A elaboração da arquitetura da rede *fuzzy* é uma forma de organizar os blocos de inferência, ou seja, mostrar graficamente quais

variáveis de entrada (*inputs*) devem ser avaliados entre si.

Segundo Von Altrock (1995), a arquitetura da rede *fuzzy* é composta por blocos de inferência, que são estruturas semelhantes

aos neurônios de uma rede neural, capazes de receber entradas, processá-las e produzir saídas. A Figura 3 mostra um exemplo de arquitetura *fuzzy*, considerando os indicadores propostos para o setor público apresentados na Tabela 3.

5.3 Processo de fuzzificação, inferência e defuzzificação

Para o processo de fuzzificação, os especialistas atribuem notas às variáveis de entrada, cujas médias são lidas no gráfico genérico de variáveis qualitativas como proposto por Cury (1999), obtendo-se os Graus

de Certeza (GdC) para cada variável linguística nos blocos de inferência.

Os índices são resultado da agregação das variáveis intermediárias, cujos pesos são atribuídos por especialistas pelo método Método de Análise Hierárquica, em inglês *Analytic Hierarchy Process (AHP)*, proposto por Saaty (1980). Os valores dos índices variam de 0 (menor atratividade) a 10 (maior atratividade).

Adota-se o Método de Mamdani para a inferência, conforme proposto por De Barros, Bassanezi & Lodwick (2017) nas equações 1 e 2.

$$\mu_{jk}^i = \max_i^k \left| \min \left| \mu_{A1^l}(x_1), \mu_{A2^l}(x_2), \mu_{A3^l}(x_3) \right| \right| \text{ para blocos de inferência com três inputs (1)}$$

$$\mu_{jk}^i = \max_i^k \left| \min \left| \mu_{A1^l}(x_1), \mu_{A2^l}(x_2) \right| \right| \text{ para blocos de inferência com dois inputs (2)}$$

Onde: A1, A2, A3: conjuntos *fuzzy* correspondente das variáveis de entrada; l : l -ésima regra do sistema de inferência ($l=1, 2, \dots, r$); r : número total de regras, i : índice do indicador de desempenho (técnico-econômico, socioambiental, estratégico- 1 a 3); j : índice das variáveis intermediárias (1-2); k : índice correspondente ao termo linguístico dos conjuntos *fuzzy* de saída, consequência das regras, variando de $k = 1$ a $k = 5$ (Baixo - B,

Médio Baixo - M/B, Médio - M, Médio Alto - M/A, Alto - A); e μ_{jk}^i = graus de certeza (GdC) do termo linguístico k para cada variável intermediária j para o indicador i .

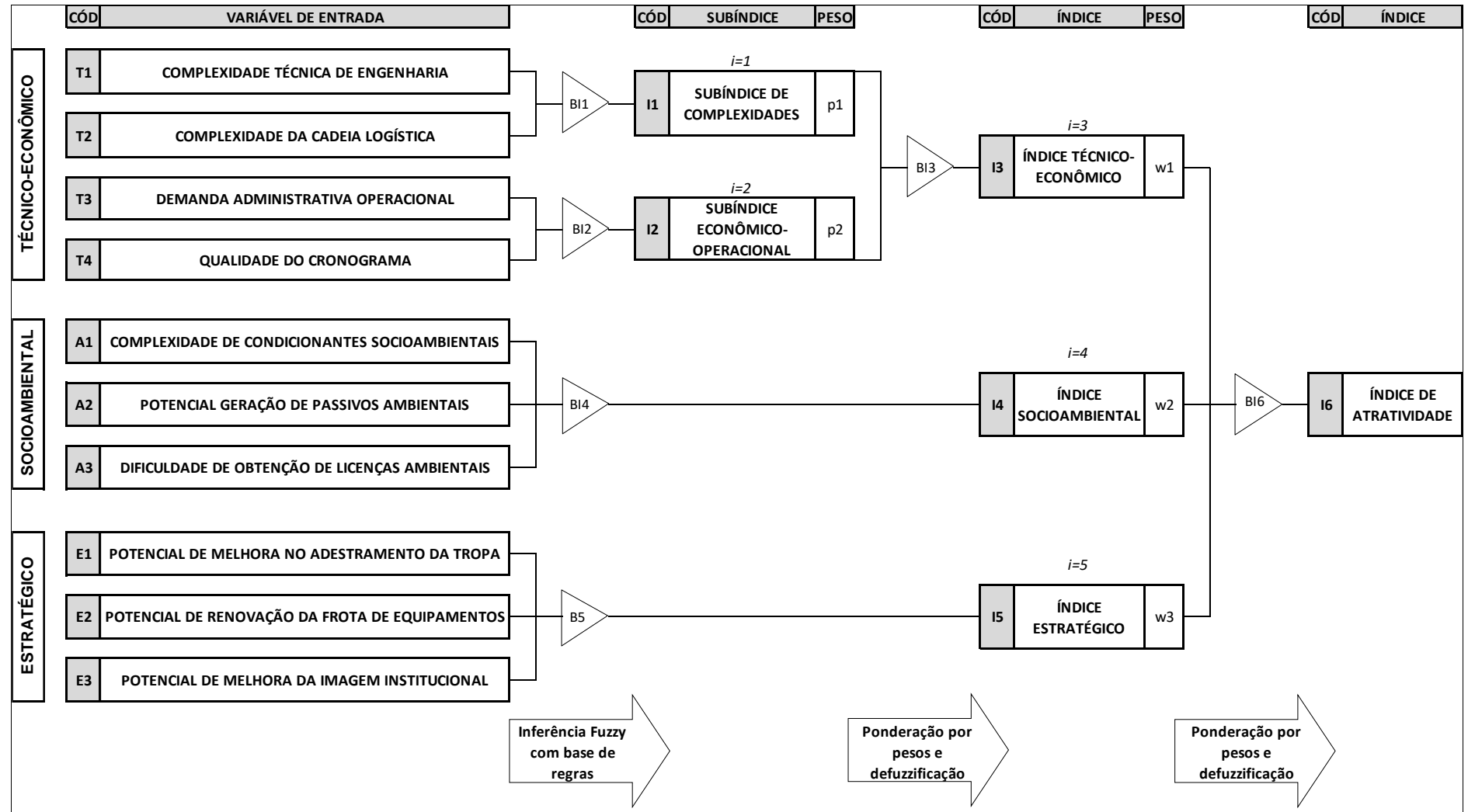
Para cada índice de desempenho i , calcula-se uma matriz $M_{m \times n}^i$ (Eq. 3), cujos elementos μ_{jk}^i representam os graus de certeza do termo linguístico k para cada variável intermediária j .

