

# AValiação DO DESEMPENHO SUSTENTÁVEL DAS TRÊS MAIORES SIDERÚRGICAS BRASILEIRAS PELO MÉTODO VIKOR, ADOTANDO PESO POR AHP-GAUSSIANO

*Data de aceite: 03/06/2024*

**Carlos Alberto Soares Cunha**

Universidade Federal Fluminense (UFF)

**Luís Alberto Duncan Rangel**

Universidade Federal Fluminense (UFF)

**Julio Vieira Neto**

Universidade Federal Fluminense (UFF)

**RESUMO:** A produção de aço nacional representou 1,8% da produção global de aço em 2022, posicionando o país como o 9º maior produtor mundial. Na América Latina, o país contribuiu com 54,9% da produção regional. Este cenário econômico robusto coexiste com desafios ambientais e sociais. Este estudo se propôs a avaliar o desempenho sustentável das três maiores siderúrgicas brasileiras, considerando os pilares econômico, ambiental e social. Utilizando os indicadores do Global Reporting Initiative (GRI) para comparar as empresas ao longo dos anos de 2019, 2020 e 2021, o método AHP-Gaussiano para atribuição objetiva de pesos aos critérios e o método VIKOR foi aplicado para classificação. Através da aplicação do método, observou-se a alternância na classificação das siderúrgicas com base

nos critérios utilizados. Em resumo, embora o setor siderúrgico brasileiro seja vital para a economia, a análise de sustentabilidade revela desafios e destaca a necessidade de equilibrar considerações econômicas, ambientais e sociais para garantir um futuro sustentável.

**PALAVRAS-CHAVE:** desempenho sustentável, siderúrgicas, VIKOR, AHP Gaussiano.

## INTRODUÇÃO

O Instituto Aço Brasil (2023) informa que, em termos de produção internacional de aço, o Brasil foi responsável por 1,8% da produção mundial no ano de 2022. Este percentual permitiu que o país mantivesse a 9ª colocação no ranking mundial de produtores deste produto. Além disso, na América Latina, o país detém papel de destaque. O país é responsável por 54,9% da produção de aço na região, ocupando o primeiro lugar no *ranking*.

Internamente, diversos são os setores que consomem o produto aço no país. Os que possuem maiores destaques são: construção civil, automotivo e de bens

de capital. Na construção civil, o consumo aparente total aumentou 0,7%, passando de 38,2% em 2021 para 38,9% em 2022, mantendo este setor com o principal consumidor. O setor automotivo, segundo colocado, consumiu, em 2022, 5,5 milhões de toneladas. Em terceiro lugar, veio o setor de bens de capital que consumiu 5,1 milhões de toneladas.

Conclui-se que, economicamente, o setor siderúrgico brasileiro possui imenso papel de destaque, tanto interna como externamente, no que tange à produção de aço como na geração de receitas. Entretanto, apesar de o eixo econômico ser o item responsável pelo desenvolvimento de um país, desde muito tempo não há como se dissociar o termo crescimento dos demais pilares do *Triple Bottom Line*, (TBL), ou seja, dos pilares ambiental e social. Isso se dá pelo fato de que o modelo linear de produção e consumo já não se sustenta. Este modelo acarreta o esgotamento de recursos, a geração de resíduos e a degradação ambiental. Todos eles representam sérios riscos para a saúde das pessoas e do meio ambiente (HEGAB et al., 2023). Assim, nos tempos atuais, não há como se pensar e agir sem prever as consequências decorrentes da atividade econômica exercida. É primordial girar a economia, mas sem degradar o meio ambiente e impactar o social.

Analisando primeiramente sob o pilar ambiental, um dos impactos da produção de aço é a geração de resíduos e de emissões de gases de efeito estufa (GEE). Estes resíduos impactam diretamente no meio ambiente. De acordo com o Observatório do Clima (2023), a emissão de GEE vem aumentando ao longo dos cinquenta anos. Em 2019, a produção de 32,6 milhões de toneladas de aço geraram aproximadamente 42 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>. Por exemplo, em uma década (2009-2019), a produção de aço variou em 27,69% enquanto a emissão de gás variou em 49,21%.

Além dos GEEs, há também os resíduos em partículas que são tão ou mais prejudiciais para o meio ambiente. Nestes estão enquadrados a lama, os pós e finos, os agregados siderúrgicos de aciaria e de alto-forno, bem como outros tipos menos frequentes.

Ainda no campo ambiental, não se pode olvidar de destacar que a siderurgia é uma das maiores consumidoras de matéria-prima e fontes externas. Em 2021, segundo o Instituto do Aço, foram consumidos 37 milhões de toneladas de minério de ferro e 9 milhões de toneladas de carvão mineral, foram comprados 9 milhões de MWh e gerados 7 milhões de MWh de energia elétrica e, também, captados 162 milhões de m<sup>3</sup> de água doce. Diante do mencionado os dados demonstram o quanto o setor siderúrgico impacta no meio ambiente quando da produção.

No âmbito social, um dos temas mais preocupantes em decorrência das atividades é o impacto na saúde das pessoas que habitam o entorno onde se encontram as usinas siderúrgicas. Como exemplo da necessidade do olhar social, tem-se o caso específico de Taranto – cidade ao sul da Itália, onde se localiza uma das maiores usinas siderúrgicas europeias. Pelo fato da existência da usina, foi constatado maior risco de mortalidade por câncer de pulmão, doenças respiratórias e mesotelioma pleural. Ademais, o registro de excesso de incidência de câncer apareceu entre a população mais jovem (GIANICOLO et al., 2021).

