

Métodos multiatributo na avaliação da sustentabilidade organizacional

Multi-Attribute Methods in the Assessment of Organizational Sustainability

Renato de Castro Vivas Doutor em Engenharia Industrial. Universidade Federal da Bahia (UFBA)
<https://orcid.org/0000-0003-2290-7773> – Brasil. renato.vivas@ufba.br

João Thiago de Guimarães Anchieta e Araújo Campos Doutor em Engenharia Industrial. Universidade Federal da Bahia (UFBA)
– Brasil. jcampos@ufba.br
<https://orcid.org/0000-0003-3033-9753>

RESUMO

A avaliação dos impactos de sustentabilidade dos modelos de negócio se tornou essencial para a transição das empresas para uma economia mais sustentável e circular. Modelos multicritério tem sido amplamente utilizados como uma abordagem eficaz para avaliar e classificar o desempenho de sustentabilidade de empresas em diversos setores. Este artigo realiza uma análise comparativa de métodos multicritério para avaliar o desempenho de sustentabilidade de uma empresa de petróleo e gás. O estudo aborda a crescente importância da sustentabilidade corporativa nesse setor, empregando individualmente três métodos distintos, VIKOR, PROMETHEE e TOPSIS na análise da sustentabilidade organizacional. A comparação dos métodos forneceu insights valiosos sobre seus respectivos pontos fortes e fracos ao abordar cenários complexos de tomada de decisão. Embora produzam resultados similares o PROMETHEE é mais relevante quando se lida com problemas complexos que envolvem uma gama mais ampla de critérios, especialmente quando há múltiplas percepções e julgamentos humanos envolvidos e quando as decisões são de longo prazo com impactos duradouros. Pesquisas futuras podem explorar metodologias com diferentes abordagens, aplicadas a outros tipos de organizações e/ou localidades, a fim de avaliar a sustentabilidade organizacional. Além disso, experimentar a integração de modelos multiatributo com modelos de otimização matemática e modelos de previsão é uma opção viável para avaliar, otimizar e prever a sustentabilidade.

Palavras-Chave: multicritérios; MCDA; sustentabilidade, performance.

ABSTRACT

The assessment of the sustainability impacts of business models has become essential for companies transitioning toward a more sustainable and circular economy. Multicriteria models have been widely used as an effective approach to evaluate and rank the sustainability performance of companies across various sectors. This paper conducts a comparative analysis of multicriteria methods for assessing the sustainability performance of an oil and gas

company. The study addresses the growing importance of corporate sustainability in this sector, individually employing three distinct methods - VIKOR, PROMETHEE, and TOPSIS - for organizational sustainability analysis. The comparison of these methods provides valuable insights into their respective strengths and weaknesses when addressing complex decision-making scenarios. While they yield similar results, PROMETHEE is particularly relevant when handling intricate problems involving a broader range of criteria, especially in cases where multiple human perceptions and judgments are involved, and where decisions have long-term, lasting impacts. Future research could explore methodologies with different approaches, applied to other types of organizations and/or locations, in order to assess organizational sustainability. Additionally, experimenting with the integration of multi-attribute models with mathematical optimization and forecasting models is a viable option for assessing, optimizing, and predicting sustainability.

Keywords: multi-criteria; MCDA; sustainability, performance.

Recebido em 09/03/2024. Aprovado em 07/09/2024. Avaliado pelo sistema *double blind peer review*. Publicado conforme normas da APA.
<https://doi.org/10.22279/navus.v14.1888>

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a conscientização global sobre a importância da sustentabilidade e da responsabilidade corporativa aumentou significativamente. Empresas de diversos setores têm se deparado com a necessidade de adotar medidas que considerem não apenas os aspectos econômicos, mas também os impactos ambientais, sociais e de governança (ESG) de suas operações. De acordo com o artigo de Heichl e Hirsch (2023), empresas e partes interessadas estão exigindo cada vez mais relatórios transparentes das atividades corporativas e seu impacto nos tópicos de ESG. Na indústria do petróleo, o discurso em torno dessas questões se tornou especialmente relevante, já que a indústria é amplamente reconhecida como um dos principais contribuintes para as emissões de gases de efeito estufa e outros impactos ambientais negativos.

Avaliar os impactos de sustentabilidade dos modelos de negócios tornou-se essencial para que as empresas façam a transição para uma economia mais sustentável e circular. Segundo Bhatnagar et al. (2022), muitas empresas enfrentam desafios no desenvolvimento de modelos de negócios sustentáveis, mas esses desafios podem ser superados avaliando os impactos de sustentabilidade de diferentes designs de modelos de negócios. Saulick et al. (2023) afirmam que, para avaliar se as empresas estão implementando estratégias sustentáveis em suas operações, é necessária uma avaliação abrangente de seu desempenho em sustentabilidade.

Dado esse contexto, as empresas petrolíferas têm buscado estratégias e modelos que lhes permitam mensurar e monitorar seu desempenho em sustentabilidade, ao mesmo tempo em que desenvolvem práticas sustentáveis para reduzir sua pegada ambiental, promover o bem-estar social e fortalecer sua governança corporativa. No trabalho de Bockstaller et al. (2017), a avaliação da sustentabilidade é apresentada como um desafio multifacetado, envolvendo a consideração de múltiplos critérios que abrangem diversas áreas temáticas, organizadas dentro da estrutura das dimensões da sustentabilidade.

Percebe-se, assim, a necessidade de avaliar o desempenho das organizações em termos de sustentabilidade. Essa avaliação não é simples, pois a sustentabilidade incorpora parâmetros de múltiplos critérios, alguns dos quais são complexos no caminho para o desenvolvimento sustentável. Com base nos resultados da avaliação de desempenho obtidos, as organizações podem tomar melhores decisões utilizando critérios sustentáveis (FARLEY & SMITH, 2013).

Métodos multiatributo têm sido amplamente empregados como uma abordagem eficaz para avaliar e classificar o desempenho de sustentabilidade de empresas em diversos setores. Várias abordagens quantitativas para avaliação e otimização da sustentabilidade são identificadas por Brandenburg et al. (2014), incluindo modelos de simulação, matemáticos, heurísticos e analíticos, entre eles modelos analíticos multiatributo, como AHP, ELECTRE, PROMETHEE, DEMATEL, VIKOR, TOPSIS, MAUT, entre outros. Com essa gama de métodos de avaliação multiatributo, é fundamental que se faça uma análise comparando os métodos mais relevantes e proeminentes, estabelecendo um estudo do tema, suas inter-relações e a identificação dos métodos mais adequados para auxiliar na tomada de decisão na gestão sustentável das organizações. A princípio, os métodos que serão aplicados nessa comparação serão os chamados métodos *outranking*, que estabelecem um ranqueamento/classificação dos critérios dos cenários/temas escolhidos.

Assim, este artigo tem como objetivo explorar a aplicação de modelos multiatributo na avaliação do desempenho de sustentabilidade de uma empresa petrolífera. Além disso, é realizada uma comparação entre métodos multiatributo. Três métodos amplamente utilizados nesse domínio são VIKOR, PROMETHEE e TOPSIS. O foco está na identificação e análise dos principais indicadores de sustentabilidade relevantes para o setor, bem como na construção de um modelo de avaliação que integre esses atributos.

