

Aplicação de análise multicritério AHP e TOPSIS no processo decisório de retomada do setor nuclear no Brasil: Com foco na conclusão de Angra III

Mitchel S. Barbosa

Mitchel.barbosa@gmail.com
UCAM

Luiz S. S. Filho

Gonzaga@g10treinamento.com.br
UCAM

Gustavo F. Lisch

gustavolischt@gmail.com
UCAM

Davidson A. Santos

davidson.santos@professor.ucam.edu.br
UCAM

Resumo: Este estudo analisa os impactos econômicos, ambientais e estratégicos da retomada do setor nuclear no Brasil, com foco na conclusão da usina Angra III. A energia nuclear, que hoje representa apenas 3% da matriz energética nacional (BEN, 2024), possui potencial para impulsionar o PIB, gerar empregos e fortalecer a balança comercial, além de contribuir para a transição energética e a segurança elétrica do país. Para analisar sua viabilidade, aplicam-se os métodos AHP (Analytic Hierarchy Process) e TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution), que permitem hierarquizar critérios como investimento, produtividade, cadeia de valor, sustentabilidade, receita para o governo, aspectos geopolíticos, comparando alternativas como matriz energética nuclear (conclusão de Angra III), a manutenção do status quo e/ou investimentos na transição energética por outras fontes renováveis. Os resultados indicarão se o avanço do programa nuclear brasileiro é a opção mais vantajosa, considerando seus benefícios econômicos e tecnológicos, bem como os desafios associados, como altos investimentos, gestão de resíduos e aceitação social. A análise fornecerá subsídios para decisões políticas, contribuindo para o debate sobre o papel da energia nuclear no desenvolvimento socioeconômico e sustentável do Brasil.

Palavras Chave: MULTICRITÉRIO - MÉTODO AHP - MÉTODO TOPSIS - ANGRA III - ECONOMIA

1. INTRODUÇÃO

O estudo avalia a viabilidade econômica, ambiental e estratégica da conclusão da usina nuclear Angra III e sua influência na retomada do setor nuclear no Brasil. Utiliza os métodos AHP (para hierarquizar critérios como impacto econômico, custos, aspectos ambientais e geopolíticos) e TOPSIS (para comparar alternativas: em dar continuidade ao PNB - Programa Nuclear Brasileiro concluindo Angra III, manter o status quo econômico ou investir em outras fontes). Os impactos analisados incluem crescimento do PIB, geração de empregos, balança comercial, segurança energética e redução de emissões CO₂. A energia nuclear pode diversificar a matriz energética, reduzindo a dependência de fontes fósseis, mas enfrenta desafios como altos custos, gestão de rejeitos e aceitação pública. Este estudo propõe a aplicação dos métodos AHP e TOPSIS para avaliar a viabilidade da retomada do setor nuclear, considerando critérios econômicos, ambientais e estratégicos. A análise multicritério visa subsidiar decisões assertivas, equilibrando custos, benefícios e riscos, e contribuindo para o debate sobre o futuro da matriz energética brasileira. Assim, os resultados indicarão a alternativa mais vantajosa, subsidiando os tomadores de decisões em relação às políticas sobre investimentos no setor de energia nuclear.

2. RESUMO

Este estudo analisa os impactos econômicos, ambientais e estratégicos da retomada do setor nuclear no Brasil, com foco na conclusão da usina Angra III. A energia nuclear, que hoje representa apenas 3% da matriz energética nacional (BEN, 2024), possui potencial para impulsionar o PIB, gerar empregos e fortalecer a balança comercial, além de contribuir para a transição energética e a segurança elétrica do país. Para analisar sua viabilidade, aplicam-se os métodos AHP (Analytic Hierarchy Process) e TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution), que permitem hierarquizar critérios como investimento, produtividade, cadeia de valor, sustentabilidade, receita para o governo, aspectos geopolíticos, comparando alternativas como matriz energética nuclear (conclusão de Angra III), a manutenção do status quo e/ou investimentos na transição energética por outras fontes renováveis.

Os resultados indicarão se o avanço do programa nuclear brasileiro é a opção mais vantajosa, considerando seus benefícios econômicos e tecnológicos, bem como os desafios associados, como altos investimentos, gestão de resíduos e aceitação social. A análise fornecerá subsídios para decisões políticas, contribuindo para o debate sobre o papel da energia nuclear no desenvolvimento socioeconômico e sustentável do Brasil.

Palavras-Chave: Multicritério; Método AHP; Método TOPSIS; Angra III; Economia

3. METODOLOGIA

Esse trabalho possui cunho metodológico quantitativo e axiomático de pesquisa normativa (Bertrand, J. Will M.; Fransoo, Jan C., 2002.), visto que procura utilizar duas técnicas matemáticas multicritério (AHP e TOPSIS) em aplicações de um caso real, a fim de colaborar nas tomadas de decisões com os resultados encontrados. A escolha dos métodos, se deu pela própria capacidade de gerir critérios qualitativos, quantitativos sobretudo, conflitantes. Desta forma, serão usados para explorar o contexto do problema numa abordagem contributiva para o setor nuclear e outros eventuais processos de tomada de decisão complexas.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

Com foco no processo de tomada de decisão centrado na continuidade do PNB com foco na conclusão ou não da termelétrica Angra III, este trabalho busca auxiliar o embasamento no processo de tomada de decisão através de ferramentas multicritério, estas que busca suprir respostas de vantajosidade entre as demais matrizes energéticas existente no Brasil. Para Cardoso, R. S., Xavier, L. H., Gomes, C. F. S., & Adissi, P. J. (2009) a tomada de decisão consiste em fazer uma escolha entre inúmeras alternativas dentro de um cenário relativamente conhecido, já a eficiência da tomada de decisão, consiste na escolha da alternativa que, tanto quanto possível, ofereça o melhor resultado. Campani, B. J. (2019) demonstram a crescente importância das ferramentas de modelagem no processo de decisão.

4.1 APOIO NA TOMADA DE DECISÃO

Com foco no processo de tomada de decisão centrado na continuidade do PNB com foco na conclusão ou não da termelétrica Angra III, este trabalho busca auxiliar o embasamento no processo de tomada de decisão através de ferramentas multicritério, estas que busca suprir respostas de vantajosidade entre as demais matrizes energéticas existente no Brasil. Para Cardoso, R. S., Xavier, L. H., Gomes, C. F. S., & Adissi, P. J. (2009) a tomada de decisão consiste em fazer uma escolha entre inúmeras alternativas dentro de um cenário relativamente conhecido, já a eficiência da tomada de decisão, consiste na escolha da alternativa que, tanto quanto possível, ofereça o melhor resultado. Campani, B. J. (2019) demonstram a crescente importância das ferramentas de modelagem no processo de decisão.