$$M_{m \times 5}^i = \begin{matrix} & \text{B} & \text{M/B} & \text{M} & \text{M/A} & \text{A} \\ \begin{pmatrix} \mu_{11}^i & \mu_{12}^i & \mu_{13}^i & \mu_{14}^i & \mu_{15}^i \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \mu_{m1}^i & \mu_{m2}^i & \mu_{m3}^i & \mu_{m4}^i & \mu_{m5}^i \end{pmatrix} & & & & \end{matrix} \quad (3)$$

Onde: m : número de variáveis intermediárias do indicador i ; n : número de

termos linguísticos utilizados para as saídas ($n = 5$).

Figura 2 - Exemplo de arquitetura de rede fuzzy



Fonte: Elaborado pela autora.

Diferentes pesos (π_{ij}) podem ser atribuídos para cada variável intermediária de cada índice através do vetor $\pi_{1 \times m}^i$ (Eq. (4)). A estes pesos são aplicados os graus de certeza do termo linguístico k, obtendo-se um vetor linha $A_{1 \times 5}^i$ (Eq.5) para cada indicador i. Os graus de certeza α_{ik} dos termos linguísticos para cada

indicador i são então agregados na Matriz A (Eq. 6) e aplicados ao Método dos Centros de Máximo (Eq. 7) (De Barros *et al.*, 2017). Utiliza-se a notação sugerida por Filippo (2008), para obtenção dos valores de cada índice de atratividade I4 a I6.

$$\pi_{1 \times m}^i = [\pi_{i1} \dots \pi_{im}] \quad (4) \quad A_{1 \times 5}^i = \frac{1}{\sum_{j=1}^m \pi_{ij}} \cdot \pi^i \cdot M^i = [\alpha_{i1} \alpha_{i2} \alpha_{i3} \alpha_{i4} \alpha_{i5}] \quad (5)$$

$$A = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} & \alpha_{14} & \alpha_{15} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} & \alpha_{24} & \alpha_{25} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} & \alpha_{34} & \alpha_{35} \end{bmatrix} \quad (6) \quad S_i = \frac{(\alpha_{i1} \cdot 0) + (\alpha_{i2} \cdot 2.5) + (\alpha_{i3} \cdot 5) + (\alpha_{i4} \cdot 7.5) + (\alpha_{i5} \cdot 10)}{\sum_{k=1}^5 \alpha_{ik}} \quad (7)$$

Determina-se então o vetor Ω (Eq. 8), que atribui o peso ω_i de cada indicador i. Em seguida, o vetor linha $B_{1 \times 5}$ é calculado (Eq. 9 a

11). Cada elemento β_k de $B_{1 \times 5}$ corresponde ao GdC dos termos linguísticos k para o indicador composto.