O método PROMETHEE, classificado como uma abordagem de análise multicritério de superação não paramétrica, se diferencia significativamente de outras metodologias nesse domínio. Ao contrário dos métodos convencionais multicritérios que se concentram principalmente na ponderação da significância das relações entre critérios, o PROMETHEE incorpora de forma única uma avaliação das relações internas inerentes a cada critério de avaliação (Brans & Mareschal, 2005).

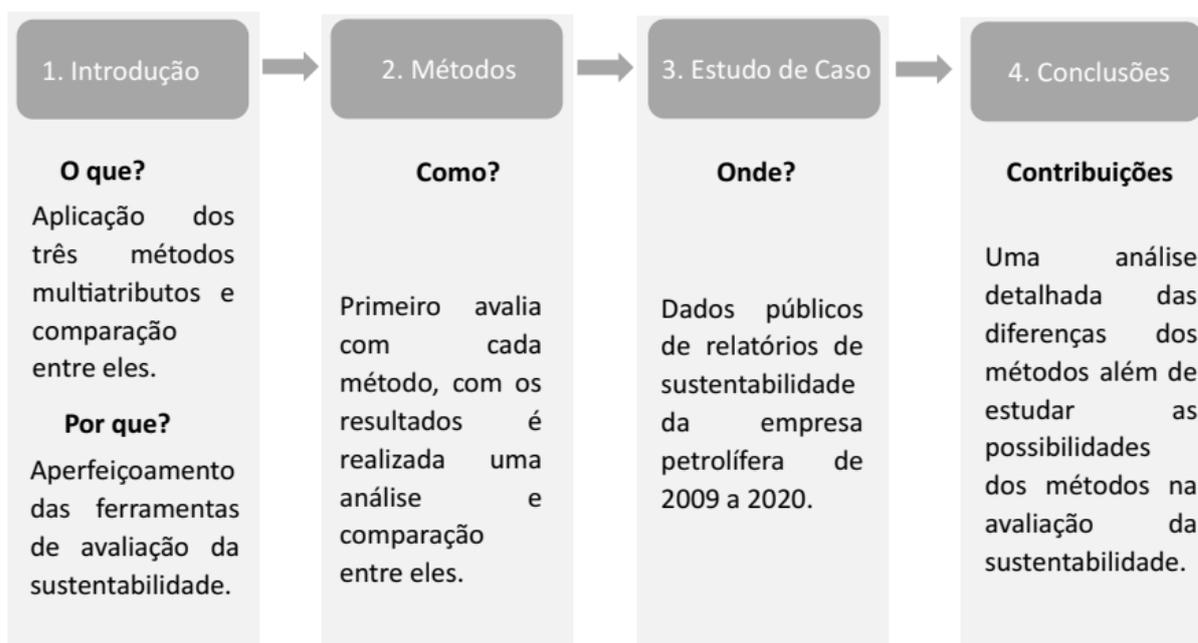
O método TOPSIS seleciona uma alternativa que esteja mais próxima da solução ideal positiva e mais distante da solução ideal negativa. A solução ideal positiva representa o melhor desempenho em cada critério, enquanto a solução ideal negativa compreende os piores valores de desempenho para esses critérios (Hwang & Yoon, 1981).

Por outro lado, a maior adequação do método VIKOR é sua capacidade de fornecer uma solução compromissada (mais próxima da solução ideal) para classificar alternativas dentro de muitos critérios conflitantes (Opricovic & Tzeng, 2007).

A escolha de uma empresa petrolífera como estudo de caso justifica-se pela importância estratégica desse setor e pela necessidade premente de impulsionar mudanças positivas em suas operações. Ao examinar o desempenho de sustentabilidade de uma empresa petrolífera por meio de modelos multiatributo, buscamos não apenas fornecer uma compreensão abrangente e profunda da sustentabilidade corporativa, mas também oferecer insights valiosos para a tomada de decisão e o planejamento estratégico dentro da empresa.

Espera-se, por fim, que este estudo contribua para o avanço do conhecimento sobre a aplicação dos métodos multiatributo na avaliação do desempenho de sustentabilidade em empresas petrolíferas, fornecendo uma base sólida para a implementação de práticas sustentáveis e para a melhoria contínua da responsabilidade corporativa nesse setor. O escopo desta pesquisa está ilustrado na Figura 01.

Figura 01
Escopo do Projeto



2 METÓDO

Inicialmente, este artigo terá como base a aplicação em estudo de caso dos métodos multiatributo na avaliação de desempenho de sustentabilidade. Este modelo de aplicação é baseado no artigo de Vivas et al. (2019), o qual envolve a definição das dimensões e critérios de sustentabilidade a serem analisados. Em uma etapa subsequente, os dados foram coletados a partir de relatórios de sustentabilidade disponibilizados pela organização. Esses relatórios são normalmente gerados periodicamente, permitindo a avaliação do desempenho de sustentabilidade organizacional em uma escala temporal ao longo dos anos. Esses dados, então, serão categorizados e os critérios selecionados serão normalizados para se obter uma classificação comparativa dos cenários. Os cenários, diferenciados pela escala temporal anual, serão comparados entre si, resultando em um ranqueamento dos melhores e piores anos de desempenho da sustentabilidade organizacional. Além desse ranqueamento, o estudo também faz uma comparação dos resultados de três métodos distintos: PROMETHEE, VIKOR e TOPSIS.

No campo da tomada de decisão e avaliação de desempenho, os modelos multicritério, entre eles os métodos multiatributo, ganharam atenção significativa como ferramentas eficazes para lidar com problemas complexos de decisão e avaliar alternativas com base em múltiplos critérios ou atributos. Três métodos multiatributo são utilizados neste projeto: VIKOR (*VIšekriterijumska optimizacija i KOmpromisno Rangiranje*), PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*) e TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*).

Esses modelos multicritério, nomeadamente VIKOR, PROMETHEE e TOPSIS, têm sido amplamente aplicados em diversos campos, como engenharia, finanças, gestão ambiental e negócios. Eles permitem que os tomadores de decisão lidem

com problemas complexos de decisão, avaliem alternativas com objetividade e forneçam insights valiosos sobre as melhores soluções de compromisso, com base nos critérios ou atributos selecionados.

2.1 Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

O TOPSIS é um método multicritério originalmente desenvolvido por Hwang e Yoon em 1981. Ele é utilizado para determinar a proximidade relativa das alternativas em relação a uma solução ideal. Ele constrói uma solução ideal e uma solução ideal negativa com base nos melhores e piores valores de atributo, respectivamente. O TOPSIS então calcula a proximidade relativa de cada alternativa a essas soluções ideais, fornecendo uma classificação que reflete o melhor compromisso entre as duas. Esse modelo ajuda os tomadores de decisão a identificarem as alternativas mais próximas da solução ideal, com base nos critérios selecionados.

O método é executado de acordo com as seguintes etapas:

Etapa 01 - Criação da matriz de avaliação composta por m alternativas e n critérios, sendo a intersecção de cada alternativa e critério dada como x_{ij} , resultando assim em uma matriz $(x_{ij})_{m \times n}$.