Além disso, as questões sociais vão além da simples preocupação com a saúde das comunidades locais. Vários são os outros aspectos sociais nos quais as siderúrgicas abarcam quando de sua atuação. Neste setor, os temas ligados ao pilar social são dos mais diversos. Tem-se, por exemplo, indicadores ligados ao registro do nível de escolaridade da mão de obra, à taxa de rotatividade dos empregados, à diversidade de gênero e raça, à promoção do desenvolvimento dos fornecedores locais, ao relacionamento com a comunidade etc. Por exemplo, no caso das siderúrgicas brasileiras, segundo o Instituto do Aço do Brasil, em 2020 a taxa de rotatividade foi de 10,6% enquanto em 2021 foi de 14,7%.

Analisando o desempenho sustentável sob o prisma dos pilares do TBL, considera-se que estes (econômico, ambiental e social) devem estar interligados. Desta forma, entender e se situar no status quo das três dimensões da sustentabilidade de uma organização é o primeiro passo para propor estratégias e ações que estimulem o desenvolvimento sustentável na busca por vantagem competitiva (FALSARELLA; JANNUZZI, 2020).

Nos relatórios de sustentabilidade é possível conhecer a situação existente na empresa, pois estes surgem como uma ferramenta facilitadora para a divulgação do desempenho (GUEDES; RIBEIRO; JEUNON, 2020) e como meio de divulgação das ações sustentáveis (DE SOUZA et. al., 2022). Várias organizações adotam o modelo fornecidos pela *Global Reporting Initiative* (GRI) (OLIVEIRA; FORAPANI; PEREIRA, 2022).

Estabelecida em 1997 em Amsterdã, a GRI é uma organização sem fins lucrativos que auxilia governos e organizações a compreender os impactos dos negócios no desenvolvimento sustentável (CAMPUS et al., 2013).

Além do auxílio proporcionado, o último modelo do GRI – estabelecido em 2015, dispõe de diretrizes que estão vinculadas diretamente aos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Uma vez que os 17 ODS foram estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU), o GRI passou ser a estrutura de comunicação voluntária do desempenho ambiental e social das empresas mais conhecida em todo mundo (CAIADO et al., 2017).

Assim, tendo por base os indicadores ligados aos 17 ODS e que são apresentados nos relatórios de sustentabilidade das empresas, torna-se necessário utilizar um modelo multicritério de apoio à decisão que ordene as organizações do melhor para o pior desempenho.

Na literatura, as quantidades de ferramentas *Multiple-Criteria Decision-Making* (MCDM) disponíveis que suportam técnicas para ajudar os tomadores de decisão são inúmeras. As mais conhecidas são AHP, TOPSIS, PROMETHEE, VIKOR entre outras. Entretanto, neste artigo, será utilizado o método VIKOR, o qual tem base avaliar as alternativas com base na distância euclidiana entre as alternativas e as soluções ideais (global e local), juntamente com índices de concordância e discordância.

No presente estudo, o método terá por finalidade priorizar e selecionar a organização que teve o melhor desempenho sustentável considerando os diversos indicadores contidos

nos relatórios. Entretanto, ao invés de utilizar o tradicional método *Analytic Hierachy Process* (AHP) para definição dos pesos dos critérios, será utilizado o AHP-Gaussiano, tendo em vista que este se destaca por sua capacidade de poupar o esforço cognitivo do tomador de decisão na atribuição de pesos aos critérios (PEREIRA et al., 2023b), eliminando a subjetividade das análises.

Portanto, o objetivo desta pesquisa é encontrar a melhor alternativa em termos de desempenho sustentável utilizando o método AHP-Gaussiano para atribuição dos pesos dos critérios nos indicadores. Serão analisadas as três maiores empresas brasileiras sob o aspecto produtivo, pois estas detêm praticamente 78% da produção das cinco maiores empresas do setor (Instituto Aço Brasil, 2023).

Para o alcance do objetivo proposto neste artigo o estudo apresentará, no referencial teórico, o método VIKOR como ordenador de alternativas e o método AHP-Gaussiano como atribuidor de pesos. Em seguida, serão aplicados, no método, os dados coletados nos relatórios do GRI dos anos em comum e, por fim, apresentadas a discussão dos resultados e as conclusões.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### O Método VIKOR

O Método *Višekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Rješenje*, desenvolvido por Opricovic (1998), consiste em determinar um ranking de compromisso baseado na medida particular de proximidade com a solução ideal (Opricovic e Tzeng; 2004).

Segundo Opricovic e Tzeng (2004) e Tzimopoulos et al. (2013), as etapas para encontrar uma alternativa que seja equilibrada em relação à distância da solução ideal e ao desempenho em relação a alternativas segue os seguintes passos:

**Passo 1:** determinar os melhores valores  $f_i^*$  e os piores valores  $f_i^-$  em relação a todos os critérios  $i = 1, 2, \dots, n$ :

$$f_i^* = \max_j f_{ij} \quad (1)$$

$$f_i^- = \min_j f_{ij} \quad (2)$$

Se o critério  $i$  representar um benefício (+), e

$$f_i^* = \min_j f_{ij} \quad (3)$$

$$f_i^- = \max_j f_{ij} \quad (4)$$

Se o critério  $i$  representar um custo (-), e

**Passo 2:** calcular os valores  $S_j$  e  $R_j$  para  $j = 1, 2, \dots, J$ , por meio das relações:

$$S_j = \frac{\sum_{i=1}^n w_i (f_i^* - f_{ij})}{(f_i^* - f_i^-)} \quad (5)$$

$$R_j = \max_i \left[ \frac{(f_i^* - f_{ij})}{(f_i^* - f_i^-)} \right] \quad (6)$$

Em que  $w_j$  são os pesos dos critérios.