$$\Omega = [\omega_1 \omega_2 \omega_3] \quad (8) \quad B = \frac{1}{\sum_{i=1}^m \omega_i} \cdot \Omega \cdot A \quad (9)$$

$$B = \frac{1}{\sum_{i=1}^m \omega_i} \cdot [\omega_1 \omega_2 \omega_3] \cdot \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} & \alpha_{14} & \alpha_{15} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} & \alpha_{24} & \alpha_{25} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} & \alpha_{34} & \alpha_{35} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$B = [\beta_1 \quad \beta_2 \quad \beta_3 \quad \beta_4 \quad \beta_5] \quad (11)$$

Finalmente, o índice composto de atratividade (IA) é estimado por meio do método dos centros de máximo (Eq. 12).

$$IA = \frac{(\beta_1 \cdot 0) + (\beta_2 \cdot 2.5) + (\beta_3 \cdot 5) + (\beta_4 \cdot 7.5) + (\beta_5 \cdot 10)}{\sum_{k=1}^5 \beta_k} \quad (12)$$

6 Resultados e discussões

Para a avaliação da atratividade de projetos de infraestrutura rodoviária, aplicou-se o método hierárquico-fuzzy a 13 obras selecionadas do Exército Brasileiro, distribuídas no território nacional. O EB tem papel relevante na execução de rodovias e, por isso, algumas de

suas obras foram escolhidas como estudo de caso. Tais obras apresentam escopos variados como conservação, restauração, duplicação e implantação, de rodovias federais e estaduais.

A aplicação em múltiplos estudos de caso tem como objetivo identificar limitações e fundamentar a sugestão de um valor mínimo do

IA para aceitação de obras pela referida instituição. Por se tratar de obras já iniciadas pelo EB, estas não são identificadas por motivos de sigilo, sendo assim tratadas como casos C1 a C13.

Os cálculos do caso C1 são mostrados a seguir, e ao final da seção apresenta-se o resumo dos resultados de todos os casos.

6.1 Atribuição de pesos às variáveis intermediárias

Seguindo a arquitetura da rede fuzzy proposta na Figura 2 foram comparadas as

variáveis (indicadores) do grupo técnico-econômico (T1, T2, T3 e T4) e dos índices (I3, I4 e I5) – a partir do preenchimento de matrizes de comparação paritária pelos especialistas, por meio da aplicação do método MAH. Desta forma, foram calculados os pesos relativos das variáveis de entrada e verificada a consistência das matrizes. As variáveis dos grupos socioambiental e estratégico tem o mesmo peso e por isso não precisam receber este tratamento.

A Tabela 4 apresenta os pesos p_1 e p_2 dos subíndices de complexidades e econômico-operacional, e os pesos w_1 , w_2 e w_3 dos índices técnico-econômico, socioambiental, estratégico.

Tabela 4 - Pesos das variáveis intermediárias

| CÁLCULO DE p_1 E p_2 | | | | | |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|----------------------------|
| CÓD | ESP 1 | ESP 2 | ESP 3 | MÉDIA | PESO |
| T1 | 0,49 | 0,25 | 0,54 | 0,43 | $p_1 = 0,43 + 0,19 = 0,62$ |
| T2 | 0,31 | 0,16 | 0,11 | 0,19 | |
| T3 | 0,14 | 0,16 | 0,30 | 0,20 | $p_2 = 0,20 + 0,18 = 0,38$ |
| T4 | 0,06 | 0,42 | 0,05 | 0,18 | |
| CÁLCULO DE w_1 , w_2 E w_3 | | | | | |
| CÓD | ESP 1 | ESP 2 | ESP 3 | MÉDIA | PESO |
| I3 | 0,14 | 0,57 | 0,32 | 0,35 | $w_1 = 0,35$ |
| I4 | 0,14 | 0,29 | 0,59 | 0,34 | $w_2 = 0,34$ |
| I5 | 0,71 | 0,14 | 0,09 | 0,31 | $w_3 = 0,31$ |

Fonte: Elaborado pela autora.

6.2 Definição e tratamento das variáveis de entrada

Foram utilizados os indicadores propostos para o setor público (Tabela 3), de

tipo qualitativo e associados aos termos linguísticos Baixo, Médio e Alto, conforme proposto por Cury (1999). A Tabela 5 traz os graus atribuídos pelos especialistas a estas variáveis para o caso C1.

