



Análise multicritério e tomada de decisão espacial aplicada à análise de alternativas de investimento em transmissão de energia elétrica

Petr I. Ekel, Adriano C. Lisboa, Joel G. Pereira Jr., Douglas A. G. Vieira, Livia Maria L. da Silva e Marcos F. S. V. D'Angelo

No atual modelo de administração do Setor Elétrico Brasileiro, o Estado é responsável não apenas por indicar, mas também determinar como ocorre a expansão do Sistema Interligado Nacional, garantindo um nível de segurança de suprimento alinhado às perspectivas de desenvolvimento econômico do país. Assim, a prestação do serviço público de transmissão acontece por meio de concessões, que são garantidas por meio de processo licitatório. Este é de responsabilidade da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), órgão regulador do setor elétrico no país, que disponibiliza, junto aos editais de licitação de empreendimentos em transmissão de

energia elétrica, relatórios com informações sobre os itens que fazem parte de cada lote leiloado, incluindo subsídios para a escolha do corredor principal para as linhas de transmissão (LTs).

Além de serem importantes para a futura implantação, essas informações são relevantes para a tomada de decisão realizada por cada competidor sobre a participação ou não no leilão e sobre a composição de sua proposta para cada lote de interesse. Porém, tais documentos são publicados em data próxima ao leilão, sendo pequeno o tempo disponível para analisar eficientemente os empreendimentos previstos. Assim, costuma ser vantajoso para o competidor antecipar os estudos por conta própria,

buscando melhores propostas, com maiores chances de arrematar os lotes.

O problema do gerenciamento do processo de análise simultânea de alternativas de investimento em transmissão de energia elétrica, na fase de prospecção, envolve a busca do aumento da eficiência de concessionárias (geralmente, investidores) na sua preparação para participar dos leilões de novos empreendimentos promovidos pela ANEEL.

Priorização dos empreendimentos

Para que a antecipação dos estudos feitos pelos competidores seja realizada

com eficiência, evitando desperdícios de recursos investidos na análise de empreendimentos possivelmente muito arriscados ou, no geral, pouco atrativos, é recomendável fazer antes uma priorização dos empreendimentos que serão sondados. Uma vez que, nesse ponto, ainda não existem informações suficientes para a

em licitação no futuro é relevante para o setor. É de interesse das concessionárias o desenvolvimento de uma abordagem que as possibilite pré-selecionar um conjunto de empreendimentos com maior atratividade, antecipando sua preparação para os leilões de transmissão e racionalizando o uso dos recursos disponíveis para esse fim.

que permitem aproveitar a maior parte das informações quantitativas e qualitativas relevantes ao processo de avaliação de novos empreendimentos, incluindo informações sobre as LTs e sobre as áreas geográficas em que estas serão instaladas, assim como informações derivadas do conhecimento, da experiência e da intuição de especialistas. Desse modo, é possível estimar o traçado preferencial das LTs e antecipar estimativas para os correspondentes custos e para o nível geral de atratividade destas para a concessionária. Dadas as restrições orçamentárias e de tempo a que estão submetidas as empresas, as estimativas de avaliação podem ser utilizadas para priorizar os empreendimentos futuros, permitindo a seleção de um subconjunto de alternativas cujo estudo deve ser antecipado.

A abordagem proposta é caracterizada por uma análise do problema em dois estágios. O primeiro inicia-se com o



Crédito: jcomp / Freepik

definição final do corredor e dos traçados preferenciais das LTs, existe a necessidade de estabelecer uma metodologia que permita reunir a maior parte das informações já disponíveis. O objetivo é gerar estimativas para as avaliações de custo-benefício, priorizando os empreendimentos de acordo com a racionalidade da antecipação dos estudos por parte da concessionária.

Tendo isso em mente, o desenvolvimento de modelos adequados e métodos computacionalmente eficientes para a escolha de projetos de empreendimentos em transmissão de energia elétrica que serão colocados

Em geral, as concessionárias aguardam a publicação do edital para analisar os empreendimentos licitados. Além disso, elas

É de interesse das concessionárias o desenvolvimento de uma abordagem que as possibilite pré-selecionar um conjunto de empreendimentos com maior atratividade

costumam aplicar todas as etapas do processo de análise a todos os empreendimentos/lotes disponíveis.

Análise em dois estágios

Neste sentido, foram desenvolvidas ferramentas

levantamento de critérios, com um alto nível de incerteza associado a seus valores, relevantes para a decisão, o que permite a formulação de um problema multicritério cuja resolução oferece uma opção de traçado para uma LT pertencente a um

determinado lote. Em seguida, é aplicado o esquema geral para tomada de decisão multiobjetivo em condições de incerteza, apresentando o desempenho das melhores alternativas de solução em diferentes cenários de análise, o que leva a soluções robustas, ou seja, com alta qualidade.

Já o segundo estágio busca avaliar e ordenar as soluções de acordo com critérios adicionais (quantitativos e/ou qualitativos), tendo como base o conjunto de lotes analisados na primeira etapa, com o objetivo de definir o portfólio das áreas mais

utilização de formatos diferentes para a representação matemática de preferências, que são posteriormente uniformizados por meio de funções de transformação que permitem a conversão de todos os formatos para relações de preferência *fuzzy*.

Uma melhoria global

Assim, o que define a abordagem é o uso amplo e racional de tecnologias, conceitos e métodos tipicamente utilizados na composição de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), incorporando o uso de

investimentos sejam avaliados não apenas por suas atratividade e viabilidade, mas também de acordo com uma grande variedade de considerações, incluindo as metas e o plano estratégico da concessionária.