**Passo 3:** calcular os valores  $Q_j$  para  $j = 1, 2, \dots, J$ , pela relação:

$$Q_j = \frac{v(S_j - S^*)}{(S^- - S^*)} + \frac{(1-v)(R_j - R^*)}{(R^- - R^*)} \quad (7)$$

Sendo:

$$S^* = \min_j S_j \quad (8)$$

$$S^- = \max_j S_j \quad (9)$$

$$R^* = \min_j R_j \quad (10)$$

$$R^- = \max_j R_j \quad (11)$$

O valor “ $v$ ” é introduzido na equação como o peso da estratégia de utilidade do grupo máxima e serve para efetuar o balanço entre esta e a medida de não conformidade individual. No presente artigo, o valor adotado foi de 0,5 (consenso).

**Passo 4:** ordenar as alternativas em ordem crescente, pelos valores obtidos para os índices  $S$ ,  $R$  e  $Q$ , obtendo como resultado três listas ordenadas.

**Passo 5:** propor como solução de compromisso a alternativa  $A^1$  que é classificada como a melhor por  $Q$  (mínimo), caso sejam atendidas as condições da Figura 1.

**Condição 1** (Diferença/Vantagem Aceitável)

$$\text{Satisfazer a condição: } Q(A^2) - Q(A^1) \geq DQ \quad (12)$$

Em que  $A^2$  é a alternativa na segunda posição na lista de ordenação e  $DQ$  dado pela equação (13).

$$DQ = \frac{1}{(J-1)} \quad (13)$$

Sendo  $J$  o número de alternativas.

**Condição 2** (Estabilidade aceitável na tomada de decisão)

Alternativa  $A^1$  deve ser mais bem categorizada pelas ordenações  $S$  e/ou  $R$ .

Como  $v = 0,5$  (adotado), a solução de compromisso está enquadrada com um “consenso”. Além disso,  $v$  é considerado como o peso da estratégia de tomada de decisão baseada na máxima utilidade do grupo.

No caso de uma das condições não ser atendida, propõe-se um conjunto de soluções de compromisso que consiste no seguinte:

1. Alternativa  $A^1$  e  $A^2$  se e somente se a condição 2 não for atendida;
2. Alternativas  $A^1, A^2, \dots, A^m$  se a condição 1 não for atendida: onde  $A^m$  é determinada pela relação  $Q(A^m) - Q(A^1) < DQ$ , para o maior valor de  $M$ , isto é, de forma que as posições dessas alternativas sejam próximas.

## O método AHP Gaussiano

O método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) foi apresentado em 1970 por Saaty (1980). Seu objetivo foi o de analisar os critérios por meio da opinião e do senso de especialistas, considerando a análise par a par. Na análise par a par, valores de julgamento são utilizados para representar uma escala (DE SOUZA; DE OLIVEIRA; DE SOUZA, 2023). Esta escala apresenta-se como Escala Fundamental de Saaty, onde os critérios recebem o valor de 1, considerado igualmente importante, ao valor de 9, para extremamente importante (ROCHA PAZ; SANTOS; FRANCISCO, 2022).

O método AHP é um método que apresenta o ponto de vista do especialista por meio das comparações por pares. As prioridades avaliadas capturam medidas subjetivas e objetivas que demonstram a intensidade de um domínio de uma alternativa sobre outra (SAATY; VARGAS, 2012 apud DE SOUZA; DE OLIVEIRA; DE SOUZA, 2023). Por conseguinte, é patente que o método AHP exige um esforço cognitivo dos especialistas para a análise do grau de importância dos critérios (ROCHA PAZ; SANTOS; FRANCISCO, 2022).

Como forma de se evitar o uso do “recurso” especialista, surgiu o método AHP-Gaussiano. O método visa a uma nova abordagem para o método original do AHP, que se baseia em uma análise de sensibilidade do fator Gaussiano. Com essa abordagem, é possível obter os pesos dos atributos a partir de entradas quantitativas das alternativas em seus respectivos atributos, a partir dos dados inseridos na matriz de decisão cuja característica é estabelecer os pesos dos critérios a partir da matriz de decisão por meio de critérios quantitativos (PEREIRA et al., 2023a). Assim, na avaliação par a par do grau de importância dos critérios, não serão considerados os especialistas como no método AHP tradicional. Os pesos dos critérios passarão a ser obtidos através da matriz de decisão (DOS SANTOS; COSTA; GOMES, 2021).

Santos, Gomes e Costa (2021), apresentaram a sequência para o cálculo dos pesos (fator gaussiano):

- a. Estabelecer a matriz de decisão normalizada;
- b. Calcular a média das alternativas;
- c. Calcular o desvio padrão de cada alternativa para cada critério;
- d. Calcular o fator gaussiano (peso) para cada critério.

Convertendo as etapas em equações matemáticas, o primeiro procedimento é estabelecer a Matriz de Decisão Normalizada. As demais etapas podem ser representadas matematicamente conforme (14), (15), e (16).