A aplicação da Análise Multicriterial (MCDA – Multiple Criteria Decision Analysis), visa abranger métodos e modelos matemáticos que vêm se mostrando eficientes para a resolução de diversos problemas, demonstrando ser de grande suporte ao processo de tomada de decisão complexo. Para Kumar et al. (2017), o contexto do desenvolvimento sustentável e o planejamento energético está cada vez mais complexo impondo grandes restrições para os tomadores de decisão otimizarem escolhas entre as alternativas e matrizes energéticas, e a MCDA vem apresentando resultados ótimos em cenários complexos, incluindo vários indicadores, objetivos e critérios conflitantes. Desta forma o MCDA avalia e compara diferentes opções no processo de tomada de decisão de forma sistêmica, considerando multicritérios critérios, como: investimento, produtividade, custos e transição energética, proporcionando uma decisão mais assertiva.

Para Thomas Saaty, T. L. (1980) o AHP é um método multicritério baseado nos princípios: a) construção de hierarquia; b) estabelecimento de prioridade e c) consistência lógica das prioridades. Para Muda, G. (2008) o AHP é baseado em quatro axiomas principais: a) o tomador de decisão é capaz de fornecer uma comparação paritária recíproca entre essas alternativas para qualquer critério; b) ao comparar quaisquer das duas alternativas o tomador

de decisão não julga um ser infinitamente melhor do que a outra para nenhum critério; c) independentemente de como seja formulado o problema de decisão, todos os critérios e as alternativas relevantes serão representados na hierarquia.

Uma das técnicas europeia de MCDM mais reconhecida e explorada na literatura é o TOPSIS (Técnica Para ordenação de desempenho por similaridade à solução ideal, criado por Hwang, C., & Yoon, K. (1981). No método TOPSIS cada critério tem a tendência de permitir que o aumento ou diminuição da utilidade possibilite definir as soluções ideais, tanto positiva quanto negativa (Aruldoss, m. Lakshmi, T. M. & Venkatesan, V. P., 2013). A positiva é composta de todos os melhores resultados atingidos dos critérios de benefícios, tendo em vista que a solução ideal negativa consiste em todos os piores resultados atiníveis dos critérios de custos (Krohling, R. A., & Campanharo, V. C., 2009). Para essa técnica, a melhor alternativa seria aquela que é mais próxima da solução ideal positiva e a mais afastada da solução ideal negativa. A distância Euclidiana é uma abordagem utilizada para avaliarmos a proximidade relativa das alternativas em relação à solução ideal (Triantaphyllou, E., Shu, B., Sanchez, S. N., & Ray, T., 1998; Krohling, R. A., & Campanharo, V. C., 2009; Aruldoss, m. Lakshmi, T. M. & Venkatesan, V. P., 2013).

Em geral o método o TOPSIS e AHP já foram empregados com outras técnicas de decisão multicritérios, inclusive com lógica fuzzy, para superar suas limitações e melhor se adequar às características dos problemas de tomada de decisão. Para o AHP, as principais limitações são a quantidade de julgamento que é requerida quando o número de critério e/ou alternativa é elevado. Para o TOPSIS, é necessário um mecanismo para viabilizar uma análise de sensibilidade dos resultados obtidos. Tendo em vista dessa dificuldade, Souza, L. P., Gomes, C. F. S., & De Barros, A. P. (2018) e Medeiros, R. L., & Martins, K. M. (2022) propôs um melhoramento ao método, criando a variação do TOPSIS-2N cujo fundamento consiste em usar uma segunda técnica de normalização que produz um segundo ranking das alternativas, permitindo uma análise de sensibilidade. Desta forma, as teorias de tomada de decisão criaram técnicas ou métodos de decisão multicritério, para Triantaphyllou, E., Shu, B., Sanchez, S. N., & Ray, T.(1998), este é um ramo de classe geral de modelos e áreas da pesquisa operacional, que lidam com problemas de decisão sob a perspectivas de uma série de critérios de decisão. Lima Junior, F. R., Cervi, A. F. C., & Carpinetti, L. C. R., (2014) descreve o MCDM - Multicriteria Decision Making como um conjunto de técnicas quantitativas que permitem realizar a avaliação de diversas alternativas considerando múltiplos critérios simultaneamente. Zhou, P., Ang, B. W., & Poh, K. L. (2006) diz que o setor de energia possui boa aderência às aplicações do MCDM no que tange às políticas energéticas, planejamento de energia elétrica, avaliação de projetos, análise de impacto ambiental e escolha de tecnologia.

A aplicação das técnicas em organizações contemporâneas pode ser defendida por Oliveira, M. Fontes, D. B., & Pereira, M. T. R. (2013) em argumentos como 31552 - revista contemporânea, v.3, n.12, 2013. ISSN 2447-0961 Crescente competitividade do mercado a repensar seus processos de forma a aumentar os níveis de eficiência, a capacidade de resposta e a flexibilidade, tornando a aplicação do MCDM na análise dos problemas de decisão estratégicas, uma ferramenta importante para alcançar objetivos esperados.

De acordo com Diakoulaki, D.; Antunes, C. H.; Martins, A. G. (2005), as metodologias MCDA têm um papel fundamental no fornecimento de uma combinação harmoniosa de abordagens quantitativas e qualitativas e na criação de plataformas de decisão que permitem a fusão da racionalidade com julgamentos subjetivos e preocupações éticas. Para Wang, J.-J. et al. (2009), o método de MCDA engloba quatro passos principais: 1) definição e seleção de critérios; 2) definição dos pesos de cada critérios, considerando o grau de variância e a independência dos critérios; 3) escolha do tipo de métodos de análise (escolheu-se os métodos TOPSIS e AHP).

A partir da perspectiva do método híbrido integrado desenvolvido por SOUZA, L. P., GOMES, C. F. S., & DE BARROS, A. P. (2018) com uso do AHP e TOPSIS, combinado com melhoramento da aplicação de duas normalizações, este novo método foi denominado AHP-TOPSIS-N2, originalmente testado para priorização de portfólio de projetos de investimentos em tecnologia de informação.

5. ESTUDO DE CASO

O No Brasil, equipamentos como as usinas: Angra I (concluída em 1985, com potência e produção de 640 MW) gera energia suficiente para suprir as necessidades de 2 milhão de habitantes; Angra II (concluída em 2001, com potência e produção de 1350 MW) capaz de atender o consumo de uma cidade de 4 milhão de habitantes, o equivalente a Porto Alegre e Brasília juntos (ELETRONUCLEAR, 2024); Angra III (70% concluída e paralisada desde 2015, porém, projetada para produzir 1450 MW) continua sob os braços do CNPE – Conselho Nacional de Políticas Energéticas para uma definição de sua viabilidade econômica e conclusão ou não. Para o Ministério de Minas e Energia a decisão de dar continuidade e concluir a usina Angra III já foi tomada pelo congresso nacional com a Lei 14,120 de 2019 (INFRA, 2025) e outras negociações feita com a privatização da Eletronuclear. Contudo, tratando-se das multivariáveis e cenários de multicritérios entre alternativas expostas nesse estudo, observamos a possibilidade de aplicarmos a modelagem dos métodos decisores em vista que o range decisivo seja muito atenuado e muitas das vezes tendencioso.