Tabela 5 - Graus atribuídos aos inputs do caso C1 por especialistas

| GRAUS DAS VARIÁVEIS DE ENTRADA | | Caso 1 | | | | | |
|--------------------------------|---|--------|-------|-------|-------|-------|-----|
| INDICADORES | | Esp 1 | Esp 2 | Esp 3 | Esp 4 | Esp 5 | Méd |
| T1 | Complexidade Técnica de Engenharia | 6,0 | 6,0 | 7,0 | 4,0 | 6,0 | 5,8 |
| T2 | Complexidade da Cadeia Logística | 3,0 | 9,0 | 7,0 | 4,0 | 9,0 | 6,4 |
| T3 | Demanda Administrativa Operacional | 7,0 | 6,0 | 7,0 | 7,0 | 8,0 | 7,0 |
| T4 | Qualidade do Cronograma | 6,0 | 6,0 | 7,0 | 3,0 | 3,0 | 5,0 |
| A1 | Complexidade de Condicionantes Socioambientais | 6,0 | 8,0 | 3,0 | 8,0 | 6,0 | 6,2 |
| A2 | Potencial Geração de Passivos Ambientais | 6,0 | 9,0 | 2,0 | 6,0 | 8,0 | 6,2 |
| A3 | Dificuldade de Obtenção de Licenças Ambientais | 7,0 | 7,0 | 2,0 | 8,0 | 8,0 | 6,4 |
| E1 | Potencial de Melhora no Adestramento da Tropa | 7,0 | 6,0 | 7,0 | 7,0 | 8,0 | 7,0 |
| E2 | Potencial de Renovação da Frota de Equipamentos | 6,0 | 7,0 | 6,0 | 6,0 | 7,0 | 6,4 |
| E3 | Potencial de Melhora da Imagem Institucional | 8,0 | 8,0 | 7,0 | 8,0 | 9,0 | 8,0 |

Fonte: Elaborado pela autora.

6.3 Desenvolvimento da arquitetura fuzzy

A arquitetura para os indicadores propostos é a mesma do exemplo da Figura 3, sendo composta de 10 variáveis de entrada, 5 variáveis intermediárias (subíndices e índices), 6 blocos de inferência (BI1 a BI6) e o índice final de atratividade (IA).

6.4 Execução da fuzzificação, inferência e defuzzificação

Após a entrada das médias dos graus no gráfico da Figura 1 e obtenção dos GdC, segue-se com a inferência como descrito na seção 4. Desta forma, foram obtidos os seguintes resultados para o caso C1.

Pelas as variáveis intermediárias I1 e I2, calcula-se I3:

$$M_1 = [0 \ 0,1 \ 0,9 \ 0 \ 0] \quad M_2 = [0 \ 0,8 \ 0,2 \ 0 \ 0] \quad \pi^3 = [0,62 \ 0,38]$$

$$A_3 = [0,62 \ 0,38] \times \begin{bmatrix} 0 & 0,1 & 0,9 & 0 & 0 \\ 0 & 0,8 & 0,2 & 0 & 0 \end{bmatrix} = [0 \ 0,36 \ 0,64 \ 0 \ 0]$$

$$I_3 = \frac{(0 * 0) + (0,36 * 2,5) + (0,64 * 5) + (0 * 7,5) + (0 * 10)}{0 + 0,36 + 0,64 + 0 + 0} = 4,09$$

Pelas variáveis I3, I4 e I5, calcula-se o IA:

$$A_4 = [0,1 \ 0,1 \ 0,9 \ 0 \ 0] \quad I_4 = \frac{(0,1 * 0) + (0,1 * 2,5) + (0,9 * 5) + (0 * 7,5) + (0 * 10)}{0 + 0,1 + 0,9 + 0 + 0} = 4,32$$

$$A_5 = [0 \ 0 \ 0 \ 0,2 \ 0,8] \quad I_5 = \frac{(0 * 0) + (0 * 2,5) + (0 * 5) + (0,2 * 7,5) + (0,8 * 10)}{0 + 0 + 0 + 0,2 + 0,8} = 9,50$$

$$\Omega = [0,35 \ 0,34 \ 0,31]$$

$$B = [0,35 \ 0,34 \ 0,31] \times \begin{bmatrix} 0 & 0,36 & 0,64 & 0 & 0 \\ 0,1 & 0,1 & 0,9 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,2 & 0,8 \end{bmatrix} = [0,03 \ 0,16 \ 0,52 \ 0,06 \ 0,25]$$

$$IA = \frac{(0,03 * 0) + (0,16 * 2,5) + (0,52 * 5) + (0,06 * 7,5) + (0,25 * 10)}{0,03 + 0,16 + 0,52 + 0,06 + 0,25} = 5,82$$

Pelos cálculos acima são obtidos os valores para os índices de atratividade técnico-econômico (I3), socioambiental (I4), estratégico (I5), e por fim, o índice de atratividade final (IA).