## ANÁLISE E RESULTADOS DO MÉTODO VIKOR COM AHP GAUSSIANO

A avaliação do desempenho sustentável, contido no presente estudo, ateu-se principais siderúrgicas brasileiras. A escolha ocorreu através da seleção das três maiores produtoras de aço do setor. As três empresas abrangidas na pesquisa foram selecionadas através de informações disponíveis no site do Instituto Aço Brasil. O parâmetro utilizado na seleção foi da maior produtora para a menor produtora no ano de 2022. Assim, o Quadro 1 apresenta a produção total de aço bruto (em 10<sup>3</sup>t) por empresa.

<i>Siderúrgica</i>	<i>Produção de Aço Bruto (103t)</i>
S1	10.694
S2	6.496
S3	4.424

Quadro 1 – Produção de aço por siderúrgica

O passo seguinte foi efetuar pesquisa documental nos relatórios de sustentabilidade vinculados aos GRI, para o período de 2018 a 2022 (cinco anos). O segundo passo foi evidenciar se as siderúrgicas publicaram os relatórios nos anos em comum, pois desta forma seria possível comparar e montar a matriz de decisão. Das siderúrgicas analisadas na pesquisa, observou-se que os relatórios passíveis de comparação se referiam aos anos de 2019, 2020 e 2021.

Com os relatórios do GRI das siderúrgicas, o passo seguinte foi verificar os indicadores (critérios) em comum passíveis de comparação e, assim, montar a matriz de decisão com o auxílio de planilha eletrônica. Cabe destacar que a planilha eletrônica é de grande valia uma vez que os indicadores do GRI servem como base, conforme alguns estudos, para examinar as práticas de sustentabilidade nas empresas (VALLET-BELLMUNT; FUERTES-FUERTES; FLOR, 2023). Utilizando indicadores que possibilitem mensurar, de forma quantitativa e qualitativa, é possível comparar as organizações (WALTER et al., 2023).

Estabelecidos e reunidos os critérios em comum, passou-se ao enquadramento dos indicadores nas dimensões da sustentabilidade. A noção de sustentabilidade empresarial é referida como um *Triple Bottom Line*, onde se encontram fincados os três pilares da sustentabilidade, a saber: econômico, social e ambiental (POLITIS; GRIGOROUDIS, 2022). Portanto, em decorrência de indicadores comuns às empresas e de forma a contemplar a análise sob o prisma do TBL, foram selecionados quatro critérios para a dimensão econômica, quatro para a dimensão social e três para a dimensão ambiental, conforme apresentado no Quadro 2.

Dimensão	Critério	Medidas	Unidade
Econômica	CE1	EBITDA	R\$ (BILHÕES)
	CE2	Receita Líquida	R\$ (BILHÕES)
	CE3	Lucro Líquido	R\$ (BILHÕES)
	CE4	Volume de Venda de Aço	TON (MILHÕES)
Social	CS1	Taxa de frequência de acidentes com perda de tempo	%
	CS2	Número de empregos diretos gerados	MIL
	CS3	Número de mulheres empregadas	MIL
	CS4	Investimento no social	R\$ (MILHÕES)
Ambiental	CA1	Consumo total de energia direta	GJ (MILHÕES)
	CA2	Emissões diretas e indiretas de gases de efeito estufa	tCO2 (MILHÕES)
	CA3	Consumo de água	MIL MEGALITROS

Quadro 2 – Critérios de Sustentabilidade Comuns aos Relatórios

Obtidas as informações, a próxima etapa reuniu, em tabelas, os dados de cada critério, para cada siderúrgica, para os três anos pesquisados: 2019, 2020 e 2021. Conseqüentemente, chegaram-se às matrizes de decisão de desempenho apresentadas nas Tabelas 1, 2 e 3.

2019	CE1	CE2	CE3	CE4	CS1	CS2	CS3	CS4	CA1	CA2	CA3
S1	4,006	32,455	1,230	10,000	0,360	16,594	1,778	22,697	209,143	15,809	410,820
S2	5,710	39,640	1,300	12,090	5,830	17,276	2,213	1,770	151,202	13,839	80,938
S3	6,019	40,212	2,485	12,511	0,840	19,863	1,589	26,038	276,500	18,700	198,600

Tabela 1– Matriz de Decisão de Desempenho de 2019

2020	CE1	CE2	CE3	CE4	CS1	CS2	CS3	CS4	CA1	CA2	CA3
S1	5,083	33,070	1,235	9,300	0,180	19,915	2,048	28,278	187,765	13,414	351,123
S2	7,690	43,815	2,400	11,461	0,860	17,122	2,294	3,321	146,365	13,019	51,429
S3	7,860	45,038	4,475	11,360	0,820	15,059	1,355	57,229	249,909	17,300	178,600

Tabela 2– Matriz de Decisão de Desempenho de 2020

2021	CE1	CE2	CE3	CE4	CS1	CS2	CS3	CS4	CA1	CA2	CA3
S1	20,189	69,002	12,841	12,500	0,195	16,816	2,051	133,170	217,743	17,158	384,016
S2	22,000	47,900	13,600	4,603	1,968	26,161	4,425	105,000	112,333	13,770	98,476
S3	31,630	86,809	23,561	12,065	0,790	14,927	1,493	93,334	288,354	19,200	157,000

Tabela 3– Matriz de Decisão de Desempenho de 2021



Estabelecidas as três matrizes de decisão correspondentes aos anos de 2019 a 2021, por empresa, o passo seguinte foi normalizar as matrizes. Em decorrência da normalização, obtiveram-se as Matrizes de Decisão de Desempenho Normalizadas para cada ano.

