LVI SBPO SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL
DE 04 ATÉ 07 NOVEMBRO 2024
FORTALEZA | CEARÁ

MODELO EXPLORATÓRIO PARA SELEÇÃO DE SUBCONTRATADOS DE CONSTRUÇÕES EM PARQUES EÓLICOS: UMA ABORDAGEM DE TOMADA DE DECISÃO MULTCRITÉRIO

Francisco Amadeu Monteiro do Nascimento
UFPE – Universidade Federal de Pernambuco
Av. Prof. Moraes Rego, 1235 – Cidade Universitária, Recife - PE
francisco.amadeu@ufpe.br

George da Mota Passos Neto
UFPE – Universidade Federal de Pernambuco
Av. Prof. Moraes Rego, 1235 – Cidade Universitária, Recife - PE
george.mpassos@ufpe.br

Luciana Hazin Alencar
UFPE – Universidade Federal de Pernambuco
Av. Prof. Moraes Rego, 1235 – Cidade Universitária, Recife – PE
alencarlh@insid.org.br

Rodolfo Valdes-Vasquez
Colorado State University – Construction Management Departament
Fort Collins, CO 80523, USA
rvaldes@colostate.edu

RESUMO

A energia eólica tornou-se essencial para a geração de eletricidade no Brasil, aproveitando os recursos eólicos principalmente da região Nordeste. Em relação à seleção de subcontratados para construção de parques eólicos, difere dos projetos de engenharia convencionais devido à complexidade técnica e necessidade de especialização no setor. Ademais, a seleção inadequada dos subcontratados podem comprometer o prazo das entregas contratuais. Portanto, para enfrentar esse desafio o estudo propõe um modelo utilizando o método FITradeoff com uma solução para o problema de decisão em uma racionalidade compensatória.

PALAVRAS CHAVE. Decisão Multicritério, Seleção de Subcontratados, Parque Eólico, Gestão de Projetos de Construção.

Apoio à Decisão Multicritério, FITradeoff, Simulação

ABSTRACT

Wind energy has become essential for electricity generation in Brazil, taking advantage of wind resources mainly in the Northeast region. The selection of subcontractors for wind farm construction differs from conventional engineering projects due to the technical complexity and need for specialization in the sector. Inadequate selection of subcontractors can compromise the timing of contractual deliveries. To address this challenge, the study proposes an model using the FITradeoff method with a solution to the decision problem based on compensatory rationality.
KEYWORDS. Multicriteria Decision, Subcontractor Selection, Wind Farm, Construction Project Management.
Multicriteria Decision Support, FITradeoff, Simulation

https://proceedings.science/p/193717?lang=pt-br

1. Introdução

Nos últimos anos, houve uma mudança significativa em direção a projetos de infraestrutura sustentáveis. De acordo com o Conselho Global de Energia Eólica (GWEC), a capacidade instalada global de energia eólica atingiu um terawatt (TW) em 2023, destacando dentre as fontes o papel crucial da energia eólica na descarbonização do sistema energético global (GWEC, 2023). Projetos recentes impulsionaram essa capacidade, atendendo às ambições crescentes dos governos em todo o mundo.

A construção de infraestruturas sustentáveis envolve desafios multifacetados que abrangem fatores ambientais, sociais, econômicos e tecnológicos (Kivilä et al., 2017). A seleção de fornecedores impacta diretamente o desempenho organizacional, a qualidade dos produtos e o tempo de execução, destacando a importância de um processo de seleção criterioso e bem estruturado (Alencar e De Almeida, 2008).

O FITradeoff é um método de tomada de decisão multicritério projetado para ser flexível e interativo, permitindo ao decisor explorar diferentes cenários, no qual tem o processo de elicitação dos pesos (constante de escala, k) com base na preferência do decisor. Esse método ajuda a visualizar e analisar as compensações entre várias alternativas em contextos complexos, permitindo que as decisões sejam tomadas de forma mais informada e fundamentada. (de Almeida et al., 2016).

Diante desse contexto, este artigo tem como objetivo apresentar um modelo para selecionar os fornecedores subcontratados para a construção do escopo civil de parques eólicos utilizando o FITradeoff como método para o desenvolvimento.