Para avaliarmos as alternativas de matriz energética brasileira de melhores benefícios e oportunidades, buscamos avaliar variantes com olhar econômico à 360° em toda cadeia de valor, considerando todos os prós e contras na busca pela melhor alternativa.

O governo estima que para concluir Angra III, ainda tenha que aportar um montante de R\$20 Bilhões, porém, o custo da contrapartida em abandonar este projeto, pode passar dos R\$21 Bilhões (ELETRONUCLEAR, 2024). Isso demonstra, que um dos problemas é o aporte financeiro para conclusão da usina nuclear Angra III (garantindo o ciclo de toda a cadeia de valor e a segurança energética do Brasil), e o outro, é o dispêndio financeiro para cumprir cláusulas contratuais por eventual desistência e/ou desmobilização da cadeia de valor no setor. Com base nesses cenários, observamos a possibilidade de aplicarmos os métodos AHP e TOPSIS, tendo em vista, que o range para tomada de decisão seja de características complexas e atenuadas.

6. ANÁLISE E DISCUSSÃO

6.1 MÉTODO AHP

Originalmente o método AHP é considerado um modelo matemático destinado a tomada de decisões, que permite a classificação de um conjunto de alternativas com base em multicritérios (Thomas Saaty, T. L., 1980). Ishizaka, A. and Nemery, P. (2013) descreve que desde os anos de 1960 os métodos multicritérios vêm sendo utilizados como métodos e técnicas de análises para modelagens matemáticas em processo de decisão para problemas com níveis de complexidade, similar ao exposto neste estudo. apesar da diversidade de métodos de análise multicritério.

Esse estudo terá como premissas a aplicação da modelagem nos métodos AHP e TOPSIS, a fim de confirmar e aumentar a eficácia dos resultados apresentados, mitigando possíveis e eventuais subjetividades.

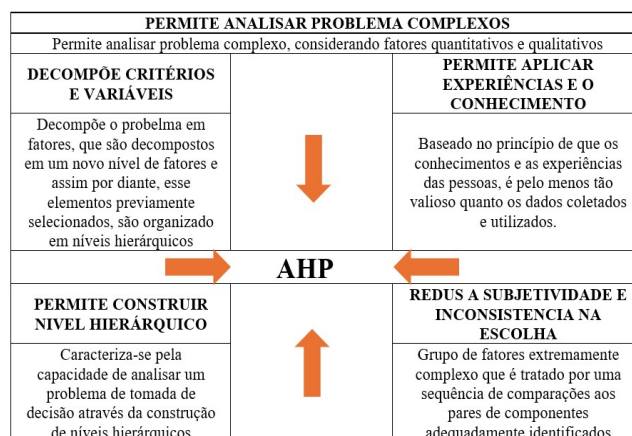


Fig. 1– Estrutura de Modelagem Matemática AHP

Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 1 expressa a estrutura de modelagem do método, que seguirá com adoção hierárquica em seus níveis, objetivo e escala conforme demonstrado na Tabela 1. Assim, como os autovetores direto (W) e autovalor máximo (lambda máximo) da matriz de comparação em pares (A). A medição das sínteses normais dos pesos é obtida com a normalização dos autovetores, de forma que a soma de suas variáveis seja igual a 1.

DENSIDADE	NÍVEIS DE IMPORTÂNCIA	DESCRIÇÃO
1	IGUAL	DOIS OBJETIVO CONTRIBUEM IGUALMENTE PARA OS NIVEIS SUPERIORES
3	MODERADO	REQUER UM NÍVEL LEVEMENTE MAIS FAVORÁVEL AO OBJETIVO
5	FORTE	POSSUI POSIÇÃO FORTEMENTE MAIS FAVORÁVEL AO OBJETIVO
7	MUITO FORTE	POSSUI POSIÇÃO DE DOMÍNIO EM RELAÇÃO AO OBJETIVO
9	ABSOLUTO	POSSUI RELAÇÃO DE DOMÍNIO ABSOLUTO EM RELAÇÃO AO OBJETIVO

Tabela 1 – Níveis de objetividade e escala

Fonte: SAATY (1980) - Adaptada pelo autor

O julgamento reflete as respostas de duas perguntas, sendo qual dos dois elementos é mais importante com respeito a critério de nível superior, e com que intensidade, classificando-os em níveis conforme (Tabela 1), onde se delineou como premissa os: Investimento, Produtividade, Cadeia de Valor, Sustentabilidade da Segurança Energética e Receita para o governo. O processo de julgamento é robusto porque diferenças sutis em uma hierarquia na prática não se tornam decisivas. Assim, no preenchimento da matriz de julgamento os elementos tratados são igualmente importantes a ele mesmo, sendo assim, classificado por 1.

Para aplicação da modelagem (Tabela 2), é necessário definir o problema e o que se busca saber com suposições centradas na definição do problema, identifica-se as partes envolvidas, checando-as como estas definem o problema, assim como suas formas de participação na modelagem. Desta forma, decompõe-se o problema, desestruturando-o em hierarquia sistemática sobre sua intensidade até o último nível (SAATY, 1980).

A definição dos nível de importância e intensidade da escalas adotados, foram definidos com base em relatórios de especialistas e pesquisas qualitativas e quantitativas feitas em órgãos e institutos relacionados à economia e matrizes energéticas brasileira (EPE, IEA, MME, ELETRONUCLEAR, BNDES) e outras resumido no referencial teórico.