Etapa 02 - Normalização da Matriz. A matriz $(x_{ij})_{m \times n}$ é normalizada usando o modelo:

$$r_{ij} = \left(\frac{x_{ij}}{\sum_{k=1}^n x_{kj}^2} \right), \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (1.1)$$

Etapa 03 - Definição dos pesos:

$$t_{ij} = r_{ij} \cdot w_j, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad \text{onde} \quad : \quad \frac{w_j}{\sum_{k=1}^n w_k}, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad \text{where} \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (1.2)$$

e w_j é o valor original do peso do critério v_j , $j = 1, 2, \dots, n$.

Etapa 04 - Determinando a melhor (A_b) e a pior (A_w) alternativa:

$$A_w = (\max(t_{ij} | i = 1, 2, \dots, m | j \in J^-), (\min(t_{ij} | i = 1, 2, \dots, m | j \in J^+) \equiv t_{wj} | j = 1, 2, \dots, n, \quad (1.3)$$

$$A_b = (\min(t_{ij} | i = 1, 2, \dots, m | j \in J^-), (\min(t_{ij} | i = 1, 2, \dots, m | j \in J^+) \equiv t_{bj} | j = 1, 2, \dots, n, \quad (1.4)$$

onde,

$J^+ = \{j = 1, 2, \dots, n | j\}$ associado com o critério que tem um impacto positivo, e

$J^- = \{j = 1, 2, \dots, n | j\}$ associado com o critério que tem um impacto negativo.

Etapa 05 - Cálculo da distância L^2 entre a meta alternativa meta i e a pior condição A_w :

$$d_{iw} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (t_{ij} - t_{wj})^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (1.5)$$

E a distância entre a alternativa i e a melhor condição A_b .

$$d_{ib} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (t_{ij} - t_{bj})^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (1.6)$$

onde d_{iw} e d_{ib} são L^2 - distâncias da alternativa meta i para o pior e melhor condição, respectivamente.

Etapa 6 - Cálculo da similaridade da pior condição:

$$s_{iw} = \frac{d_{ib}}{d_{iw} + d_{ib}}, \quad 0 \leq s_{iw} \leq 1, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (1.7)$$

$s_{iw} = 1$ se e somente se a solução for a melhor condição; e

$s_{iw} = 0$ se e somente se a solução for a pior condição;

Etapa 7 - Ranqueamento das alternativas de acordo com:

$$s_{iw} \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (1.8)$$

2.2 Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations (PROMETHEE)

Os elementos básicos do método foram introduzidos pela primeira vez por Brans e Mareschal em 1982. O PROMETHEE é outra técnica de tomada de decisão multicritério amplamente utilizada, que avalia e classifica alternativas com base em um conjunto de funções de preferência. Ele incorpora informações de preferência na forma de comparações pares para determinar a importância relativa dos critérios e quantificar as relações de superação entre as alternativas. O PROMETHEE fornece uma classificação abrangente das alternativas e auxilia os tomadores de decisão na compreensão das compensações entre diferentes critérios. As etapas são apresentadas a seguir:

Etapa 01 - Determinação dos desvios baseados na comparação dos pares:

$$D_j(a, b) = g_j(a) - g_j(b) \quad (1.9)$$

Onde $d_j(a, b)$ representa a diferença entre as avaliações de a e b em relação aos critérios estabelecidos.

Etapa 02 - Aplicação da matriz de preferência:

$$P_j(a, b) = F_j[d_j(a, b)] \text{ for } j = 1, \dots, k. \quad (2.0)$$

Onde $P_j(a, b)$ representa a preferência das alternativas A e B para a estabilização do critério baseado no $d_j(a, b)$.

Etapa 03 - Cálculo do índice de preferência global:

$$\forall a, b \in A; \pi(a, b) = \sum_{j=1}^k P_j(a, b)w_j \quad (2.1)$$

Etapa 04 - Cálculo dos critérios individuais (PROMETHEE I):

$$\varphi^+(a) = \frac{1}{(n-1)} \sum_{x \in A} x \in A \quad (2.2)$$

$$\varphi^-(a) = \frac{1}{(n-1)} \sum_{x \in A} x \in A \quad (2.3)$$

Onde $\varphi^+(a)$ e $\varphi^-(a)$ representa os fluxos positivos e negativos, respectivamente para cada alternativa.

Etapa 05 - Cálculo dos fluxos globais (PROMETHEE II):

$$\varphi(a) = \varphi^+(a) - \varphi^-(a) \quad (2.4)$$

Onde $\varphi(a)$ representa o fluxo global de cada alternativa.

2.3 VIseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR)

VIseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) foi originalmente desenvolvido por Duckstein e Opricovic (1980) para lidar com problemas conflitantes e incomensuráveis (com unidades diferentes). VIKOR é um método de decisão multicritério desenvolvido para determinar soluções de comprometimento considerando critérios conflitantes. Ele calcula o índice que combina a medida de utilidade máxima do grupo e a medida individual de comprometimento. Ao empregar o modelo VIKOR, os tomadores de decisão podem identificar alternativas que atingem o melhor comprometimento entre vários critérios, fornecendo uma solução equilibrada. A etapa inicial é apresentada a seguir:

Etapa 01 - Determinação dos melhores e piores valores dos critérios:

$$\text{Para cada critério } i = 1, 2, \dots, n: F_i^* = \max(F_{ij}; j = 1, \dots, J) \quad F^- = \min(F_{ij}; j = 1, \dots, J) \quad (2.5)$$

Para cada critério $i = 1, 2, \dots, n$: $F_i^* = \min(F_{ij}; j = 1, \dots, J)$ $F = \max(F_{ij}; j = 1, \dots, J)$ (2.6)

Etapa 02 - Cálculo da matriz normalizada:

Cálculo dos valores normalizados para cada alternativa S_i e R_i , $i = 1, 2, \dots, J$:

$$S_i = \sum_{j=1}^m W_j \cdot \left(\frac{x_i^+ - x_{ij}}{x_i^+ - x_i^-} \right) \quad (2.7)$$

$$R_i = \max W_j \cdot \left(\frac{x_i^+ - x_{ij}}{x_i^+ - x_i^-} \right) \quad (2.8)$$

onde W_j são os pesos dos critérios, expressando a preferência da matriz como a importância relativa dos critérios.

Etapa 03 - Cálculo dos valores finais:

$$Q_i = v \cdot \left(\frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} \right) + (1 - v) \cdot \left(\frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \right) \quad (2.9)$$

Etapa 04 - Ranqueamento das alternativas baseadas em S_i , R_i , or Q_i .

3 ESTUDO DE CASO

A aplicação dos métodos PROMETHEE, VIKOR e TOPSIS é realizada com base em dados de entrada obtidos de uma grande empresa de petróleo e gás. Essa empresa, a maior do setor no Brasil, conta com aproximadamente 45.000 funcionários diretos e produz, em média, 2.684 mil barris de óleo equivalente por dia (boed). Os dados coletados vêm dos relatórios de sustentabilidade da empresa, publicados anualmente. A análise de desempenho foi realizada utilizando dados de 2009 a 2020.