2. Metodologia exploratória para seleção de subcontratados da construção civil em parques eólicos

A primeira etapa do processo consiste em identificar os tomadores de decisão e outros atores envolvidos. Após identificar os stakeholders relevantes, os objetivos do problema são definidos através de discussões com especialistas e tomadores de decisão O principal objetivo é adquirir insumos e serviços de subcontratados que atendam às necessidades do projeto conforme o cronograma e requisitos técnicos, evitando atrasos e mantendo o equilíbrio financeiro do contrato. Nesta fase, também são estabelecidos os critérios para avaliar os subcontratados de forma eficaz. Como o modelo visa selecionar apenas um subcontratado que melhor atenda aos objetivos, ele é classificado como um problema de ordenação ($P.\gamma$) segundo Roy (1996). O espaço de ação inclui todos os subcontratados disponíveis para uma atividade específica. A problemática de ordenação permite que as opções sejam ordenadas da melhor avaliada para a pior avaliada, , facilitando a alocação eficiente de recursos e esforços.

A etapa final da metodologia é a fase de tomada de decisão, onde o método *Flexible and Interactive Tradeoff* (FITradeoff) é aplicado para ordenar os melhores subcontratados para o projeto. O FITradeoff foi escolhido porque permite que os tomadores de decisão façam *tradeoffs* compensatórios entre diferentes critérios (Frej et al., 2019). Este método possui uma estrutura axiomática robusta, requer menos esforço cognitivo dos tomadores de decisão e evita inconsistências, sendo adequado para decisões sob restrições de tempo (Gomes, 2016). A transformação de escalas na matriz de consequência, conhecida como normalização, resulta em uma matriz de decisão que permite avaliar as alternativas com base nos critérios estabelecidos, facilitando a seleção da alternativa com a consequência mais desejável (de Almeida et al. 2021).

3. Estudo de Caso

A aplicação ocorreu em um projeto no estado do Ceará, Brasil, composto por 11 turbinas eólicas com uma potência total de 23,1 MW e um prazo de 88 dias úteis. O modelo foi utilizado para selecionar subcontratados para construir as bases de concreto de sustentação das turbinas eólicas, onde cada base exige um consumo de 270,59 m³ de concreto e 25,3 toneladas de aço.

Na organização, a escolha dos subcontratados para a construção civil de parques eólicos foi de responsabilidade do coordenador de suporte operacional. Embora a decisão seja tomada individualmente, outros atores, como especialistas de planejamento e um analista, participam do processo fornecendo informações e conduzindo a análise. Para que o objetivo principal seja alcançado, foram estabelecidos pelo decisor os critérios descritos na Tabela 1. A escolha dos fornecedores foi aplicada aos principais pacotes de serviços relacionados na Tabela 2.

Tabela 1: Descrição dos Critérios

Critério	Objetivo	Descrição	Unidade
Preço	Minimização	Fornecedor deverá ter o menor preço	R$
Conhecimento técnico	Maximização	Fornecedor deverá ter o conhecimento técnico a ser implementado	Pontuação
Experiência anteriores	Maximização	Fornecedor deverá informar a quantidade de obras já realizadas no segmento	Número de obras

Tabela 2: Pacotes de serviços para a construção de uma base

Pacote de serviço	Principal insumo	Unid.	Quant.
Escavar mecanicamente 1ª Fase	Escavadeira hidráulica	m³	907,16
Executar fundação (HCM)	Perfuratriz hidráulica	m³	124,41
Escavar mecanicamente 2ª Fase	Escavadeira hidráulica	m³	604,78
Executar ensaio PIT	Fornecedor do ensaio	und	20
Executar concreto magro	Concreto (cimento, areia)	m³	18,15
Executar armação da base	Aço CA 50 mm	kg	25.300
Colocar forma e dutos	Forma metálica, eletroduto	m²	181,46
Concretar base	Concreto	m³	270,59
Executar aterramento externo	Material de aterramento	und	1
Executar reaterro	Motoniveladora	m³	1.223,21

O próximo passo, no FITradeoff, foi construir as matrizes de consequências, através do estabelecimento dos valores de critério para cada alternativa, em cada um dos dez pacotes de serviço. Esses dados foram fornecidos pelas próprias subcontratadas. A Tabela 3 exemplifica a matriz de consequências para o pacote de serviço "Escavar mecanicamente 1ª Fase".