Hídrica	No critério investimento é de preferência FORTE, em relação a NUCLEAR e preferencialmente MUITO FORTE em relação a SOLAR.
Eólica	No critério investimento é de preferência IGUAL, em relação a SOLAR e preferencialmente FORTE em relação a HÍDRICA.
Nuclear	No critério investimento é de preferência ABSOLUTA, em relação a SOLAR e preferencialmente MUITO FORTE em relação a HÍDRICA e preferencialmente ABSOLUTA em relação a EOLICA.
Solar	No critério investimento é de preferência IGUAL, em relação a HÍDRICA e preferencialmente IGUAL em relação a EOLICA.
Hídrica	No critério produção é de preferência FORTE, em relação a SOLAR e preferencialmente MUITO FORTE em relação a EOLICA.
Eólica	No critério produção é de preferência IGUAL, em relação a SOLAR e preferencialmente MODERADO em relação a HÍDRICA.
Nuclear	No critério produção é de preferência absoluta, em relação a SOLAR e preferencialmente MUITO FORTE em relação a HÍDRICA e preferencialmente ABSOLUTA em relação a EOLICA.
Solar	No critério produção é de preferência FORTE, em relação a EOLICA e preferencialmente MODERADO em relação a NUCLEAR e preferencialmente IGUAL a HÍDRICA.
Hídrica	No critério Cadeia de Valor é de preferência MODERADO, em relação a NUCLEAR e preferencialmente IGUAL em relação a SOLAR.
Eólica	No critério Cadeia de Valor é de preferência FORTE, em relação a SOLAR e preferencialmente IGUAL em relação a HÍDRICA.
Nuclear	No critério Cadeia de Valor é de preferência ABSOLUTA, em relação a SOLAR e preferencialmente MUITO FORTE em relação a EOLICA e preferencialmente MUITO FORTE em relação a HÍDRICA.
Solar	No critério Cadeia de Valor é de preferência IGUAL, em relação a EOLICA e preferencialmente MODERADO leve em relação a NUCLEAR.
Hídrica	No critério sustentabilidade e segurança energética é de preferência MUITO FORTE, em relação a EOLICA e preferencialmente muito FORTE em relação a SOLAR.
Eólica	No critério sustentabilidade e segurança energética é de preferência MODERADO, em relação a NUCLEAR e preferencialmente IGUAL em relação a SOLAR.
Nuclear	No critério sustentabilidade e segurança energética é de preferência ABSOLUTA, em relação a HÍDRICA e preferencialmente MUITO FORTE em relação a SOLAR.
Solar	No critério sustentabilidade e segurança energética é de preferência FORTE, em relação a HÍDRICA e preferencialmente IGUAL em relação a EOLICA.
Hídrica	No critério Receita para o Governo é de preferência MODERADO, em relação a NUCLEAR e preferencialmente MODERADO em relação a SOLAR.
Eólica	No critério Receita para o Governo é de preferência IGUAL, em relação a SOLAR e preferencialmente FORTE em relação a HÍDRICA.
Nuclear	No critério Receita para o Governo é de preferência ABSOLUTA, em relação a HÍDRICA e preferencialmente MUITO FORTE em relação a SOLAR e preferencialmente MUITO FORTE em relação a EOLICA.
Solar	No critério Receita para o Governo é de preferência FORTE, em relação a HÍDRICA e preferencialmente IGUAL em relação a EOLICA.

Figura 3 – Escala de intensidade entre pares

Fonte: Elaborado pelo autor

A modelagem da matriz de comparação em pares segue as fases de julgamento, normalização, consistência, relação soma média (lambda máxima), índice de inconsistência, razão da inconsistência, comparação entre os critérios, normalização entre critérios e o resultado.

No AHP as prioridades são denominadas através dos níveis de intensidades das alternativas, desta forma, as mesmas são obtidas pelos autovetores direto (W de dimensão n x 1) da matriz de comparações aos pares (A de dimensão n x n), conforme demonstrado na equação 1.

O lambda máximo é o autovetor máximo (SAATY, 1991).

$$Aw = \text{lambda máximo} \cdot W \quad (1)$$

O autovalor lambda máximo, é uma medida de consistência da matriz A. Porém se todas as comparações forem correntes entre si, a equação 2 deverá verificar para todos os $i = 1, 2, 3, 4, \dots, n$ e $j = 1, 2, 3, 4, \dots, n$. Assim considera-se o lambda máximo igual a N (SAATY, 1980).

$$A_{ij} = W_i / W_j \quad (2)$$

Já o índice de consistência (CI-Consistency index), compara o afastamento entre lambda máximo e o n, com flexibilidade de liberdade (n - 1) conforme demonstrado na equação 3.

$$IC = \text{lambda máximo} - n / n - 1 \quad (3)$$

Já a razão de consistência (CR - Consistency ratio) é uma métrica de consistência melhor na matriz de comparação, pois considera um índice aleatório (RI - Random Index) conforme demonstra a equação 4.

$$CR = CI / RI \tag{4}$$

Para SAATY e ISLAM (2015) é aceitável valores de $CR = 0,8 < 0,10$ na matriz consistente, conforme demonstrado na Tabela 3. O λ máximo = X, $CI = X$, e $RI = X$ resultando em um $CR = X$, assim como $CR = X$, considera-se que as comparações entre alternativas hídrica, eólica, nuclear e solar podem ser aceitas. Para Salomon, V. A. P., (2003) o objetivo da análise dependerá do modo de síntese normal ou síntese ideal. A síntese normal as prioridades locais somam 100%, este caso é indicado para distribuição de recursos. Na síntese ideal, a prioridade local da melhor alternativa é igual a 1 ou seja, 100% das demais prioridades, que serão porcentagem desta, a síntese ideal é muito indicada para solucionar problemas de seleção de fornecedor.