3.1 Seleção de Indicadores

Os indicadores de sustentabilidade foram selecionados com base na *Global Reporting Initiative* (GRI) (2021), uma vez que os relatórios analisados foram elaborados utilizando esses indicadores. O número de indicadores foi determinado com base na disponibilidade de dados nos relatórios de 2009 a 2020. Alguns desses indicadores foram omitidos ou modificados nos relatórios, o que impediu uma análise temporal mais aprofundada dos dados. Aproximadamente 15 indicadores quantitativos foram identificados para a composição dos dados de entrada para o modelo de avaliação multiatributo. As métricas selecionadas estão ilustradas na Tabela 01.

Tabela 01

Dimensões, temas e indicadores

	Dimensões	Temas (por GRI 2021)	Indicadores
1	Ambiental	Energia (302-1)	X_5 =Energia (Tj)
2	Ambiental	Vazamentos de óleo(306-3)	X_6 =Vazamentos de óleo (m ³)
3	Ambiental	Emissões (305-1)	X_7 =Emissões de CO ² ton)
4	Ambiental	Resíduos Sólidos (306-2)	X_8 =Resíduos perigosos (ton)
5	Ambiental	Água (303-5)	X_9 =Água (m ³)
6	Social	Diversidade (405-1)	X_{10} =Funcionários Mulheres (%)
7	Social	Diversidade (405-1)	X_{11} =Funcionários Negros (%)
8	Social	Equidade	X_{12} =Chefes Mulheres (%)
9	Social	Equidade (405-1)	X_{13} =Chefes Pretos (%)
10	Social	Saúde e Segurança (403-9)	X_{14} = Acidentes (TRIFR)
11	Social	Trabalho (403)	X_{15} =Número de Empregados (un)
12	Governança	Economia (201-1)	X_1 =Receita de Vendas (R\$)
13	Governança	Economia (201-1)	X_2 =Dívida Líquida (R\$)
14	Governança	Economia (201-1)	X_3 = Volume de Produção (barril)
15	Governança	Economia (203-1)	X_4 =Total de Investimentos (R\$)

3.2 Dados de Entrada e Experimentação

Para uma melhor disposição, os dados serão disponibilizados na sequência do detalhamento a seguir.

A Tabela 02 apresenta os dados iniciais coletados que serão utilizados como dados de entrada para os três métodos, TOPSIS, PROMETHEE e VIKOR. Estes dados foram coletados nos relatórios de sustentabilidade da organização, de 2009 a 2020. Estes dados já foram consolidados pela empresa em questão, dados mais recentes são passíveis de alterações como inclusões, exclusões e correções, além de ter mudanças significativas na coleta e apresentação dos dados primários.

A Tabela 03 mostra as etapas 01 e 02 do método TOPSIS. A Tabela 04 mostra os resultados da etapa 4 de determinação da melhor (A+) e pior (A-) alternativa, da etapa 5 de cálculo da distância L2 entre a alternativa alvo i e a pior condição (A-) e da etapa 6 de cálculo da similaridade à pior condição. A Tabela 05 mostra os resultados da etapa 7 de classificação das alternativas. A Tabela 05 e Figura 02 mostram o ranqueamento do método TOPSIS.

A Tabela 06 mostra os resultados da etapa 1 de determinação dos melhores e piores valores dos critérios do método VIKOR. A Tabela 07 mostra os resultados da etapa 2 de cálculo da matriz normalizada e da etapa 3 de cálculo dos valores finais do método VIKOR. A Tabela 08 mostra os resultados da etapa 4 de classificação das alternativas com base em S_i , R_i ou Q_i . As tabelas 08 e a Figura 03 indicam que os melhores anos da organização em termos de sustentabilidade foram 2020, 2019 e 2018. E os piores anos foram 2010, 2009 e 2014.

A Tabela 09 mostra os resultados da etapa 2 de aplicação da matriz de preferência e da etapa 3 de cálculo do índice de preferência global do método PROMETHEE. A Tabela 10 mostra as etapas 2 e 3 do método PROMETHEE. A tabela 11 e a figura 02 apresentam os resultados de ranqueamento do método PROMETHEE. O ranking do método PROMETHEE indica que os melhores anos da organização em

termos de sustentabilidade foram 2019, 2020 e 2018. E os piores anos foram 2010, 2009 e 2011.

Tabela 02

Dados de Entrada Coletados nos Relatórios de Sustentabilidade

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15
2009	182834	73400	2526	70757	604070	254	57,8	258	176	16,4	13,8	13,63	29,94	1,52	73284
2010	211842	61007	2583	76411	716673	668	61,1	277	187,3	16,6	20,4	13,3	25,3	1,24	75728
2011	244176	103022	2622	72546	682827	234	56,2	285	190,9	16,9	22,5	14,4	24,9	1,15	78452
2012	281379	147817	2598	84137	936199	387	68	261	193,4	17,1	23,7	15	24,6	1,00	78947
2013	304890	221563	2540,3	104416	1050949	187	74,2	260	193,6	16,7	24,3	15,4	25,2	0,94	83663
2014	337260	282089	2670	87140	1155220	69,5	81,4	234	206,5	16,8	24,7	15,2	24,4	0,77	87384
2015	321638	391962	2787	76315	1155185	71,6	78,1	195	213,3	17,45	25,61	15,3	25,3	0,57	77104
2016	282589	314120	2790	55348	899487	51,9	66,5	132	191,6	16,18	27	15,2	20,6	0,50	62527
2017	283695	280752	2767	48219	947645	35,8	67	114	177,7	16,2	27,6	15,3	17,4	0,48	62204
2018	310255	268900	2628	49370	888559	18,47	62	121	182,3	16,6	28,08	18,1	17,7	0,47	63361
2019	302245	317867	2770	111120	837568	415,34	59	120	156,9	16,1	28,31	18,4	19,3	0,45	57983
2020	272069	328268	2836	40796	821161	216,5	56	123	146,3	16,6	29,2	19,1	20	0,41	49050

Nota: Relatórios de sustentabilidade, empresa do estudo de caso, de 2009 a 2020.