Tabela 3: Matriz de Consequência do Pacote de Serviço Escavar mecanicamente 1ª Fase

Escavadeira hidráulica	Preço (R$)	Conhecimento técnico	Experiência anteriores
Fornecedor A	125,00	2	4
Fornecedor B	120,00	1	1
Fornecedor C	131,00	5	5
Fornecedor D	125,00	4	1
Fornecedor E	123,00	3	2

Posteriormente, foi realizada a ordenação das constantes de escalas (K_j) por pacote de serviço. Para o pacote de serviço "Escavar mecanicamente 1ª Fase", que tem como objetivo selecionar o fornecedor da escavadeira hidráulica, a ordem de preferência dos critérios pelo decisor foi: $K_{\text{Preço}} > K_{\text{Experiência anteriores}} > K_{\textit{Conhecimento técnico}}$. . Este procedimento também foi realizado para os demais pacotes de serviços.

Após o ranqueamento dos critérios, o decisor passou pelo processo de elicitação flexível, comparando o desempenho melhor de um critério em relação ao desempenho pior de outro critério. Assim, reduziu-se o espaço de peso, ou seja, os possíveis valores das constantes de escala, para chegar numa solução para a escolha de subcontratado. Após responder as comparações de acordo com as preferências do decisor, a melhor alternativa para cada pacote de serviço foi estabelecida. A Tabela 4 apresenta o ranqueamento obtido para o pacote serviço "Escavar mecanicamente 1ª Fase".

Tabela 4: Ranqueamento dos subcontratados

Ordenação	Subcontratado
1º	Fornecedor B
2º	Fornecedor D
3º	Fornecedor A
4º	Fornecedor C
5º	Fornecedor E

Foi realizado ainda uma análise de sensibilidade que demonstrou que as mudanças nos critérios ou nas ponderações (+10% e -10%) têm um impacto mínimo nas decisões finais, isso indica uma maior robustez e confiabilidade na escolha feita.

4. Conclusão

Tendo em vista o problema de seleção de subcontratados para a construção de parques eólicos o método FITradeoff foi aplicado, obtendo as constantes de escala e preferências dos critérios. A aplicação da elicitação flexível confirmou a eficácia do FITradeoff, culminando em uma recomendação validada pelo decisor.

A metodologia representa uma contribuição para a gestão de projetos, oferecendo uma abordagem estruturada e baseada em dados para a seleção de subcontratados, com benefícios claros em termos de eficiência e economia.

Como sugestão para trabalhos futuros pode-se adicionar a variável de risco calculado ao cronograma da obra em questão como critérios de seleção.

Agradecimentos: Esta pesquisa foi financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), número de concessão 001, pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), número de concessão 317511/2021-1, e pela Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE), número de concessão IBPG-1526-3.08/20.

Referências

Alencar, L.H. and De Almeida, A. (2008). “Multicriteria Decision Group Model for the selection of suppliers”, *Pesquisa Operacional*.

de Almeida, A.T., Frej, E.A. and Roselli, L.R.P. (2021). *Combining Holistic and Decomposition Paradigms in Preference Modeling with the Flexibility of FITradeoff*, *Central European Journal of Operations Research*, Vol. 29, Springer Berlin Heidelberg, doi: 10.1007/s10100-020-00728-z.

Frej, E.A., de Almeida, A.T. and Costa, A.P.C.S. (2019). “Using data visualization for ranking alternatives with partial information and interactive tradeoff elicitation”, *Operational Research*, Springer Berlin Heidelberg, Vol. 19 No. 4, pp. 909–931, doi: 10.1007/s12351-018-00444-2.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S. FITradeoff: Um Método de Apoio Multicritério à Decisão para Contextos com Preferências Incompletas. Pesquisa Operacional, v. 36, n. 3, p. 469-486, 2016.

Kivilä, J., Martinsuo, M. and Vuorinen, L. (2017). “Sustainable project management through project control in infrastructure projects”, *International Journal of Project Management*, Elsevier Ltd, Vol. 35 No. 6, pp. 1167–1183, doi: 10.1016/j.ijproman.2017.02.009.

Pedreira, G. E. V., Kimpara, M. L. M., Santos Neto, J. B. S., Martins, C. L., Pinto, J. O. P. (2022). Multicriteria decision methods applied in the evaluation of LPG: a literature review.

ICDSST 2022: International Conference on Decision Support System Technology 2022.

Roy, B. (1996). Multicriteria methodology for decision aiding. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.