2019	CE1	CE2	CE3	CE4	CS1	CS2	CS3	CS4	CA1	CA2	CA3
S1	0,435	0,498	0,402	0,498	0,061	0,533	0,547	0,656	0,553	0,562	0,886
S2	0,620	0,609	0,424	0,602	0,988	0,555	0,680	0,051	0,400	0,492	0,175
S3	0,653	0,617	0,812	0,623	0,142	0,638	0,488	0,753	0,731	0,665	0,429

Tabela 4– Matriz de Decisão de Desempenho de 2019 (Normalizada)

2020	CE1	CE2	CE3	CE4	CS1	CS2	CS3	CS4	CA1	CA2	CA3
S1	0,420	0,466	0,236	0,499	0,150	0,658	0,609	0,442	0,544	0,527	0,884
S2	0,635	0,617	0,459	0,615	0,716	0,566	0,683	0,052	0,424	0,511	0,129
S3	0,649	0,634	0,856	0,610	0,682	0,497	0,403	0,895	0,724	0,679	0,450

Tabela 5– Matriz de Decisão de Desempenho de 2020 (Normalizada)

2021	CE1	CE2	CE3	CE4	CS1	CS2	CS3	CS4	CA1	CA2	CA3
S1	0,458	0,508	0,414	0,581	0,161	0,538	0,456	0,816	0,555	0,604	0,919
S2	0,526	0,577	0,503	0,591	0,742	0,694	0,825	0,078	0,388	0,422	0,119
S3	0,717	0,639	0,759	0,560	0,651	0,478	0,332	0,572	0,736	0,676	0,376

Tabela 6– Matriz de Decisão de Desempenho de 2021 (Normalizada)

Como apresentado anteriormente, uma das delimitações da pesquisa foi substituir a subjetividade da comparação par a par, quando da utilização dos especialistas quanto à determinação dos pesos dos critérios. Desta forma, utilizou-se o Fator Gaussiano para determinação dos pesos.

Com a equação (14), calcularam-se os pesos para cada ano, sendo estes apresentados nas Tabelas 7 a 9.

Gaussiano	CE1	CE2	CE3	CE4	CS1	CS2	CS3	CS4	CA1	CA2	CA3
Média	0,569	0,575	0,546	0,575	0,397	0,576	0,572	0,487	0,561	0,573	0,497
Desvio Padrão	0,118	0,066	0,230	0,067	0,513	0,055	0,098	0,380	0,166	0,087	0,361
Fator Gaussiano	0,207	0,115	0,422	0,117	1,293	0,096	0,172	0,781	0,295	0,152	0,727
Fator Gaussiano Normalizado	0,047	0,026	0,096	0,027	0,295	0,022	0,039	0,179	0,067	0,035	0,166

Tabela 7– Cálculo do Peso (Fator Gaussiano Normalizado) para 2019

Gaussiano	CE1	CE2	CE3	CE4	CS1	CS2	CS3	CS4	CA1	CA2	CA3
Média	0,568	0,572	0,517	0,575	0,516	0,574	0,565	0,463	0,564	0,572	0,488
Desvio Padrão	0,128	0,093	0,314	0,065	0,317	0,081	0,145	0,422	0,151	0,093	0,379
Fator Gaussiano	0,226	0,162	0,607	0,114	0,615	0,140	0,256	0,911	0,268	0,162	0,776
Fator Gaussiano Normalizado	0,053	0,038	0,143	0,027	0,145	0,033	0,060	0,215	0,063	0,038	0,183

Tabela 8– Cálculo do Peso (Fator Gaussiano Normalizado) para 2020

Gaussiano	CE1	CE2	CE3	CE4	CS1	CS2	CS3	CS4	CA1	CA2	CA3
Média	0,567	0,575	0,558	0,577	0,518	0,570	0,538	0,489	0,560	0,567	0,471
Desvio Padrão	0,134	0,066	0,179	0,016	0,313	0,112	0,257	0,376	0,174	0,131	0,408
Fator Gaussiano	0,237	0,114	0,321	0,027	0,604	0,196	0,477	0,770	0,311	0,231	0,866
Fator Gaussiano Normalizado	0,057	0,027	0,077	0,006	0,145	0,047	0,115	0,185	0,075	0,056	0,209

Tabela 9– Cálculo do Peso (Fator Gaussiano Normalizado) para 2021

Após efetuados os cálculos nas tabelas, passa-se à etapa seguinte que se resume em obter a Matriz Grupo de Utilidade. Os valores para as siderúrgicas nos anos 2019 a 2021 encontram-se apresentados nas Tabelas 10 a 12.