Tabela 03

Etapas 01 e 02 do Método TOPSI

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15
2009	0,1877	0,0830	0,2722	0,2687	0,1923	0,2561	0,2524	0,3552	0,2738	0,2845	0,1597	0,2491	0,3729	0,5054	0,2952
2010	0,2174	0,0690	0,2784	0,2902	0,2282	0,6734	0,2668	0,3813	0,2914	0,2879	0,2361	0,2431	0,3151	0,4123	0,3050
2011	0,2506	0,1165	0,2826	0,2755	0,2174	0,2359	0,2454	0,3924	0,2970	0,2931	0,2604	0,2632	0,3102	0,3824	0,3160
2012	0,2888	0,1671	0,2800	0,3195	0,2980	0,3902	0,2969	0,3593	0,3009	0,2966	0,2743	0,2742	0,3064	0,3325	0,3180
2013	0,3129	0,2505	0,2738	0,3965	0,3346	0,1885	0,3240	0,3579	0,3012	0,2897	0,2813	0,2815	0,3139	0,3126	0,3370
2014	0,3462	0,3189	0,2878	0,3309	0,3678	0,0701	0,3554	0,3222	0,3213	0,2914	0,2859	0,2778	0,3039	0,2560	0,3520
2015	0,3301	0,4431	0,3004	0,2898	0,3678	0,0722	0,3410	0,2685	0,3319	0,3027	0,2964	0,2796	0,3151	0,1895	0,3106
2016	0,2900	0,3551	0,3007	0,2102	0,2864	0,0523	0,2903	0,1817	0,2981	0,2806	0,3125	0,2778	0,2566	0,1663	0,2519
2017	0,2912	0,3174	0,2982	0,1831	0,3017	0,0361	0,2925	0,1569	0,2765	0,2810	0,3195	0,2796	0,2167	0,1596	0,2506
2018	0,3184	0,3040	0,2832	0,1875	0,2829	0,0186	0,2707	0,1666	0,2836	0,2879	0,3250	0,3308	0,2205	0,1563	0,2552
2019	0,3102	0,3593	0,2985	0,4220	0,2666	0,4187	0,2576	0,1652	0,2441	0,2791	0,3277	0,3363	0,2404	0,1496	0,2336
2020	0,2793	0,3711	0,3057	0,1549	0,2614	0,2183	0,2445	0,1693	0,2276	0,2886	0,3380	0,3491	0,2491	0,1363	0,1976

Tabela 04

Etapas 04 a 06 do Método TOPSIS

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15
2009	0,0094	0,0041	0,0136	0,0134	0,0096	0,0128	0,0126	0,0178	0,0137	0,0142	0,0080	0,0125	0,0186	0,0253	0,0148
2010	0,0109	0,0034	0,0139	0,0145	0,0114	0,0337	0,0133	0,0191	0,0146	0,0144	0,0118	0,0122	0,0158	0,0206	0,0153
2011	0,0125	0,0058	0,0141	0,0138	0,0109	0,0118	0,0123	0,0196	0,0149	0,0147	0,0130	0,0132	0,0155	0,0191	0,0158
2012	0,0144	0,0084	0,0140	0,0160	0,0149	0,0195	0,0148	0,0180	0,0150	0,0148	0,0137	0,0137	0,0153	0,0166	0,0159
2013	0,0156	0,0125	0,0137	0,0198	0,0167	0,0094	0,0162	0,0179	0,0151	0,0145	0,0141	0,0141	0,0157	0,0156	0,0168
2014	0,0173	0,0159	0,0144	0,0165	0,0184	0,0035	0,0178	0,0161	0,0161	0,0146	0,0143	0,0139	0,0152	0,0128	0,0176
2015	0,0165	0,0222	0,0150	0,0145	0,0184	0,0036	0,0170	0,0134	0,0166	0,0151	0,0148	0,0140	0,0158	0,0095	0,0155
2016	0,0145	0,0178	0,0150	0,0105	0,0143	0,0026	0,0145	0,0091	0,0149	0,0140	0,0156	0,0139	0,0128	0,0083	0,0126
2017	0,0146	0,0159	0,0149	0,0092	0,0151	0,0018	0,0146	0,0078	0,0138	0,0140	0,0160	0,0140	0,0108	0,0080	0,0125
2018	0,0159	0,0152	0,0142	0,0094	0,0141	0,0009	0,0135	0,0083	0,0142	0,0144	0,0163	0,0165	0,0110	0,0078	0,0128
2019	0,0155	0,0180	0,0149	0,0211	0,0133	0,0209	0,0129	0,0083	0,0122	0,0140	0,0164	0,0168	0,0120	0,0075	0,0117
2020	0,0140	0,0186	0,0153	0,0077	0,0131	0,0109	0,0122	0,0085	0,0114	0,0144	0,0169	0,0175	0,0125	0,0068	0,0099
V+	0,0173	0,0034	0,0153	0,0211	0,0096	0,0009	0,0122	0,0078	0,0114	0,0151	0,0169	0,0175	0,0186	0,0068	0,0176
V-	0,0094	0,0222	0,0136	0,0077	0,0184	0,0337	0,0178	0,0196	0,0166	0,0140	0,0080	0,0122	0,0108	0,0253	0,0099

Tabela 05

Etapa 7, Ranqueamento do Método TOPSIS

	Si+	Si-	Pi	TOPSIS RANK
2009	0,0287	0,0315	0,5233	10
2010	0,0395	0,0237	0,3749	12
2011	0,0235	0,0317	0,5742	8
2012	0,0263	0,0260	0,4976	11
2013	0,0212	0,0329	0,6082	5
2014	0,0212	0,0371	0,6365	4
2015	0,0244	0,0374	0,6050	6
2016	0,0211	0,0390	0,6488	3
2017	0,0212	0,0403	0,6555	2
2018	0,0198	0,0417	0,6775	1
2019	0,0267	0,0318	0,5436	9
2020	0,0251	0,0349	0,5819	7

Figura 02

Gráfico de Resultados do Método TOPSIS

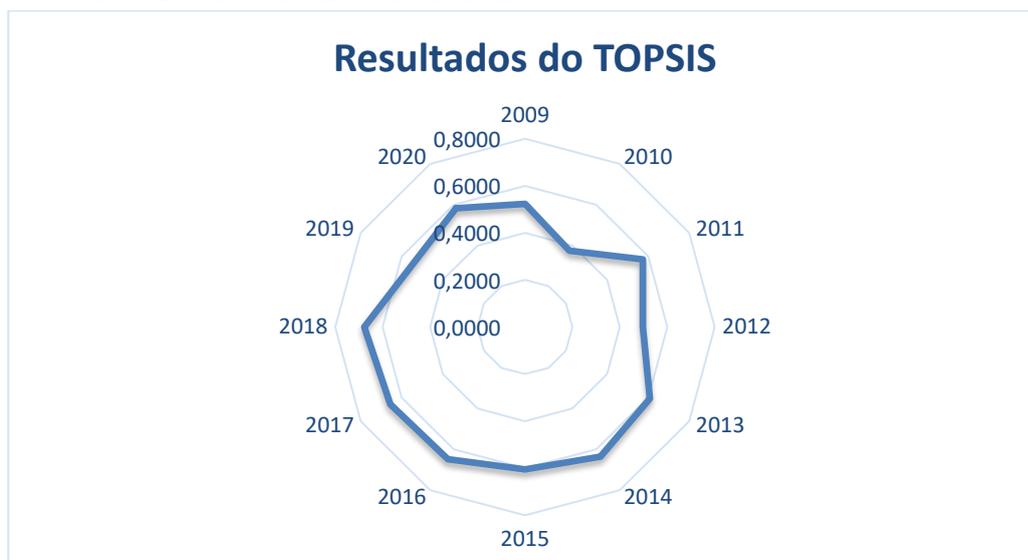


Tabela 06

Etapa 01 do Método Vikor

best (xi+)	337260	61007	2836	111120	604070	18,47	56	114	146,3	17,45	29,2	19,1	29,94	0,41	87384
worst (xi-)	182834	391962	2526	40796	1155220	668	81,4	285	213,3	16,0926	13,8	13,3	17,4	1,52	49050