Contudo, a análise de tais valores, de forma isolada, não traz a percepção da atratividade do projeto uma vez que, sem comparar com um universo de projetos, não se sabe se um índice de atratividade IA=5,82, por exemplo, representa uma atratividade alta, média ou baixa. Notou-se, então, a necessidade de análise de variados empreendimentos já executados a fim de contextualizar os índices

encontrados e permitir a identificação dos valores que reflitam uma atratividade alta, média ou baixa, conforme apresentado na seção 6.5.

6.5 Índices de atratividade calculados para os casos estudados

Os índices encontrados para os demais casos estudados estão resumidos em ordem decrescente na Tabela 6, que também apresenta a variação percentual entre os índices de atratividade final e os conceitos de retorno das obras atribuídos pelos especialistas.

Tabela 6 - Índices obtidos para os estudos de caso em ordem decrescente e conceitos

| Nº | Casos | Índice Técnico-Econômico | Índice Socioambiental | Índice Estratégico | Índice de Atratividade (IA) | Conceito de Execução | Varição do IA |
|----|-------|--------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------|---------------|
| 1 | C3 | 7,07 | 9,06 | 8,75 | 8,16 | BOM | 10,71% |
| 2 | C12 | 5,82 | 7,22 | 8,75 | 7,28 | BOM | 4,84% |
| 3 | C9 | 3,16 | 9,06 | 10,00 | 6,93 | BOM | 4,53% |
| 4 | C10 | 4,25 | 6,50 | 9,50 | 6,62 | BOM | 1,71% |
| 5 | C2 | 4,19 | 6,50 | 10,00 | 6,50 | BOM | 0,99% |
| 6 | C13 | 2,59 | 7,86 | 8,75 | 6,44 | BOM | 0,02% |
| 7 | C4 | 6,69 | 9,25 | 2,78 | 6,44 | BOM | 8,90% |
| 8 | C11 | 5,68 | 7,86 | 2,78 | 5,86 | BOM | 0,72% |
| 9 | C1 | 4,09 | 4,32 | 9,50 | 5,82 | BOM | 12,46% |
| 10 | C6 | 3,80 | 4,32 | 7,27 | 5,10 | MÉDIO | 0,07% |
| 11 | C7 | 4,28 | 9,75 | 1,36 | 5,09 | MÉDIO | 10,06% |
| 12 | C8 | 2,30 | 7,86 | 2,50 | 4,58 | RUIM | 36,93% |
| 13 | C5 | 6,93 | 0,00 | 1,36 | 2,89 | RUIM | 0,00% |

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se, por meio da Tabela 6, que os casos C3 e C12 foram os únicos que obtiveram valores acima de cinco para os três índices (técnico-econômico, socioambiental e estratégico), atingindo os maiores índices de atratividade final. Tal fato revela a dificuldade de se equilibrar a atratividade dos três aspectos em um mesmo projeto.

Nota-se, ainda, que o índice técnico-econômico tende a ser mais baixo que os demais, indicando a dificuldade de compatibilização entre as demandas do projeto e as capacidades do executor do empreendimento, no que diz respeito a fatores técnicos e econômicos.

6.6 Conceitos de execução e índice de atratividade mínimo

O cálculo do IA resulta em uma pontuação que reflete a atratividade de execução de projetos rodoviários analisados. Para a interpretação dos índices obtidos, foi proposta uma escala que classifica as obras dos estudos de caso quanto a sua execução através de conceitos “Bom”, “Médio” e “Ruim”. Ou seja, compara-se a atratividade calculada dos projetos, aos resultados reais de retorno (ao executor, ou seja, no caso de obras rodoviárias, ao construtor) apresentados nas suas respectivas construções. Os conceitos de retorno das obras foram atribuídos por especialistas.

Observou-se que há uma recorrência de conceitos de execução “Bom” até a posição 10 (caso C1), a partir do qual os conceitos passaram a ser “Médio” ou “Ruim”. Este resultado revela haver uma tendência que relaciona os maiores índices de atratividade aos melhores conceitos de execução das obras. Observa-se que a ausência de conceitos positivos se deu no espaço entre os índices de atratividade dos casos C1 e C6, que são, respectivamente, 5,82 e 5,10.

Outro motivo que colaborou para decisão de considerar o $IA_{\min}=5,82$ foi a variação percentual entre os índices dos casos C1 e C6 (12,46%), a maior variação dentre os casos com conceito “BOM”.

Portanto, de maneira conservadora, optou-se por atribuir ao índice de atratividade $IA=5,82$, a classificação de Índice de Atratividade Mínimo, sugerindo-se que projetos

avaliados com índices de atratividade final inferiores a 5,82 tenham sua execução contraindicada, ou ao menos, avaliada com especial cautela.