INVESTIMENTO					PRODUÇÃO					CADEIA DE VALOR					SUSTENTABILIDADE E SEG. ENERGÉTICA					RECEITA PARA O GOVERNO				
JULGAMENTO					JULGAMENTO					JULGAMENTO					JULGAMENTO					JULGAMENTO				
PREÇO	Hídrica	Eólica	Nuclear	Solar	PREÇO	Hídrica	Eólica	Nuclear	Solar	PREÇO	Hídrica	Eólica	Nuclear	Solar	PREÇO	Hídrica	Eólica	Nuclear	Solar	PREÇO	Hídrica	Eólica	Nuclear	Solar
Hídrica	1,0000	0,2000	5,0000	5,0000	Hídrica	1,0000	7,0000	0,1429	5,0000	Hídrica	1,0000	0,3333	1,0000	3,0000	Hídrica	1,0000	7,0000	0,1111	5,0000	Hídrica	1,0000	0,2000	1,0000	1,0000
Eólica	5,0000	1,0000	0,1111	3,0000	Eólica	1,0000	1,0000	5,0000	3,0000	Eólica	3,0000	1,0000	0,1111	5,0000	Eólica	0,1429	1,0000	1,0000	3,0000	Eólica	5,0000	1,0000	0,1429	3,0000
Nuclear	7,0000	9,0000	1,0000	9,0000	Nuclear	7,0000	9,0000	1,0000	9,0000	Nuclear	7,0000	7,0000	1,0000	9,0000	Nuclear	9,0000	1,0000	1,0000	7,0000	Nuclear	9,0000	7,0000	1,0000	7,0000
Solar	5,0000	3,0000	0,1111	1,0000	Solar	3,0000	5,0000	5,0000	1,0000	Solar	0,3333	3,0000	1,0000	3,0000	Solar	5,0000	3,0000	0,1429	1,0000	Solar	5,0000	3,0000	0,1429	1,0000
Somatório	18,0000	13,2000	6,2222	22,0000	Somatório	12,0000	22,0000	7,1429	18,0000	Somatório	11,3333	11,3333	3,1111	18,0000	Somatório	15,1429	12,0000	2,7540	16,0000	Somatório	20,0000	11,2000	2,2857	12,0000
INVESTIMENTO					PRODUÇÃO					CADEIA DE VALOR					SUSTENTABILIDADE E SEG. ENERGÉTICA					RECEITA PARA O GOVERNO				
NORMALIZAÇÃO					NORMALIZAÇÃO					NORMALIZAÇÃO					NORMALIZAÇÃO					NORMALIZAÇÃO				
PREÇO	Hídrica	Eólica	Nuclear	Solar	PREÇO	Hídrica	Eólica	Nuclear	Solar	PREÇO	Hídrica	Eólica	Nuclear	Solar	PREÇO	Hídrica	Eólica	Nuclear	Solar	PREÇO	Hídrica	Eólica	Nuclear	Solar
Hídrica	0,0625	0,0532	0,8036	0,4091	Hídrica	0,0833	0,3182	0,0200	0,2778	Hídrica	0,0882	0,0294	0,3214	0,1867	Hídrica	0,0640	0,3833	0,0499	0,3125	Hídrica	0,0500	0,0179	0,4375	0,0833
Eólica	0,3125	0,0758	0,0179	0,1364	Eólica	0,0833	0,0455	0,7000	0,1867	Eólica	0,2647	0,0882	0,0357	0,2778	Eólica	0,0094	0,0833	0,4437	0,1875	Eólica	0,2500	0,0899	0,0625	0,2500
Nuclear	0,4375	0,4818	0,1667	0,4091	Nuclear	0,5833	0,4091	0,1400	0,5000	Nuclear	0,6176	0,6176	0,3214	0,5000	Nuclear	0,5943	0,0833	0,4437	0,4375	Nuclear	0,4500	0,6250	0,4375	0,5833
Solar	0,1875	0,2273	0,1667	0,0455	Solar	0,2500	0,2273	0,1400	0,0556	Solar	0,0294	0,2647	0,3214	0,0556	Solar	0,3302	0,2500	0,3834	0,0625	Solar	0,2500	0,2679	0,0625	0,0833
Somatório	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Somatório	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Somatório	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Somatório	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Somatório	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
INVESTIMENTO					PRODUÇÃO					CADEIA DE VALOR					SUSTENTABILIDADE E SEG. ENERGÉTICA					RECEITA PARA O GOVERNO				
CONSISTÊNCIA					CONSISTÊNCIA					CONSISTÊNCIA					CONSISTÊNCIA					CONSISTÊNCIA				
PREÇO	Hídrica	Eólica	Nuclear	Solar	PREÇO	Hídrica	Eólica	Nuclear	Solar	PREÇO	Hídrica	Eólica	Nuclear	Solar	PREÇO	Hídrica	Eólica	Nuclear	Solar	PREÇO	Hídrica	Eólica	Nuclear	Solar
Hídrica	0,3228	0,0271	2,1114	1,0757	Hídrica	0,1748	1,7420	0,0250	0,8741	Hídrica	0,1514	0,0205	0,1514	0,4043	Hídrica	0,2528	1,7095	0,0281	1,2640	Hídrica	0,1472	0,0294	0,1472	0,1472
Eólica	0,0781	0,1356	0,0469	0,3586	Eólica	0,2489	0,2489	1,2443	0,7466	Eólica	0,4998	0,1666	0,0385	0,8330	Eólica	0,0259	0,1810	0,1810	0,5429	Eólica	0,8347	0,1629	0,0233	0,4888
Nuclear	2,9560	3,8005	0,4233	1,0757	Nuclear	2,8567	1,6730	0,4081	1,6730	Nuclear	3,5993	3,5993	0,5142	4,6276	Nuclear	3,5074	0,3897	0,3897	2,7280	Nuclear	4,7156	1,8677	0,5240	1,8677
Solar	0,2588	0,3586	0,0469	0,1195	Solar	0,3048	0,8430	0,1682	0,1682	Solar	0,0593	0,3033	0,1678	0,1678	Solar	0,8826	0,5296	0,0252	0,1705	Solar	0,8296	0,4578	0,0237	0,1859
Relação Soma I / Média I	10,96	8,99	10,96	8,99	Relação Soma I / Média I	10,96	8,99	10,96	8,99	Relação Soma I / Média I	10,96	8,99	10,96	8,99	Relação Soma I / Média I	10,96	8,99	10,96	8,99	Relação Soma I / Média I	10,96	8,99	10,96	8,99
Relação Soma II / Média II	13,55	13,55	13,55	13,55	Relação Soma II / Média II	13,55	13,55	13,55	13,55	Relação Soma II / Média II	13,55	13,55	13,55	13,55	Relação Soma II / Média II	13,55	13,55	13,55	13,55	Relação Soma II / Média II	13,55	13,55	13,55	13,55
Relação Soma III / Média III	7,39	7,39	7,39	7,39	Relação Soma III / Média III	7,39	7,39	7,39	7,39	Relação Soma III / Média III	7,39	7,39	7,39	7,39	Relação Soma III / Média III	7,39	7,39	7,39	7,39	Relação Soma III / Média III	7,39	7,39	7,39	7,39
Média (lambda máxima)	11,72	11,72	11,72	11,72	Média (lambda máxima)	11,72	11,72	11,72	11,72	Média (lambda máxima)	11,72	11,72	11,72	11,72	Média (lambda máxima)	11,72	11,72	11,72	11,72	Média (lambda máxima)	11,72	11,72	11,72	11,72
Índice de Consistência	2,57	2,57	2,57	2,57	Índice de Consistência	2,57	2,57	2,57	2,57	Índice de Consistência	2,57	2,57	2,57	2,57	Índice de Consistência	2,57	2,57	2,57	2,57	Índice de Consistência	2,57	2,57	2,57	2,57
Índice de Consistência - média de consistência sobre índice consistência	2,86	2,86	2,86	2,86	Índice de Consistência - média de consistência sobre índice consistência	2,86	2,86	2,86	2,86	Índice de Consistência - média de consistência sobre índice consistência	2,86	2,86	2,86	2,86	Índice de Consistência - média de consistência sobre índice consistência	2,86	2,86	2,86	2,86	Índice de Consistência - média de consistência sobre índice consistência	2,86	2,86	2,86	2,86
Comparação entre os Critérios					Normalização entre os Critérios					Normalização entre os Critérios					Normalização entre os Critérios					Normalização entre os Critérios				
Investimento	Produção	cadeia de valor	Sustentabilidade e Seg. Energética	Receita para o Governo	Investimento	Produção	cadeia de Valor	Sustentabilidade e Seg. Energética	Receita para o Governo	Investimento	Produção	cadeia de Valor	Sustentabilidade e Seg. Energética	Receita para o Governo	Investimento	Produção	cadeia de Valor	Sustentabilidade e Seg. Energética	Receita para o Governo	Investimento	Produção	cadeia de Valor	Sustentabilidade e Seg. Energética	Receita para o Governo
Investimento	1,0000	3,0000	9,0000	7,0000	Investimento	0,3865	0,5710	0,2903	0,2903	Investimento	0,1288	0,1903	0,2903	0,2893	Investimento	0,1288	0,1903	0,2903	0,2893	Investimento	0,1288	0,1903	0,2903	0,2893
Produção	0,3333	1,0000	9,0000	7,0000	Produção	0,1288	0,1903	0,2903	0,2893	Produção	0,0429	0,0211	0,0323	0,0083	Produção	0,0429	0,0211	0,0323	0,0083	Produção	0,0429	0,0211	0,0323	0,0083
Cadeia de valor	0,1111	0,1111	1,0000	0,1429	Cadeia de valor	0,0429	0,0211	0,0323	0,0083	Cadeia de valor	0,0552	0,0272	0,1613	0,0413	Cadeia de valor	0,0552	0,0272	0,1613	0,0413	Cadeia de valor	0,0552	0,0272	0,1613	0,0413
Sustent. Seg. Energética	0,1429	0,1429	5,0000	0,1111	Sustent. Seg. Energética	0,0552	0,0272	0,1613	0,0413	Sustent. Seg. Energética	0,0552	0,0272	0,1613	0,0413	Sustent. Seg. Energética	0,0552	0,0272	0,1613	0,0413	Sustent. Seg. Energética	0,0552	0,0272	0,1613	0,0413
Receita para Governo	1,0000	1,0000	7,0000	9,0000	Receita para Governo	0,3865	0,5710	0,2903	0,2903	Receita para Governo	0,3865	0,5710	0,2903	0,2903	Receita para Governo	0,3865	0,5710	0,2903	0,2903	Receita para Governo	0,3865	0,5710	0,2903	0,2903
Somatório	2,5878	9,2540	33,0000	24,2000	Somatório	2,5878	9,2540	33,0000	24,2000	Somatório	2,5878	9,2540	33,0000	24,2000	Somatório	2,5878	9,2540	33,0000	24,2000	Somatório	2,5878	9,2540	33,0000	24,2000