Tipo	MÁX	MÁX	MÁX	MÁX	MÍN	MÁX	MÁX	MÁX	MÍN	MÍN	MÍN
Alternativas	CE1	CE2	CE3	CE4	CS1	CS2	CS3	CS4	CA1	CA2	CA3
S1	0,04723	0,02638	0,09642	0,02664	0,00000	0,02200	0,02740	0,02457	0,03121	0,01458	0,16600
S2	0,00725	0,00194	0,09104	0,00447	0,29535	0,01741	0,00000	0,17852	0,00000	0,00000	0,00000
S3	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,02592	0,00000	0,03930	0,00000	0,06750	0,03598	0,05921

Tabela 10 – Matriz Grupo de Utilidade (2019)

Tipo	MÁX	MÁX	MÁX	MÁX	MÍN	MÁX	MÁX	MÁX	MÍN	MÍN	MÍN
Alternativas	CE1	CE2	CE3	CE4	CS1	CS2	CS3	CS4	CA1	CA2	CA3
S1	0,15306	0,14963	0,20200	0,14388	0,00000	0,00000	0,02493	0,11343	0,06829	0,01164	0,10605
S2	0,00937	0,01529	0,12936	0,00000	0,16096	0,06749	0,00000	0,21121	0,00000	0,00000	0,00000
S3	0,00000	0,00000	0,00000	0,00676	0,15149	0,11734	0,09514	0,00000	0,17081	0,12615	0,04500

Tabela 11 – Matriz Grupo de Utilidade (2020)

Tipo	MÁX	MÁX	MÁX	MÁX	MÍN	MÁX	MÁX	MÁX	MÍN	MÍN	MÍN
Alternativas	CE1	CE2	CE3	CE4	CS1	CS2	CS3	CS4	CA1	CA2	CA3
S1	0,17256	0,15392	0,18275	0,04558	0,00000	0,08291	0,05982	0,00000	0,08537	0,17708	0,09045
S2	0,12681	0,07316	0,13571	0,00000	0,15675	0,00000	0,00000	0,13775	0,00000	0,00000	0,00000
S3	0,00000	0,00000	0,00000	0,13489	0,13229	0,11501	0,07996	0,04555	0,17709	0,24677	0,02899

Tabela 12 – – Matriz Grupo de Utilidade (2021)

A etapa seguinte se traduz em calcular S, R e Q, sendo que para este, adotou-se o valor de  $v$  como 0,5 (padrão).

Siderúrgica	$S_i$	$R_i$	$Q_i$
S1	0,48244	0,16600	0,56191
S2	0,59598	0,29535	1,00000
S3	0,22790	0,06750	0,00000

Tabela 13 – S, R, Q (2019)

$$DQ = \frac{1}{(3-1)} = 0,5, \text{ sendo } J = 2$$

Verificação das condições:

- Condição 1:  $Q(A^2) - Q(A^1) \geq DQ = 0,56191 - 0 \geq 0,5$  (atendida);
- Condição 2: A alternativa  $A^1$  é a melhor em S e/ou R (atendida).

Siderúrgica	$S_i$	$R_i$	$Q_i$
S1	0,97292	0,20200	0,88605
S2	0,59368	0,21121	0,50000
S3	0,71268	0,17081	0,15689

Tabela 14 – S, R, Q (2020)

Verificação das condições:

- Condição 1:  $Q(A^2) - Q(A^1) \geq DQ = 0,50000 - 0,15689 \geq 0,5$  (não atendida);
- Condição 2: A alternativa  $A^1$  é a melhor em S e/ou R (atendida).

Como a Condição 1 não foi satisfeita, então um cluster de soluções de compromisso deverá ser proposto.

Calculando o conjunto de soluções:

- $Q(A^2) - Q(A^1) = 0,50000 - 0,15689 = 0,34311 < DQ$
- $Q(A^3) - Q(A^1) = 0,88605 - 0,15689 = 0,72916 > DQ$

Assim, considerando que a condição 2 não foi atendida, o conjunto de soluções de compromisso composto pelas alternativas 1 e 2 deverá ser adotado uma vez que os resultados apresentados pela segunda colocada não se distanciaram suficientemente para determinar que a alternativa 1 fosse a melhor solução.

SID	S <sub>i</sub>	R <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>
S1	1,05044	0,18275	0,64439
S2	0,63019	0,15675	0,00000
S3	0,96055	0,24677	0,89305

Tabela 15 – S, R, Q (2021)

Verificação das condições:

- Condição 1:  $Q(A^2) - Q(A^1) \geq DQ = 0,64439 - 0 \geq 0,5$  (atendida);
- Condição 2: A alternativa A<sup>1</sup> é a melhor em S e/ou R (atendida).

Por fim, ordenam-se as alternativas conforme Tabela 16.

Classificação	2019	2020	2021
1 <sup>a</sup>	S3	S3, S2	S2
2 <sup>a</sup>	S1	S1	S1
3 <sup>a</sup>	S2	-	S3

Tabela 16– Ordenamento das Siderúrgicas

Com os dados coletados das três siderúrgicas, observou-se que para os anos 2019 e 2021, as condições 1 e 2 foram atendidas. Com relação ao ano de 2020, uma vez que a condição 2 não foi satisfeita, de acordo com o método VIKOR, a classificação para primeiro lugar teve que abranger a siderúrgica 2 e a siderúrgica 3.

## CONCLUSÃO

O Brasil possui uma imensa capacidade de produção instalada e os valores oriundos da geração de divisas fazem com que este setor tenha mereça destaque quanto ao desenvolvimento do país.

A magnitude deste setor como gerador de empregos, geração de resíduos, desenvolvimento das regiões etc., impacta diretamente nos pilares da sustentabilidade. Diante do cenário atual, a atuação das siderúrgicas brasileiras deve estar imersa e abranger os três pilares da sustentabilidade. Somente olhar para o EBITDA, a Receita Líquida e Lucro Líquido não é suficiente. Os critérios como Número de Empregos Diretos, Consumo Total de Energia Elétrica etc. são necessários para situar quanto ao seu desempenho sustentável.