Tabela 07

Etapas 02 e 03 do método Vikor

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15
2009	0,0500	0,0019	0,0500	0,0287	0,0000	0,0181	0,0035	0,0421	0,0222	0,0387	0,0500	0,0472	0,0000	0,0500	0,0184
2010	0,0406	0,0000	0,0408	0,0247	0,0102	0,0500	0,0100	0,0477	0,0306	0,0313	0,0286	0,0500	0,0185	0,0374	0,0152
2011	0,0301	0,0063	0,0345	0,0274	0,0071	0,0166	0,0004	0,0500	0,0333	0,0203	0,0218	0,0405	0,0201	0,0333	0,0117
2012	0,0181	0,0131	0,0384	0,0192	0,0301	0,0284	0,0236	0,0430	0,0351	0,0129	0,0179	0,0353	0,0213	0,0266	0,0110
2013	0,0105	0,0243	0,0477	0,0048	0,0405	0,0130	0,0358	0,0427	0,0353	0,0276	0,0159	0,0319	0,0189	0,0239	0,0049
2014	0,0000	0,0334	0,0268	0,0170	0,0500	0,0039	0,0500	0,0351	0,0449	0,0239	0,0146	0,0336	0,0221	0,0162	0,0000
2015	0,0051	0,0500	0,0079	0,0247	0,0500	0,0041	0,0435	0,0237	0,0500	0,0000	0,0117	0,0328	0,0185	0,0072	0,0134
2016	0,0177	0,0382	0,0074	0,0397	0,0268	0,0026	0,0207	0,0053	0,0338	0,0468	0,0071	0,0336	0,0372	0,0041	0,0324
2017	0,0173	0,0332	0,0111	0,0447	0,0312	0,0013	0,0217	0,0000	0,0234	0,0460	0,0052	0,0328	0,0500	0,0032	0,0328
2018	0,0087	0,0314	0,0335	0,0439	0,0258	0,0000	0,0118	0,0020	0,0269	0,0313	0,0036	0,0086	0,0488	0,0027	0,0313
2019	0,0113	0,0388	0,0106	0,0000	0,0212	0,0306	0,0059	0,0018	0,0079	0,0500	0,0029	0,0060	0,0424	0,0018	0,0383
2020	0,0211	0,0404	0,0000	0,0500	0,0197	0,0152	0,0000	0,0026	0,0000	0,0299	0,0000	0,0000	0,0396	0,0000	0,0500

Tabela 08

Etapa 04 Ranqueamento do Método VIKOR

	Si	Ri	Qi	VIKOR RANK
2009	0,4207	0,0500	-0,000742	11
2010	0,4356	0,0500	0,000000	12
2011	0,3535	0,0500	-0,004106	7
2012	0,3740	0,0430	-0,006588	4
2013	0,3776	0,0477	-0,004053	9
2014	0,3716	0,0500	-0,003197	10
2015	0,3425	0,0500	-0,004653	6
2016	0,3534	0,0468	-0,005718	5
2017	0,3540	0,0500	-0,004080	8
2018	0,3105	0,0488	-0,006850	3
2019	0,2696	0,0500	-0,008299	2
2020	0,2686	0,0500	-0,008349	1
S*,R*	0,2686	0,0430		
S-,R-	0,4356	0,0500		

Figura 03

Gráfico de Resultados do Método VIKOR



Tabela 09

Matriz de preferências do PROMETHEE

Pref.	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15
Min/Max	max	min	max	max	min	min	min	min	min	max	max	max	max	min	max
Peso	5	5	5	5	3,57	3,57	3,57	3,57	3,57	3,13	3,13	3,13	3,13	3,13	3,13
Função	V-shape	V-shape	V-shape	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear
Thresholds	absolute	%	%	%	%	%	absolute								
q	1	1	1	9,48	171957	174,06	7,21	25,53	9,48	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	64052,45
p	112185,2	238519,4	175,07	24,05	451237,2	411,51	19,52	59,72	24,05	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	141584,7
s	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Tabela 10

Etapas 02 e 03 do PROMETHEE

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15
2009	-0,8425	0,6881	-0,7065	-0,4545	0,4909	0,0326	0,2975	-0,5415	0,2143	-0,0195	-1	-0,5009	0,8766	-0,9708	0
2010	-0,6317	0,7259	-0,4994	0,0909	0,2646	-0,8892	0,2067	-0,5919	-0,0424	-0,0084	-0,6804	-0,5805	0,385	-0,747	0
2011	-0,328	0,5733	-0,319	-0,2727	0,3279	0,0655	0,3447	-0,6171	-0,12	0,0187	-0,4054	-0,3091	0,3642	-0,6352	0
2012	0,0338	0,3855	-0,4401	0,4545	-0,0635	-0,2819	-0,0375	-0,5494	-0,1926	0,0403	-0,1871	-0,1708	0,3459	-0,4408	0
2013	0,2544	0,0503	-0,6546	0,8182	-0,2385	0,1216	-0,3717	-0,5467	-0,1988	-0,0019	-0,0875	-0,1046	0,3793	-0,352	0
2014	0,5322	-0,2265	-0,0401	0,6364	-0,4538	0,2156	-0,7002	-0,371	-0,6311	0,0083	-0,0214	-0,1396	0,3268	-0,1269	0
2015	0,4037	-0,6419	0,5848	-0,0909	-0,4537	0,2132	-0,581	0,0358	-0,8311	0,1129	0,1263	-0,1234	0,385	0,2256	0
2016	0,0455	-0,3666	0,5973	-0,6364	-0,0037	0,2389	0,0326	0,6364	-0,1375	-0,0415	0,3338	-0,1396	-0,4057	0,4718	0
2017	0,0563	-0,2204	0,4986	-0,8182	-0,0821	0,2661	0,0068	0,6364	0,1507	-0,0388	0,4067	-0,1234	-0,782	0,5412	0
2018	0,3022	-0,1662	-0,2848	0,2727	0,014	0,2993	0,1925	0,6364	0,0215	-0,0084	0,4594	0,6547	-0,7579	0,5718	0
2019	0,2308	-0,3809	0,5126	1	0,0883	-0,3702	0,2589	0,6364	0,8509	-0,0535	0,4827	0,7106	-0,5967	0,6471	0
2020	-0,0568	-0,4205	0,7511	-1	0,1097	0,0887	0,3506	0,6364	0,9161	-0,0084	0,5731	0,8266	-0,5204	0,8151	0