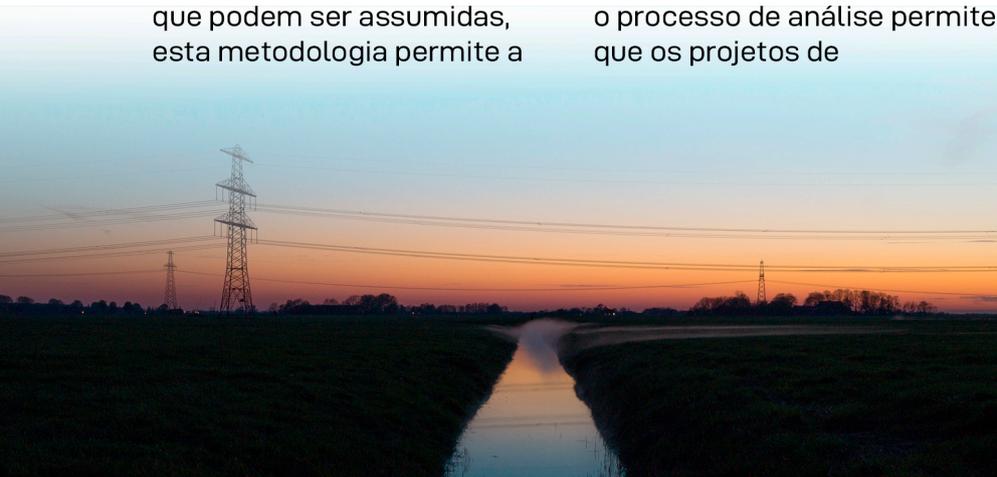
Os resultados alcançados podem levar a um aperfeiçoamento dos processos internos das empresas que atuam como agentes do Sistema Interligado Nacional, garantindo uma melhoria da qualidade e da confiabilidade de seus produtos e serviços. Ao aprimorar a antecipação da parte de preparação das

Os resultados alcançados podem levar a um aperfeiçoamento dos processos internos das empresas que atuam como agentes do Sistema Interligado Nacional, garantindo uma melhoria da qualidade e da confiabilidade de seus produtos e serviços.

apropriadas para a implementação das LTs. Utilizam-se aqui os fundamentos metodológicos dos modelos $\langle X, R \rangle$ de decisão, que são apoiados na construção e no processamento de preferências em ambiente *fuzzy*. De forma a refletir as variadas atitudes de decisão que podem ser assumidas, esta metodologia permite a

uma grande diversidade de dados geográficos relevantes para avaliação e determinação de estimativas para os custos de instalação e socioambiental dos empreendimentos futuros, assim como para estimar seus níveis de atratividade para as concessionárias de transmissão. Mais do que isso: o processo de análise permite que os projetos de

concessionárias para participar dos leilões de transmissão, é possível aumentar a chance de arrematar os lotes com menos gastos de recursos, ou seja, de modo mais eficiente. Além de permitir uma vantagem significativa em termo de competitividade para as concessionárias que seguem os procedimentos recomendados, o aprimoramento pode auxiliar numa melhoria global no desempenho sistêmico do setor elétrico nacional. Finalmente, vale destacar que os modelos e métodos desenvolvidos possuem um caráter universal, podendo ser utilizados para a análise de uma ampla classe de problemas de engenharia.





Petr Iacovlevitch Ekel

pekel@superig.com.br

Laboratório Associado ao INCT-INSID
Modelagem, Otimização e Controle de
Sistemas Complexos
PUC Minas



O pesquisador

Petr I. Ekel possui Graduação em Engenharia Elétrica e graus M.Sc. e Ph.D. pela Universidade Técnica Nacional da Ucrânia "Instituto Politécnico de Kiev" e D.Sc. (habil.) pelo Instituto de Eletrodinâmica da Academia de Ciências da Ucrânia. Tem títulos de Cientista Sênior, Professor Titular e Acadêmico (Academia de Ciências de Engenharia da Ucrânia). Atualmente, é professor titular da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, orientador de teses de doutorado da Universidade Federal de Minas Gerais e diretor executivo da ASOTECH. Seus interesses de pesquisa incluem a modelagem, otimização e controle de sistemas e processos e a tomada de decisão em cenários complexos. É bolsista de produtividade em pesquisa do CNPq.

Colaboradores

Adriano C. Lisboa
Joel G. Pereira Jr.
Douglas A. G. Vieira
Lívia Maria L. da Silva
Marcos F. S. V. D'Angelo



Referências

P. Ya. Ekel, A. C. Lisboa, J. G. Pereira, D. A. G. Vieira, L. M. L. Silva, M. F. S. V. D'Angelo, Two-stage multicriteria georeferenced express analysis of new electric transmission line projects, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 108, 2019, 415-431.

J. Malczewski, GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature, *International Journal of Geographical Information Science*, 20, 2006, 703-726.

E.W. Dijkstra, A note on two problems in connexion with graphs, *Numerische Mathematik*, 1, 1959, 269-271.

P. Ekel, I. Kokshenev, R. Parreiras, W. Pedrycz, and J. Pereira Jr., Multiobjective and multiattribute decision making in a fuzzy environment and their power engineering applications, *Information Sciences*, 361-362, 2016, 100-119.

W. Pedrycz, P. Ekel, and R. Parreiras, *Fuzzy Multicriteria Decision-Making: Models, Methods and Applications*. New York/Chichester/Brisbane: John Wiley and Sons, 2011.

P. Ekel, W. Pedrycz, and J. Pereira Jr., *Multicriteria Decision-Making under Conditions of Uncertainty: A Fuzzy Set Perspective*. New York/Chichester/Brisbane: John Wiley and Sons, 2020.