7 Conclusão

A atratividade de um projeto pode ser determinada pela compatibilidade entre as demandas do projeto e a capacidade de execução da empresa ou órgão executor. Portanto, um projeto pode ser atrativo para um executor e não ser para outro. A falta de atratividade de um projeto não quer dizer que o projeto não deva ser executado ou que seja de qualidade ruim, mas sim que ele não é compatível para ser executado por determinada empresa ou órgão executor.

A presente pesquisa propõe uma metodologia para a análise da atratividade de projetos. Assim, contribui para a gestão de portfólio pois propõe uma abordagem matemática para embasar o processo de tomada de decisão sobre a inclusão de um determinado projeto na carteira de projetos de uma instituição.

Destaca-se que não foram identificados, por meio da RSL desenvolvida, publicações que proponham uma metodologia para cálculo de índice composto de atratividade de projetos, considerando incertezas e variados aspectos. Os autores identificados na RSL avaliam diversos fatores que influenciam as tomadas de decisão relativas à participação em projetos de infraestrutura de transporte, contudo não avaliam a atratividade de tais projetos da forma

proposta nesta pesquisa. Tal resultado reforça o caráter inovador desta pesquisa, que propõe uma metodologia baseada no método fuzzy-hierárquico para avaliação de atratividade de projetos através de um índice composto, considerando aspectos técnico-econômicos, socioambientais e estratégicos.

A metodologia proposta emprega a lógica *fuzzy* e métodos de análise hierárquica. Por um lado, a lógica *fuzzy* permite incorporar o conhecimento de especialistas, considerando a subjetividade e as incertezas envolvidas no processo de avaliação. Por outro lado, métodos de análise hierárquica permitem adotar pesos diferentes para indicadores distintos. A união dos métodos permitiu o cálculo de um índice de atratividade composto para projetos.

Aplicou-se a metodologia em casos de projetos de infraestrutura rodoviária. A metodologia apresentou-se adequada para tratar o problema de tomada de decisão sobre a participação na execução de empreendimentos rodoviários, dada a subjetividade e a vagueza de grande parte dos indicadores considerados, características relevantes para utilização da lógica *fuzzy*. Assim, dado o conceito de atratividade considerado neste trabalho, a verificação da atratividade dos projetos por meio de um índice composto que considera aspectos técnico-econômicos, socioambientais e estratégicos, contribui para a redução do risco de insucesso do empreendimento.

Ao aplicar a metodologia a projetos cujas obras já foram executadas, foi possível comparar os índices de atratividade dos projetos

aos resultados práticos de suas obras. O valor do maior índice de atratividade do projeto cuja obra não teve um resultado positivo foi considerado o Índice de Atratividade Mínimo (IA_{\min}). Ou seja, foi possível sugerir um índice mínimo para indicação de execução da obra de um determinado projeto. Ressalta-se que o valor sugerido de IA_{\min} é resultado de aplicação do método hierárquico-fuzzy considerando os indicadores específicos para o caso de execução de empreendimentos rodoviários pelo EB, assim como pesos e conceitos atribuídos pelos especialistas entrevistados.

A aplicação desta metodologia, além de contribuir com a gestão de portfólio, também possibilita empresas e órgãos públicos a identificar deficiências em suas estruturas organizacionais, identificando oportunidades de melhoria e aumentando as chances de sucesso em seus empreendimentos.

Como limitações encontradas na metodologia proposta, pode-se destacar a indicação de restringir o número de variáveis lingüísticas até o máximo de 3 em cada bloco de inferência, de modo a reduzir o número de regras oriundas da combinação destas variáveis. Outra limitação é ocorrência de pesos e indicadores para casos específicos, havendo a necessidade de adaptação para aplicação em outros contextos de estudo.

É importante destacar que a metodologia proposta pode ser aplicada em diversos outros contextos de tomada de decisão, públicos e privados, e em diversos outros segmentos além da infraestrutura de transporte,

adaptando-se os indicadores, pesos e conceitos, e identificando o IA_{\min} para o contexto em questão. Esta possibilidade de adaptação e aplicação em outras áreas reforça a relevância da metodologia proposta, que, em pesquisas futuras, pode ser aplicada a diferentes objetos de análise.

Enfim, a metodologia proposta é simples, flexível e de grande aplicabilidade. O índice de atratividade proposto (IA) pode ser adotado para auxiliar diferentes atores (governo, empresas, sociedade) no auxílio à tomada de decisão de forma embasada e realista afim de aumentar as chances de resultados positivos.