Tabela 2 – Matriz de alternativa e Julgamento
Fonte: Elaborada pelo autor

Com base na escala de intensidades entre pares demonstrada no Tabela 1, a modelagem indicou a matriz nuclear como mais forte dentro do processo de decisão proposto na Figura 3.

RESULTADO	
Hídrica	0,2492
Eólica	0,2012
Nuclear	0,5345
Solar	0,1254

Tabela 3 – Resultado e prioridade
Fonte: Elaborada pelo autor

6.1.1 RERSULTADO DE ANÁLISE DO M[ETODO AHP

O resultado apresentado pelo método AHP, demonstra que a alternativa da matriz energética nuclear apresentou o melhor benefício e oportunidade, considerando os aspectos abordados sobre a modelagem proposta (Tabela 3). O método AHP é considerado eficaz, uma vez que apenas uma alternativa que sobressai em relação às demais. Porém, se tratando dos aspectos generalistas da matriz e segurança energética brasileira, deve-se ancorar na priorização dos resultando ranqueados pelo método proposto. As demais alternativas também são de grande importância e necessitam ser continuadas, no que tange sua expansão e transição energética no país e no mundo, e assim, subsidiar maior robustez e confiabilidade para o desenvolvimento econômico brasileiro.

6.2 MÉTODO TOPSIS

O TOPSIS como uma técnica de avaliação de performances de alternativas através da similaridade da mesma com a solução ideal, funciona comparando cada alternativa com a solução ideal (melhor pontuação em todos os critérios) e solução anti-ideal (pior pontuação em todos os critérios, selecionando assim a que está mais próxima da ideal e mais distante da anti ideal. Para Hwang, C., & Yoon, K. (1981) o método consiste em avaliar cada alternativa em relação ao conjunto de critérios, identificando a distância entre cada alternativa e o ideal positivo (que maximiza o critério) é o ideal negativo (que minimiza o critério), ou seja, é definida como a melhor alternativa, aquela mais próxima da solução ideal e mais distante da solução não ideal. A estrutura da modelagem matemática da análise multicritério do TOPSIS, seguirá as fases da estrutura (Figura 4) numa abordagem contributiva em eventuais processos decisórios e tomada de decisão considerada complexa.

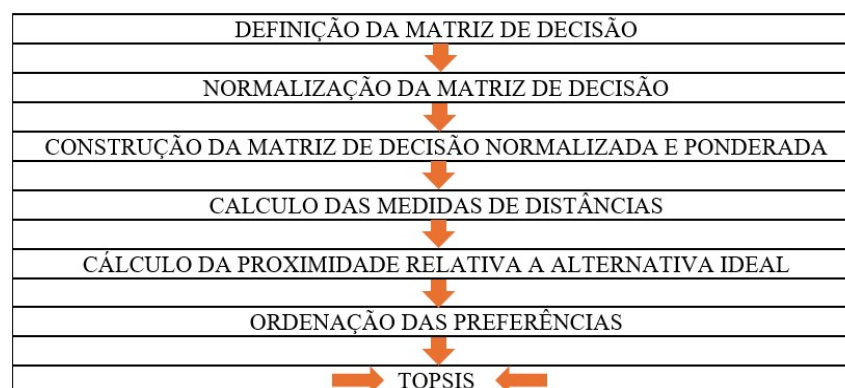


Figura 4 – Estrutura de modelagem matemática TOPSIS

Fonte: Elaborada pelo autor

A construção da matriz de decisão do TOPSIS é baseada em critérios, estes que possuem peso (Tabela 1) definido, através de variáveis circunstanciais delineadas e embasados pelo tomador de decisão, neste caso, as mesmas utilizadas no método AHP (Tabela 1). Desta forma, será representada pelo vetor D, que expressa seu peso em cada critério de alternativa, satisfazendo a equação R_{ij} .

EOLICA	1
SOLAR	2
HIDRICA	3
NUCLEAR	4

c1 [Investimento total (R\$)]	Minimizar
c2 [Produtividade]	Maximizar
c3 [Cadeia de Valor]	Maximizar

Escala Verbal (IMPORTÂNCIA)		Escala numérica
IGUAL		1
MODERADO		3
FORTE		5
MUITO FORTE		7
ABSOLUTA		9

 $D =$

	c1	c2	c3
	[Investimento total (R\$)]	[Produtividade]	[Cadeia de Valor]
EOLICA 1	17.000	3	1
SOLAR 2	21.000	3	3
HIDRICA 3	23.000	9	1
NUCLEAR 4	27.000	7	9
	Minimizar	Maximizar	Maximizar

Após o preenchimento da matriz D, foi necessário normalizar a matriz R, para viabilizar a comparação entre todos os critérios de alternativas.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

$\sqrt{18.000^2 + 20.500^2 + 24.700^2 + 22.800^2} =$	44,59
$\sqrt{5^2 + 6^2 + 6^2 + 8^2} =$	12,17
$\sqrt{8^2 + 5^2 + 4^2 + 7^2} =$	9,59

c1 [Investimento total (R\$)]	Minimizar
c2 [Produtividade]	Maximizar
c3 [Cadeia de Valor]	Maximizar