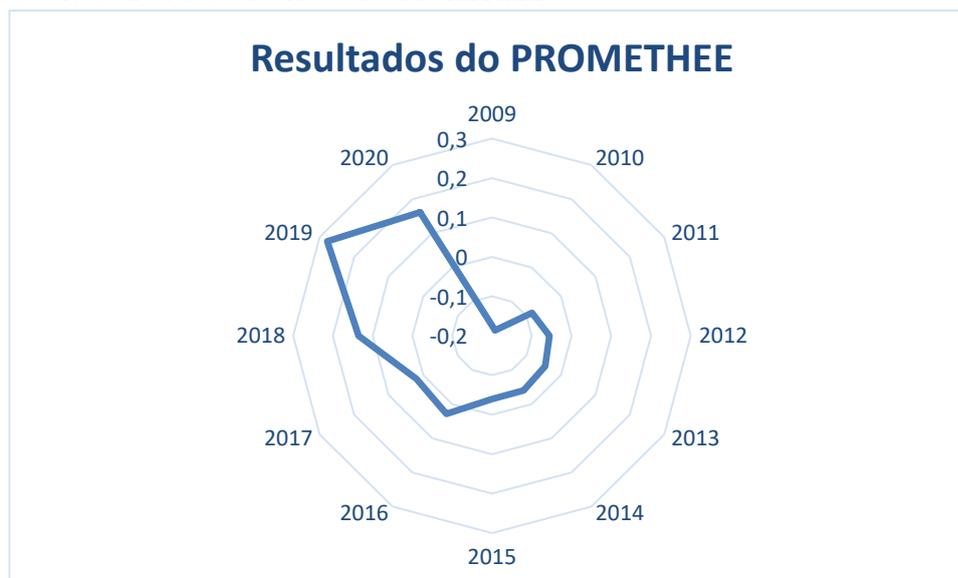
Tabela 11

Resultados e Ranqueamento do PROMETHEE.

	Phi	Phi+	Phi-	Rank
2009	-0,1742	0,2124	0,3866	11
2010	-0,1842	0,1916	0,3758	12
2011	-0,0839	0,1983	0,2822	10
2012	-0,0554	0,1909	0,2463	9
2013	-0,0457	0,1965	0,2422	8
2014	-0,0402	0,2347	0,2748	7
2015	-0,0393	0,2564	0,2957	6
2016	0,0286	0,2265	0,1978	4
2017	0,0192	0,2267	0,2076	5
2018	0,1351	0,2927	0,1576	3
2019	0,2784	0,392	0,1135	1
2020	0,1615	0,3429	0,1814	2

Figura 04

Gráfico de Resultados do Método PROMETHEE



3.3 Discussão dos resultados

De acordo com os resultados obtidos pelos três métodos, observa-se uma similaridade na classificação dos piores anos, sendo 2009 e 2010 os mais desfavoráveis. Comparando os melhores anos de avaliação no ranking, verifica-se que os últimos quatro anos, de 2017 a 2020, são classificados como os melhores, com alta similaridade no resultado do VIKOR e do PROMETHEE. Dessa forma, pode-se dizer que os três métodos são capazes de analisar indicadores de sustentabilidade e apresentam alta similaridade em seus resultados. A seguir, é apresentada uma descrição mais detalhada de suas características e similaridades.

Validação dos Métodos: Os resultados obtidos a partir dos métodos de avaliação multiatributo - VIKOR, PROMETHEE e TOPSIS, demonstraram notável convergência na classificação de sustentabilidade da empresa de petróleo e gás. Essa consistência implica uma validação robusta dos métodos aplicados, destacando sua confiabilidade na avaliação do desempenho sustentável no contexto específico do setor.

Concordância em Critérios: Uma análise aprofundada dos resultados revelou coerência notável na classificação dos critérios de sustentabilidade por todos os três métodos. Isso indica um consenso sobre aspectos cruciais para a sustentabilidade no setor de petróleo e gás. Critérios comumente bem classificados podem abranger preocupações ambientais, governança corporativa e impacto social, enfatizando sua significância substancial para a sustentabilidade neste setor.

Identificação de Forças e Fraquezas: Apesar das classificações consistentes em geral, a análise comparativa facilitou a identificação de áreas em que a empresa se destaca e outras que requerem melhorias. Essa uniformidade nas classificações ressaltou áreas específicas onde a empresa demonstra desempenho superior em sustentabilidade e aspectos que podem precisar de aprimoramento para alcançar níveis mais elevados de responsabilidade corporativa.

Sensibilidade à Ponderação de Critérios: A exploração da sensibilidade dos métodos a variações na ponderação de critérios revelou que, apesar das alterações de peso, a congruência nos resultados foi amplamente mantida. Isso sugere que os métodos são relativamente estáveis em relação às variações de peso e mantêm consistência em suas classificações, independentemente de como os critérios são ponderados.

Discussão sobre Limitações: Reconhecer as limitações dos métodos empregados é crucial. Embora tenham produzido resultados convergentes, eles podem não abordar todas as temáticas da sustentabilidade no setor de petróleo e gás. As limitações podem incluir a desconsideração de impactos ambientais específicos ou a falta de dados em determinadas áreas, o que pode influenciar os resultados.

Implicações para a Empresa: Os resultados consistentes dos métodos fornecem à empresa uma compreensão abrangente de seu desempenho em sustentabilidade. Isso pode servir como um guia valioso para identificar áreas prioritárias para investimento e melhoria contínua. Compreender os pontos fortes e fracos destacados pela análise convergente permite decisões estratégicas informadas para avançar em direção às práticas mais sustentáveis e fortalecer a posição da empresa em termos de responsabilidade corporativa.

Possibilidade de integração com outros métodos: Quanto à possibilidade de integração com outros métodos, destaca-se a utilização da lógica fuzzy para lidar com a incerteza durante a ponderação de critérios. Autores como Rostamzadeh et al. (2015) integraram o fuzzy-VIKOR, enquanto Onu et al. (2017), Saeidi et al. (2022), Solangi et al. (2019) e Awasthi et al. (2011) integraram o fuzzy-TOPSIS. Além disso, autores como Gouraizim et al. (2023) empregaram o fuzzy-PROMETHEE para lidar com essas incertezas durante o processo de avaliação. Essa abordagem fuzzy é significativa, pois permite lidar com a imprecisão dos dados e a tomada de decisão, aprimorando a análise de sustentabilidade ao considerar elementos incertos ou subjetivos nos métodos de avaliação.

Outros métodos também podem ser integrados a modelos multiatributo, como modelos de otimização matemática. Um exemplo é o estudo de Vivas et al. (2020), que combinou a programação por objetivos com o PROMETHEE. Adicionalmente, métodos para previsão de dados futuros, incluindo modelos de previsão estatística, regressão linear, regressão logística e modelos de aprendizado de máquina mais avançados, também podem ser incorporados.

A escolha do melhor método para analisar o desempenho de sustentabilidade pode depender de particularidades do contexto específico e das preferências do pesquisador. Entretanto, considerando a natureza intrínseca dos métodos, o PROMETHEE se destaca pela habilidade de levar em conta relações internas entre os critérios de avaliação, além de ponderar a importância relativa de cada um. Ademais, a flexibilidade do PROMETHEE em lidar com incertezas por meio de métodos baseados em lógica *fuzzy* pode torná-lo uma opção valiosa para avaliar sustentabilidade em contextos complexos e incertos. Apesar disso, a literatura sugere que a seleção do método mais adequado deve se basear na natureza específica do problema, dados disponíveis

e objetivos da análise, defendendo uma abordagem adaptada ao contexto de cada estudo.