Referências

- Akbıyıklı, R. (2013). Performance assessment of a private finance initiative road project. *Transport*, 28(1), 11–24.
- Alencar, L. H., Almeida, A. T. de, & Mota, C. M. de M. (2007). Sistemática proposta para seleção de fornecedores em gestão de projetos. *Gestão & Produção*, 14(3), 477–487.
- Araújo, M. C. B. (2018). *Modelo de apoio a decisão para avaliação de atratividade de projeto e estimação de Mark-up*. Tese de Doutorado. – Recife - PE, 2018. p. 126.
- Archer, N. P., & Ghasemzadeh, F. (1999). An integrated framework for project portfolio selection. *International Journal of Project Management*, 17(4), 207–216.
- Awasthi, A., Chauhan, S. S., & Omrani, H. (2011). Application of fuzzy TOPSIS in evaluating sustainable transportation systems. *Expert Systems with Applications*, 38(10), 12270–12280
- Bageis, A. S., & Fortune, C. (2009). Factors affecting the bid/no bid decision in the Saudi Arabian construction contractors. *Construction Management and Economics*, 27(1), 53–71.
- Behnood, H. R., Ayati, E., Brijs, T., Neghab, M. P., & Shen, Y. (2017). A fuzzy decision-support system in road safety planning. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport*, 1–13.
- Bianco, G. L. (2016). *Metodologia para auxiliar a Tomada de Decisão Gerencial na priorização de investimentos públicos em rodovias utilizando-se da análise multicritério*. Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília.
- BSI. (2000). British Standard Institute. *Guide to Project Management*. BS 6079. BSI, UK.
- Caixeta-Filho, J. (2001). Martins, R. *Gestão Logística do Transporte de Cargas*. 1ª Ed. São Paulo: Atlas.
- Câmara Brasileira Da Indústria Da Construção. (2018). CBIC. *Impacto Econômico e Social da paralisação das Obras Públicas*. Brasília.
- Campos Neto C. A. S. (2014) *TD 2014 - Investimentos na Infraestrutura de Transportes: Avaliação do Período 2002-2013 e Perspectivas para 2014-2016*. Disponível em: http://ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=24236. Acesso em: 2 abr. 2020.
- Caron, F., Fumagalli, M., & Rigamonti, A. (2007). Engineering and contracting projects: A value at risk based approach to portfolio balancing. *International Journal of Project Management*, 25(6), 569–578. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2007.01.016>
- Carr, V., & Tah, J. H. M. (2001). A fuzzy approach to construction project risk assessment and analysis: Construction project risk management system. *Advances in Engineering Software*, 11.
- Castro, H. G. de, & Carvalho, M. M. de. (2010). Gerenciamento do portfólio de projetos: Um estudo exploratório. *Gestão & Produção*, 17(2), 283–296.
- Chan, A. P. C., Lam, P. T. I., Chan, D. W. M., Cheung, E., & Ke, Y. (2010). Critical Success Factors for PPPs in Infrastructure Developments: Chinese Perspective. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(5), 484–494.
- Cheng, C., & Cheng, C. (2011). Available-to-promise based bidding decision by fuzzy mathematical programming and genetic algorithm. *Industrial Engineering*, 10.