 $\Rightarrow R =$

	c1	c2	c3
	[Investimento total (R\$)]	[Produtividade]	[Cadeia de Valor]
EOLICA 1	0,381277108	0,246598481	0,104257207
SOLAR 2	0,470989369	0,246598481	0,312771621
HIDRICA 3	0,515845500	0,739795443	0,104257207
NUCLEAR 4	0,605557760	0,575396456	0,938314863
	Minimizar	Maximizar	Maximizar

$$R = \begin{bmatrix} 18.000 + 43.291.80 & 5 + 12.69 & 8 + 12.41 \\ 20.500 + 43.291.80 & 6 + 12.69 & 5 + 12.41 \\ 24.700 + 43.291.80 & 6 + 12.69 & 4 + 12.41 \\ 22.800 + 43.291.80 & 8 + 12.69 & 7 + 12.41 \end{bmatrix}$$

Assim, a normalização dos ratings e os vetores R devem ser ponderados pelo vetor W, gerando uma nova matriz P = (Pij) min., oriunda da multiplicação da equação $P_{ij} = W_{ij} \cdot R_{ij}$.

	c1	c2	c3
Comparações entre as alternativas	vestimento total (R	[Produtividade]	[Cadeia de Valor]
c1 [Preço total (R\$)]	1,0000	7,0000	5,0000
c2 [Qualidade do serviço]	0,1429	1,0000	0,3333
c3 [Cumprimento de prazo]	0,2000	3,0000	1,0000
Total [somatório]:→	1,3429	11,0000	6,3333

	c1	c2	c3	Média	% Pesos:
Normalização	[Preço total (R\$)]	[Qualidade do serviço]	[Cumprimento de prazo]		
c1 [Preço total (R\$)]	0,7447	0,6364	0,7895	0,7235	72,4%
c2 [Qualidade do serviço]	0,1064	0,0909	0,0526	0,0833	8,3%
c3 [Cumprimento de prazo]	0,1489	0,2727	0,1579	0,1932	19,3%

Critérios definidos com o auxílio do AHP:		Peso [Decimal]:	Peso [%]:
c1 [Preço total (R\$)]	Minimizar	0,7235	72,4%
c2 [Qualidade do serviço]	Maximizar	0,0833	8,3%
c3 [Cumprimento de prazo]	Maximizar	0,1932	19,3%

Multiplicamos cada elemento da matriz normalizada pelo respectivo peso: $W = R \times W$

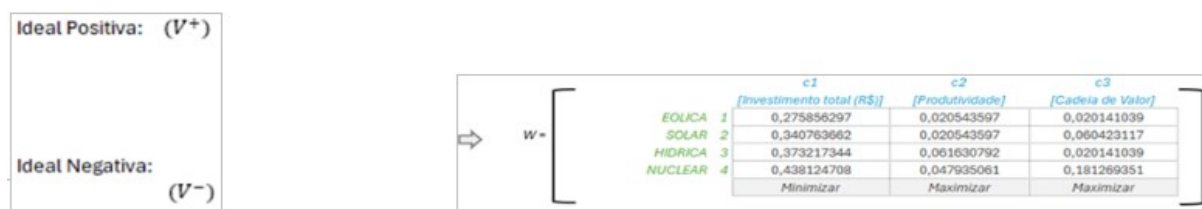
 $W =$

0,415783122 × 0,7235	0,394055203 × 0,0833	0,644658371 × 0,1932
0,473530777 × 0,7235	0,472866244 × 0,0833	0,402911482 × 0,1932
0,570546839 × 0,7235	0,472866244 × 0,0833	0,322329186 × 0,1932
0,526658621 × 0,7235	0,630488325 × 0,0833	0,564076075 × 0,1932

 $\Rightarrow W =$

	c1	c2	c3
	[Investimento total (R\$)]	[Produtividade]	[Cadeia de Valor]
EOLICA 1	0,275656297	0,020543597	0,020141039
SOLAR 2	0,340763662	0,020543597	0,060423117
HIDRICA 3	0,373217344	0,061630792	0,020141039
NUCLEAR 4	0,438124708	0,047935061	0,181269351
	Minimizar	Maximizar	Maximizar

Determinação das soluções ideais.



O cálculo das distâncias euclidianas identifica a solução ideal positiva para critérios e benefícios e a solução ideal negativa para critério de custo, conforme demonstrado no memorial de cálculo abaixo.

Agora calculamos: D^+ e D^- para cada prestador de serviço:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \Rightarrow$$

$D^{+}_{EOLICA\ 1} = \sqrt{(0.300821607 - 0.300821607)^2 + (0.032827905 - 0.052524648)^2 + (0.124539011 - 0.124539011)^2} =$	0,166284367
$D^{+}_{SOLAR\ 2} = \sqrt{(0.342602386 - 0.300821607)^2 + (0.039393486 - 0.052524648)^2 + (0.077836882 - 0.124539011)^2} =$	0,143195446
$D^{+}_{HIDRICA\ 3} = \sqrt{(0.412794094 - 0.300821607)^2 + (0.039393486 - 0.052524648)^2 + (0.062269505 - 0.124539011)^2} =$	0,188259147
$D^{+}_{NUCLEAR\ 4} = \sqrt{(0.381040702 - 0.300821607)^2 + (0.052524648 - 0.052524648)^2 + (0.108971634 - 0.124539011)^2} =$	0,162845356

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \Rightarrow$$

$D^{-}_{EOLICA\ 1} = \sqrt{(0.300821607 - 0.412794094)^2 + (0.032827905 - 0.032827905)^2 + (0.124539011 - 0.062269505)^2} =$	0,162268410
$D^{-}_{SOLAR\ 2} = \sqrt{(0.342602386 - 0.412794094)^2 + (0.039393486 - 0.032827905)^2 + (0.077836882 - 0.062269505)^2} =$	0,105365170
$D^{-}_{HIDRICA\ 3} = \sqrt{(0.412794094 - 0.412794094)^2 + (0.039393486 - 0.032827905)^2 + (0.062269505 - 0.062269505)^2} =$	0,076818770
$D^{-}_{NUCLEAR\ 4} = \sqrt{(0.381040702 - 0.412794094)^2 + (0.052524648 - 0.032827905)^2 + (0.108971634 - 0.062269505)^2} =$	0,163439975

Podemos observar que as equações anteriores escolhem os melhores desempenhos em cada critério de alternativa, sendo ele de custo (onde o melhor desempenho é o menor valor) ou sendo ele de benefício (onde o melhor desempenho é o maior valor), assim, monta-se os vetores A^+ e A^- que nada mais, são do que desempenho para uma alternativa perfeita, onde obter ratings altos para critérios de benefícios e baixos para os custos.