Assim, a quantificação de indicadores permite adotar um modelo multicritério para classificar o desempenho sustentável. Com esta ferramenta, o gestor poderá ter meios de melhor analisar e atuar em favor da construção de uma organização sustentável.

Considerando que o método VIKOR busca uma alternativa que seja uma boa escolha em termos de desempenho geral, este artigo teve por finalidade ordenar o desempenho sustentável das três maiores siderúrgicas brasileiras. Entretanto, como forma de evitar qualquer subjetividade na comparação par a par dos critérios por parte de especialistas, utilizou-se o método AHP Gaussiano para atribuição dos pesos.

Efetuada os cálculos, considerando os dados obtidos dos relatórios de sustentabilidade (GRIs), foi possível verificar que a siderúrgica de menor volume de produção de aço bruto (S3) passou do primeiro lugar em 2019 para o último lugar em 2021. A siderúrgica de maior volume de produção (S1) manteve, ao longo dos anos, a segunda posição em termos de desempenho sustentável. Por fim, a siderúrgica de menor produção (S2) passou de último lugar em 2019 para primeiro lugar em 2020 e 2021, sendo que no ano de 2020, a siderúrgica fez parte da solução de compromisso.

Considerando que o objetivo do presente artigo era o de classificar as três maiores siderúrgicas brasileiras quanto aos seus desempenhos sustentáveis e em decorrência da análise apresentada, entende-se que o estudo de caso alcançou o objetivo esperado. Como alternativa para futuros estudos, recomenda-se sejam analisados outros setores de grande importância para a economia brasileira.

## AGRADECIMENTO

O autor Carlos Alberto Soares Cunha gostaria de agradecer a CAPES (Processo n.º 88887.959528/2024-00) pelo apoio financeiro por meio do Programa de Demanda Social.

## REFERÊNCIAS

- CAIADO, R. G. G.; LIMA, G. B. A.; GAVIÃO, L. O.; QUELHAS, O. L. G.; PASCHOALINO, F. F. Sustainability Analysis in Electrical Energy Companies by Similarity Technique to Ideal Solution. **IEEE Latin America Transactions**, v. 15, n. 4, p. 675–681, abr. 2017. <https://doi.org/10.1109/TLA.2017.7896394>
- CAMPOS, L. M. D. S.; SEHNEM, S.; OLIVEIRA, M. D. A. S.; ROSSETTO, A. M.; COELHO, A. L. D. A. L.; DALFOVO, M. S. (2013). Relatório de sustentabilidade: perfil das organizações brasileiras e estrangeiras segundo o padrão da Global Reporting Initiative. **Gestão & Produção**, 20(4), 913-926. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X2013005000013>
- CUNHA, C. A. S. Critérios de sustentabilidade para contratações públicas federais de empresas prestadoras de serviços de vigilância e segurança patrimonial armada. **Rev. Bras. Gest. Amb. Sustent.** [online], v. 9, n. 22, p. 951-972, 2022. [https://doi.org/10.21438/rbgas\(2021\)082024](https://doi.org/10.21438/rbgas(2021)082024)
- DE SOUZA, M. M.; DE OLIVEIRA, A. L. R.; DE SOUZA, M. F. Location of agricultural warehouses based on spatial multicriteria analysis. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 62, n. 1, 2023. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2022.268622>

DOS SANTOS, M.; COSTA, I. P. DE A.; GOMES, C. F. S. Multicriteria Decision-Making In The Selection Of Warships: A New Approach To The Ahp Method. **International Journal of the Analytic Hierarchy Process**, v. 13, n. 1, p. 147–169, 2021. <https://doi.org/10.13033/ijahp.v13i1.833>

FALSARELLA, O. M.; JANNUZZI, C. S. C. Organizational and competitive intelligence and big data: A systemic vision for the organizations'sustainable management. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 25, n. 1, p. 179–204, 1 jan. 2020. <https://doi.org/10.1590/1981-5344/3497>

GIANICOLO, E. A. L. et al. Environmental assessment of interventions to restrain the impact of industrial pollution using a quasi-experimental design: limitations of the interventions and recommendations for public health policy. **BMC Public Health**, v. 21, n. 1, 1 dez. 2021. <https://doi.org/10.1186/s12889-021-11832-3>

GLOBAL REPORTING INITIATIVE - GRI. (2021). News Center of GRI, 2021. All eyes on a sustainable COVID recovery. Acessado em 23 de setembro de 2023. Disponível em: <https://www.globalreporting.org/news/news-center/all-eyes-on-a-sustainable-covid-recovery/>

GUEDES, É. C.; RIBEIRO, R. R.; JEUNON, E. E. Análise da utilização dos indicadores do Global Reporting Initiative (GRI) nos relatórios de sustentabilidade de empresas com atuação em Minas Gerais. **Revista Sinapse Múltipla**, v. 9, n. 2, p. 150–151, 2020. Acessado em 23 de setembro de 2023. Disponível em: <https://periodicos.pucminas.br/index.php/sinapsemultipla/article/view/25363/17697>

HEGAB, H. et al. Toward sustainable future: Strategies, indicators, and challenges for implementing sustainable production systems. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 36, 1 jul. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2023.e00617>

INSTITUTO AÇO BRASIL. (2023). *Brazil Steel Databook 2023*. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil. Acessado em 23 de setembro de 2023. Disponível em: [https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2023/07/AcoBrasil\\_Anuario\\_2023.pdf](https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2023/07/AcoBrasil_Anuario_2023.pdf)