- Confederação Nacional Da Indústria. (2018). – CNI. *Grandes Obras Paradas: como enfrentar o problema?* Brasília.
- Cury, M. V. Q. (1999). *Modelo Heurístico Neuro-Fuzzy para Avaliação Humanística de Projetos de Transporte Urbano*. Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, COPPE-UFRJ.
- Dabarera, G. K. M., Perera, B. A. K. S., & Rodrigo, M. N. N. (2019). Suitability of public-private-partnership procurement method for road projects in Sri Lanka. *Built Environment Project and Asset Management*, 9(2), 199–213.
- De Barros, L. C., Bassanezi, R. C., & Lodwick, W. A. (2017). *A First Course in Fuzzy Logic, Fuzzy Dynamical Systems, and Biomathematics* (Vol. 347). Springer Berlin Heidelberg.
- Diretoria De Obras Militares (2020). - DOC. Disponível em: <http://www.doc.eb.mil.br/home.php?pg=historico>. Acesso em: 08/06/2020.
- Dursun, M., & Karsak, E. E. (2010). A fuzzy MCDM approach for personnel selection. *Expert Systems with Applications*, 37(6), 4324–4330.
- Ejaz, N. (2017). *Assessment of delays and cost overruns during construction projects in Pakistan*. 9.
- Eriksson, P. E., & Westerberg, M. (2011). Effects of cooperative procurement procedures on construction project performance: A conceptual framework. *International Journal of Project Management*, 29(2), 197–208. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.01.003>
- Estache, A.; & Saussier, S. (2014). *Public Private Partnerships and Efficiency*, IAE Pantheon Sorbonne.
- Estruturação de Projetos de PPP e Concessão no Brasil. (2015). Diagnóstico do modelo brasileiro e propostas de aperfeiçoamento. *International Finance Corporation (IFC)*.
- Fernández-Sánchez, G., & Rodríguez-López, F. (2011). Propuesta para la integración de criterios sostenibles en los proyectos de ingeniería civil: Un caso práctico. *Informes de la Construcción*, 63(524), 65–74.
- Fewings, P. (2015). *Construction Project Management: an integrated approach*. New York: Taylor & Francis.
- Filippo, S. (2008). *Metodologia para gerenciamento do passivo ambiental de rodovias utilizando métodos de apoio à tomada de decisão*. 338. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio de Janeiro – PET – COPPE
- Flyvbjerg, B., Holm, M. S., & Buhl, S. (2002). Underestimating Costs in Public Works Projects: *Error or Lie?* *Journal of the American Planning Association*, 68(3), 279–295.
- Furtado, G. R., & Barbosa, H. M. (2013). *Análise multicritério para priorização de investimentos em rodovias: estudo de caso BR-040, BR-116 e BR-38*. 4.
- Ghoddousi, P., Nasirzadeh, F., & Hashemi, H. (2018). Evaluating Highway Construction Projects' Sustainability Using a Multicriteria Group Decision-Making Model Based on Bootstrap Simulation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(9), 04018092.
- Girardi, L. R., Rabechini Junior, R., & Moutinho, J. da A. (2017). Caracterização da gestão de fatores de risco em projetos de infraestrutura. *Gestão & Produção*, 25(1), 30–43.
- Grant-Muller, S. M., MacKie, P., Nellthorp, J., & Pearman, A. (2001). Economic appraisal of European transport projects: The state-of-the-art revisited. *Transport Reviews*, 21(2), 237–261.
- Guevara, J., Garvin, M. J., & Ghaffarzaghan, N. (2020). The Forest and the Trees: A Systems Map of Governance Interdependencies in the Shaping Phase of Road Public–Private Partnerships. *Journal of Management in Engineering*, 36(1), 04019031.
- Hodge, D. R., & Gillespie, D. F. (2007). Phrase Completion Scales. A better measurement approach than Likert scales? *Journal of Social Service Research*, v. 33, n. 4, p. 1–12
- Kendall, G. I., & Rollins S. C. *Advanced project portfolio management and the PMO: multiplying ROI at warp speed*. Fort Lauderdale: Ross Publishing, 2003.
- Li Ma, & Yiming Chang. (2017). Highway construction investment risk evaluation using BP neural network model. *2017 6th International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM)*, 154–158.

- Lin, C.-T., & Chen, Y.-T. (2004). Bid/no-bid decision-making – a fuzzy linguistic approach. *International Journal of Project Management*, 9, 22: 585–593, 2004
- Liu, M., & Ling, Y. Y. (2005). Modeling a Contractor's Markup Estimation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(4), 391–399.
- Medina H. (2020). Empreiteiras combatem o uso do Exército em obras. *Folha de S. Paulo*. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/dinheiro/i0611200508.htm> Acesso em: 26 Ago 2020.
- Mendes, E. C., & Caldas, M. (2011). *Aplicação de análise multicritério em projetos de investimentos em infraestrutura de transportes de carga no Brasil*. 9. Artigo apresentado em congresso. In: XLIISBPO. Bento Gonçalves, RS, agosto de 2011.
- Meng, X. (2012). The effect of relationship management on project performance in construction. *International Journal of Project Management*, 30(2), 188–198.
- Mongeon, P., & Paul-Hus, A. (2016). The journal coverage of Web of Science and Scopus: A comparative analysis. *Scientometrics*, 106(1), 213–228.
- Plebankiewicz, E. (2014). Modelling decision-making processes in bidding procedures with the use of the fuzzy sets theory. *International Journal of Strategic Property Management*, 18(3), 307–316.
- Rajak, S., Parthiban, P., & Dhanalakshmi, R. (2016). Sustainable transportation systems performance evaluation using fuzzy logic. *Ecological Indicators*, 71, 503–513.
- Shafahi, A., & Haghani, A. (2014). Modeling contractors' project selection and markup decisions influenced by eminence. *International Journal of Project Management*, 32(8), 1481–1493.
- Silva R. B., & Netto M. A. C., (2011). *Uma estrutura de apoio à decisão para orientar a escolha de projetos prioritários para a infraestrutura de transporte do Brasil*. Artigo apresentado em congresso. In: XLIISBPO. Bento Gonçalves, RS, agosto de 2011.
- Thomé, A. M. T., Scavarda, L. F., & Scavarda, A. J. (2016). Conducting systematic literature review in operations management. *Production Planning & Control*, 27(5), 408–420.
- Valeriano, D. L. (2001). *Gerenciamento estratégico e administração por projetos*. Makron Books. São Paulo.
- Zadeh, L. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3):338 – 353