Por fim, os cálculos do índices de similaridade que resultam e ordenam os níveis de preferências, onde neste caso, expõe a opção 4 (Nuclear) como mais forte no ranqueamento, seguida da opção 1 (Eólica), opção 2 (Solar) e a opção 3 (Hídrica).

$$C_i = \frac{D^-}{D^+ + D^-} \Rightarrow$$

$C_{EOLICA\ 1} = \frac{0,162268410}{0,166284367 + 0,162268410} =$	0,493888415
$C_{SOLAR\ 2} = \frac{0,105365170}{0,143195446 + 0,105365170} =$	0,423901307
$C_{HIDRICA\ 3} = \frac{0,076818770}{0,188259147 + 0,076818770} =$	0,289796944
$C_{NUCLEAR\ 4} = \frac{0,163439975}{0,162845356 + 0,163439975} =$	0,500911194

6.2.1. RESULTADO MÉTODO TOPSIS

Visando a priorização dentre as alternativas de matrizes energéticas, o resultado apresentado pelo método, visa a redução de subjetividade e a eficácia no alinhamento com decisões estratégicas. Desta forma, o resultado da modelagem apresentou maior intensidade à priorização para matriz nuclear, ranqueando-a como prioritária.

Assim, a aplicação do método TOPSIS é considerado eficaz uma vez que a hierarquização demonstra sua eficácia na redução da subjetividade e no alinhamento com decisões estratégicas. Desta forma, as demais alternativas continuam sendo, importantes no que tange a transição energética, porém com pesos e priorização distintas, no que tange à priorização no ranqueamento apresentado para garantir solidez na segurança energética para o país.

7. CONCLUSÃO

Com base nas premissas e delineamento de alternativas de multicritério definidas para este estudo, ambos os métodos (AHP e TOPSIS) resultaram em indicaram a matriz energética nuclear. Os estudos reforçam a importância da aplicação dessas metodologias em processo de tomada decisória complexa, seja no planejamento estratégico organizacional ou em decisões de políticas públicas de investimento. Devido a modelagem oferecer maior robustez na integração de microdados qualitativos e quantitativos, faz com que o risco de uma eventual escolha menos prioritária seja diminuído, aumentando assim, a eficácia no processo de tomada de decisão de alto valor agregado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- BEN, 2024.** Relatório Síntese ano base 2023 – Empresa de pesquisa energética – EPE.
- ELETRONUCLEAR, 2024.** Estudo BNDES sobre ANGRA III. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES.
- AGÊNCIA INFRA, 2025.** CNPE decide se retorna ou não as obras de Angra III com base nas tarifas da usina.
- CARDOSO, R. S., XAVIER, L. H., GOMES, C. F. S., & ADISSI, P. J., 2009.** Uso de SAD no apoio à decisão na destinação de resíduos plásticos e gestão de materiais. Pesquisa Operacional, 29, 67-95.
- CAMPANI, B. J., 2019.** A era digital e o mercado imobiliário: transformação e oportunidades. Marketing Estratégico-Florianópolis.
- TRIANANTAPHYLLOU, E., SHU, B., SANCHEZ, S. N., & RAY, T., 1998.** Tomada de decisão multicritério: uma abordagem de pesquisa operacional. Enciclopédia de engenharia elétrica e eletrônica, 15 (1998), 175-186.
- LIMA JUNIOR, F. R., CERVI, A. F. C., & CARPINETTI, L. C. R., 2014.** Uma metodologia multicritério baseada em inferência fuzzy para classificação ABC de estoques. Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento, 6(3), 343-366.
- OLIVEIRA, M. FONTES, D. B., & PEREIRA, M. T. R., 2013.** Tomada de decisão multicritério: Um estudo de caso na indústria automobilística. Cadernos de Trabalho da FEP;N. 483. Universidade do Porto.
- GUGLIELMETTI, F. R., MARINS, F. A. S., & SALOMON, V. A. P., 2003.** Comparação teórica entre métodos de auxílio à tomada de decisão por múltiplos critérios. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 23.
- ZHOU, P., ANG, B. W., & POH, K. L., 2006.** Análise de decisão em modelagem energética e ambiental: uma atualização. Energia, 31(14), 2604-2622.



ARULDOSS, M. LAKSHMI, T. M. & VENKATESAN, V. P., 2013. Uma pesquisa sobre métodos de tomada de decisão multicritério e suas aplicações. *Revista Americana de Sistemas de Informação*, 1(1), 31-43.

THOMAS SAATY, T. L., 1980. O Processo de Hierarquia Analítica: Planejamento, Definição de Prioridades, Alocação de Recursos: McGraw-Hill. Nova Iorque.

THOMAS SAATY, T. L., 1991. Método de análise hierárquica São Paulo: Makron.

MUDA, G., 2008. Avaliação social multicritério para uma economia sustentável (Vol. 17). Berlin: Springer.

HWANG, C., & YOON, K., 1981. Tomada de Decisão de Múltiplos Atributos: Métodos e Aplicações - Uma Pesquisa de Última Geração. Notas de aula em economia e sistemas matemáticos.

KROHLING, R. A., & CAMPANHARO, V. C., 2009. Fuzzy-TOPSIS para tomada de decisão multicritério uma aplicação para o caso de acidentes com derramamento de óleo no mar. *Anais do XLI SBPO-Simpósio Brasileiro em Pesquisa Operacional, SOBPAPO*, Porto Seguro, BA, de, 1-4.

SOUZA, L. P., GOMES, C. F. S., & DE BARROS, A. P., 2018. Implementação do novo método híbrido AHP-TOPSIS-2N na classificação e priorização de um portfólio de projetos de CAPEX de TI. *Revista Internacional de Tecnologia da Informação e Tomada de Decisão*, 17(04), 977-1005.

BERTRAND, J. Will M.; FRANSOO, Jan C., 2002. Metodologias de pesquisa em gestão de operações utilizando modelagem quantitativa. *Revista Internacional de Gestão de Operações e Produção*, 2002.

ISHIZAKA, A. e NEMERY, P., 2013. Análise de Decisão Multicritério: Métodos e Software. Wiley, Chichester.

DIAKOULAKI, D.; ANTUNES, C. H.; MARTINS, A. G., 2005. MCDA and energy planning. In: Figueira, J.; Greco, S.; Ehrgott, M. (ed.). *Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys*. [S.l.]: Springer, 2005. p. 859-890.

WANG, J. J. et al., 2019. Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 13, n. 9, p. 2263-2278, 2009.

KUMAR et al., 2017. A Strategic Framework for a Profitable Business Model in the Sharing Economy. *Industrial Marketing Management*, 69, 147-160.

MEDEIROS, R. L., & MARTINS, K. M., 2022. Índice de desempenho global da gestão pública (IDGP) utilizando o método TOPSIS-2N: O Caso Do Governo Do Estado Do Amazonas. *Pesquisa Operacional Para o Desenvolvimento*, 15, 1-18.