4 CONCLUSÕES

Este artigo forneceu uma análise comparativa de métodos multiatributo na avaliação do desempenho de sustentabilidade, por meio de um estudo de caso que utilizou dados coletados de relatórios de sustentabilidade de uma empresa brasileira de petróleo e gás. Os métodos utilizados foram: VIKOR, PROMETHEE e TOPSIS.

Em resumo, os resultados gerados são semelhantes. TOPSIS foca na proximidade das soluções ideal e não ideal, PROMETHEE lida com preferências declaradas para classificar alternativas e VIKOR busca um compromisso entre múltiplos critérios. A escolha entre esses métodos depende da natureza dos critérios, das preferências do tomador de decisão e dos objetivos específicos da análise multicritério.

A comparação dos métodos multiatributo VIKOR, TOPSIS e PROMETHEE forneceu insights valiosos sobre seus respectivos pontos fortes e fracos ao abordar cenários complexos de tomada de decisão. VIKOR demonstrou robustez no tratamento de critérios conflitantes e forneceu uma classificação abrangente de alternativas, tornando-o adequado para situações em que soluções de compromisso são essenciais. TOPSIS se destacou na identificação da alternativa mais próxima da opção ideal, mas pode não abordar adequadamente as compensações entre critérios. PROMETHEE, por outro lado, exibiu sua capacidade de gerenciar vários tipos de funções de preferência, oferecendo flexibilidade na modelagem das preferências dos tomadores de decisão.

Embora os métodos analisados tenham semelhanças e produzam resultados similares, o PROMETHEE é mais relevante quando se lida com problemas complexos que envolvem uma gama mais ampla de critérios, especialmente quando há múltiplas percepções e julgamentos humanos envolvidos, e quando as decisões são de longo prazo com impactos duradouros. O PROMETHEE apresenta vantagens quando há dificuldade em quantificar ou comparar elementos importantes da decisão, ou quando a colaboração entre departamentos ou membros da equipe é restrita devido às suas diferentes especializações ou perspectivas.

A escolha entre esses métodos, em última instância, depende dos requisitos específicos e das nuances do problema de decisão em questão, enfatizando a importância de selecionar cuidadosamente o método mais apropriado para apoiar a tomada de decisão informada e eficaz em diversos contextos do mundo real.

Por fim, a análise por meio de modelos multiatributo pode ser essencial para a tomada de decisão em cenários complexos como a sustentabilidade. Oportunidades para pesquisas futuras podem explorar as metodologias com diferentes abordagens como em outros tipos de organizações e/ou locais para avaliar a sustentabilidade organizacional. Além disso, experimentar a integração de modelos multiatributo com modelos de otimização matemática e modelos de previsão é uma opção viável para avaliar, otimizar e prever a sustentabilidade. Com o avanço das tecnologias de análise de dados, esta integração se configura, sem dúvida, como uma oportunidade significativa para experimentação.

REFERÊNCIAS

- Awasthi, A.; Chauhan, S., & Omrani, H. (2011). Application of fuzzy TOPSIS in evaluating sustainable transportation systems. *Expert Systems with Applications*, 38(10), 12270-12280.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.005>
- Bhatnagar, R.; Keskin, D.; Kirkels, A.; Romme, G.; & Huijben, J.C.C.M. (2022). Design principles for sustainability assessments in the

- business model innovation process. *Journal of Cleaner Production*, 377, 134313. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134313>
- Bochstaller, C.; Beauchet, S.; Manneville, V.; Amiaud, B.; & Botreau, R. (2017). A tool to design fuzzy decision trees for sustainability assessment. *Environmental Modelling & Software*, 97, 130-144. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.07.011>
- Brandenburg, B.; Govindan, K.; Sarkis, J.; & Seuring, S. (2014). Quantitative models for sustainable supply chain management: Developments and directions. *European Journal of Operational Research*, 233(2), 299-312. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.09.032>
- BRANS, J.P.; & Mareschal, B. (2005). Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys. In Figueira J., Greco S., Ehrogott M (Org.), PROMETHEE methods. In: Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys (pp 164-189). Springer.
- Duckstein, L.; & Opricovic, S. (1980). Multiobjective optimization in river basin development. *Water Resour. Res.*, 16(1), 14-20. <https://doi:10.1029/WR016i001p00014>
- Farley, H.; & Smith, Z. (2013). *Sustainability: If it's everything, is it nothing?* Taylor & Francis Group Limited. <https://doi.org/10.4324/978020.499062>
- Global Reporting Initiative. (2021). *Reports GRI 301-306*. <https://www.globalreporting.org/how-to-use-the-gri-standards/gri-standards-portuguese-translations/> Acesso em 09 de janeiro de 2024.
- Gourazim, M.; Makan, A.; & Ouarghi, H. (2023). A CAR-PROMETHEE-based multi-criteria decision-making framework for sustainability assessment of renewable energy technologies in Morocco. *Oper Manag Res*, 16, 1343-1358. <https://doi.org/10.1007/s12063-023-00361-4>
- Heichl, V.; & Hirsch, S. (2023). Sustainable fingerprint - Using textual analysis to detect how listed EU firms report about ESG topics. *Journal of Cleaner Production*, 426, 138960. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138960>
- Hwang, C.L.; & Yoon, K. (1981). Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. *Springer-Verlag*.
- Onu, P.; Quan, X.; Xu, L.; Orji, J.; & Onu, E. (2017). Evaluation of sustainable acid rain control options utilizing a fuzzy TOPSIS multi-criteria decision analysis model framework. *Journal of Cleaner Production*, 141, pp. 612-625. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.065>.
- Rostamzadeh, R.; Govindan, K.; Esmaeili, A.; & Sabaghi M. (2015). Application of fuzzy VIKOR for evaluation of green supply chain management practices. *Ecological Indicators*, 49, pp. 188-203. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.09.045>
- Saeidi, P.; MARDANI, A.; Mishra A.R.; Cajas, V.E.; & Carvajal, M.G. (2022). Evaluate sustainable human resource management in the manufacturing companies using an extended Pythagorean fuzzy SWARA-TOPSIS method. *Journal of Cleaner Production*, 370, 133380. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133380>

Saulick, P.; Bokhoree, C.; Bekaroo, G. Business sustainability performance: A systematic literature review on assessment approaches, tools and techniques. *Journal of Cleaner Production*, 408, 136837. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136837>

Solangi, Y.A.; Tan, Q.; Mirjat, N.H.; Ali, S. (2019). Evaluating the strategies for sustainable energy planning in Pakistan: An integrated SWOT-AHP and Fuzzy-TOPSIS approach. *Journal of Cleaner Production*, 236, 117655. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117655>

Vivas, R.C.; Santanna, Â.; Esquerre, K.; Freires, F. Measuring Sustainability Performance with Multi Criteria Model: A Case Study. *Sustainability*, 11, 6113. <https://doi.org/10.3390/su11216113>

Vivas, R.C.; Santanna, Â.; Esquerre, K.; Freires, F. (2020). Integrated method combining analytical and mathematical models for the evaluation and optimization of sustainable supply chains: A Brazilian case study. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 105670. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.01.044>