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. (2023). *The Greenhouse Gas Emissions and Removals Estimation System (SEEG) Portal, 2023*. Acessado em 23 de setembro de 2023. Disponível em: [https://plataforma.seeg.eco.br/?\\_gl=1\\*1u92vj1\\*\\_ga\\*OTU4MTIzMTYxLjE3MTA4ODE5NTk.\\*\\_ga\\_XZWSWEJDWQ\\*MTcxMDg4MTk1OC4xLjEuMTcxMDg4MjM2OC4wLjAuMA](https://plataforma.seeg.eco.br/?_gl=1*1u92vj1*_ga*OTU4MTIzMTYxLjE3MTA4ODE5NTk.*_ga_XZWSWEJDWQ*MTcxMDg4MTk1OC4xLjEuMTcxMDg4MjM2OC4wLjAuMA)

OLIVEIRA, R. S. G.; FORAPANI, G.; PEREIRA, P. D. S. Responsabilidade Social Universitária: Analisando Organizações Educacionais no Contexto de Capitalismo Neoliberal a partir dos Relatórios de Sustentabilidade da Global Reporting Initiative. **XI Encontro de Estudos Organizacionais da ANPAD - EnEO 2022**, p. 1–11, 2022. Acessado em 23 de setembro de 2023. Disponível em: <https://anpad.com.br/uploads/articles/117/approved/d290dc6cabaffa37f5473eb33611607e.pdf>

OPRICOVIC, S. Multicriteria Optimization of Civil Engineering Systems. PhD Thesis, Faculty of Civil Engineering, Belgrade, 302 p, 1998.

OPRICOVIC, S. TZENG, G. Compromise solution by MCDM methods: a comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. **European Journal of Operational Research**, v. 16, p. 445-455, 2004. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00020-1)

PEREIRA, D. A. DE M.; ARAÚJO, A. C.; ARAÚJO, G. N.; SILVA, M. J. S; Selection of Agroindustry Real Estate Funds, based on the AHP-Gaussian, for an Investment Portfolio. **Procedia Computer Science**, v. 221, p. 718–725, 2023a. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.08.043>

PEREIRA, R. C. A.; CASTILHO, C. S.; MURADAS, F. M. Evaluation of Smart Sensors for Subway Electric Motor Escalators through AHP-Gaussian Method. **Sensors**, v. 23, n. 8, 1 abr. 2023b. <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/8/4131>

POLITIS, Y.; GRIGOROUDIS, E. Incorporating the Sustainability Concept in the Major Business Excellence Models. **Sustainability (Switzerland)**, v. 14, n. 13, 1 jul. 2022. <https://doi.org/10.3390/su14138175>

ROCHA PAZ, T. D. S.; SANTOS, M. DOS; FRANCISCO, C. Performance Sustentável das Empresas do Setor de Saúde: Análise a partir da Abordagem VFT e dos Métodos AHP-Gaussiano e WASPAS. XLII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Anais...Foz do Iguaçu: ENEGEPE, 4 out. 2022. Acessado em 23 de setembro de 2023. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Marcos-Santos-85/publication/364311487\\_Performance\\_sustentavel\\_das\\_empresas\\_do\\_setor\\_de\\_saude\\_analise\\_a\\_partir\\_da\\_abordagem\\_VFT\\_e\\_dos\\_metodos\\_AHP-GAUSSIANO\\_e\\_WASPAS/links/6345c201ff870c55ce1a2e1f/Performance-sustentavel-das-empresas-do-setor-de-saude-analise-a-partir-da-abordagem-VFT-e-dos-metodos-AHP-GAUSSIANO-e-WASPAS.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Marcos-Santos-85/publication/364311487_Performance_sustentavel_das_empresas_do_setor_de_saude_analise_a_partir_da_abordagem_VFT_e_dos_metodos_AHP-GAUSSIANO_e_WASPAS/links/6345c201ff870c55ce1a2e1f/Performance-sustentavel-das-empresas-do-setor-de-saude-analise-a-partir-da-abordagem-VFT-e-dos-metodos-AHP-GAUSSIANO-e-WASPAS.pdf)

SAATY, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process (AHP): Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. New York: McGraw-Hill International Book Co.

SANTOS, M., & Costa, I. P. (2021). Multicriteria decision-making in the selection of warships: a new approach to the ahp method. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 13(1), 147-169. <http://dx.doi.org/10.13033/ijahp.v13i1.833>

TZIMOPOULOS, C. D. Fuzzy Multi-criteria Decision Making Method for Fam Selection. Proceedings of the 13th International Conference on Environmental Science and Technology, CEST Athens, Greece, 2013.

VALLET-BELMUNT, T.; FUERTES-FUERTES, I.; FLOR, M. L. Reporting Sustainable Development Goal 12 in the Spanish food retail industry. An analysis based on Global Reporting Initiative performance indicators. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, v. 30, n. 2, p. 695–707, 1 mar. 2023. <https://doi.org/10.1002/csr.2382>

VIEIRA, I. L. Pontos positivos e negativos dos relatórios de sustentabilidade no modelo global reporting initiative: revisão da literatura nacional e internacional. **Revista Gestão Industrial**, v. 16, n. 2, p. 21–46, 23 out. 2020. <http://dx.doi.org/10.3895/gi.v16n2.10549>

WALTER, E.; SILVA, E. R. Set of sustainability indicators for the dairy industry. **Environ Sci Pollut Res**, v. 30, p. 52982–52996, abr. 2023. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26023-3>