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

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA AMBIENTAL: ESTUDO DE CASO DE UMA EMPRESA PETROQUÍMICA COM UTILIZAÇÃO DA FUNÇÃO DA DISTÂNCIA DIRECIONAL

PIRAN, Fabio Sartori [1]
SILVA, Katia Maete Rodrigues da [1]

[1] Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

RESUMO

Esse estudo tem como objetivo avaliar a eficiência ambiental de três plantas produtivas de uma empresa petroquímica em um período de cinco anos (2018 a 2022). A Função da Distância Direcional (DDF) é utilizada para calcular a eficiência ambiental, levando em consideração a geração de resultados desejáveis e indesejáveis, associados aos processos de produção. A eficiência mediana das três plantas produtivas é de 51,30%, 35,40% e 50,20%, respectivamente. Além disso, detectou-se que a tecnologia Slurry, que é usada na produção de polietileno, exerce impactos ambientais negativos. Esta pesquisa oferece insights valiosos para os gestores ao auxiliá-los na avaliação dos resultados das plantas, fornecendo uma base para tomadas de decisão de melhoria contínua e investimentos futuros.

PALAVRAS-CHAVE: Eco-eficiência. Eficiência Ambiental. Função da Distância Direcional.

Tópicos (APLICAÇÃO DE DEA EM ÁREAS EMERGENTES, ECO-EFICIÊNCIA E SUSTENTABILIDADE)

ABSTRACT

This study aims to evaluate the environmental efficiency of three production plants of a petrochemical company over a five-year period (2018 to 2022). The Directional Distance Function (DDF) is used to calculate environmental efficiency, considering the generation of desirable and undesirable results associated with production processes. The median efficiency of the three production plants is 51.30%, 35.40% and 50.20%, respectively. In addition, Slurry technology, which is used in the production of polyethylene, was found to have negative environmental impacts. This research offers valuable insights for managers by helping them to evaluate the results of the plants, providing a basis for decision-making on continuous improvement and future investments.

KEYWORDS: Eco-efficiency. Environmental Efficiency. Directional Distance Function.

Paper topics (APPLICATION OF DEA IN EMERGING AREAS, ECO-EFFICIENCY AND SUSTAINABILITY)

1. Introdução

A Análise Envoltória de Dados (DEA) é uma das técnicas utilizadas para avaliar a eficiência ambiental das indústrias de transformação. Por exemplo, a DEA foi aplicada em 78 empresas Petrolíferas Nacionais (NOCs) e das empresas petroleiras internacionais privadas, no período de 3 três anos, com objetivo de avaliar a ineficiência das NOCs em termos de receita (Eller; Hartley; Medlock, 2011). A literatura aponta, entre outros, estudos empíricos com objetivo principal de avaliar a eficiência ambiental das províncias italianas para o ano de 2004 (por exemplo, Coli; Nissi; Rapposelli, 2011). Para isso, a técnica DEA foi adaptada ao contexto do desempenho ambiental, considerando três grupos de variáveis, sendo: entradas, saídas e saídas indesejáveis. Além disso, foi proposta uma variante da programação linear para o estudo e incluiu-se a presença de danos ambientais na análise (Coli; Nissi; Rapposelli, 2011). Neste sentido, destaca-se que a utilização de saídas indesejadas (por exemplo, geração de poluentes) é um processo recorrente nas análises de eficiência ambiental. Entre outros, estudos sobre a eficiência na literatura utilizam a programação linear com incremento para incorporar danos ambientais. Alguns estudos fazem análises longitudinais com foco nas mudanças ambientas e econômicas e nas estratégias das empresas para situarem seus processos no contexto de negócios mundiais (Geels, 2022). Esses estudos, em geral, utilizam o modelo da Função da Distância Direcional (DDF) (Chambers; Chung; Färe, 1996).

Assim, esta pesquisa tem como objetivo avaliar a eficiência ambiental do processo produtivo de uma empresa petroquímica, utilizando o da Função da Distância Direcional. Além disso, busca-se identificar oportunidades de melhoria nos processos produtivos e promover propostas de práticas mais sustentáveis.

2. Procedimentos Metodológicos

O case-based research é usado como abordagem metodológica de pesquisa. Os estudos de caso são apropriados quando é necessária uma compreensão em profundidade em campos de pesquisa não completamente explorados (Dubé, Paré, 2003). Especificamente, optou-se por um estudo de caso longitudinal com abordagem quantitativa, adequados para casos únicos, pois tem o potencial de aumentar a validade interna dos resultados.

As DMUs são representadas pelas três plantas designadas como P1, P2, P3, durante o período mensal considerando os anos de 2018 a 2022. Todas as plantas produzem o produto polietileno. No entanto, a planta P1 utiliza a tecnologia de produção Spherilene, a P2 Slurry e a P3 Tubular. Desta forma, é possível avaliar o efeito (positivo ou negativo) da tecnologia de produção na eficiência ambiental.

Neste estudo, optou-se por utilizar o modelo DDF em rendimentos constantes de escala (CRS) com uma abordagem não orientada. Essa configuração CRS foi escolhida considerando a suposição de homogeneidade entre as Unidades de Tomada de Decisão, uma vez que todas fazem parte de uma mesma organização, e porque é adequada para benchmarking interno (Piran et al., 2021). A Tabela 1 apresenta as medianas e desvios padrão dos inputs e outputs.

Tabela 1 - Estatística descritiva das variáveis

	Dados	Descrição	Média	Desvio Padrão
INPUTS	Entrada	Consumo de água (m³)	218.459,64	422.588,34
	Entrada	Consumo de energia (GJ)	660.302,89	1.475.649,43
OUTPUTS	Saída indesejada	Geração de efluentes (m³)	57.138,93	108.686,99
	Saída indesejada	Geração de resíduos (Kg)	67.676,00	81.135,76
	Saída indesejada	Emissão de gases (tCO2e)	39.058,96	94.578,28
	Saída desejada	Produção (t)	60.412,5	96.315,73

Por meio da DDF identificou-se os escores de eficiência ao longo do tempo. Para avaliar se existe diferença entre as eficiências das plantas, foram realizadas análises estatísticas. Inicialmente foi realizado o teste de Shapiro-Wilk para avaliar a normalidade dos dados relacionado aos scores de eficiência de cada planta. Como os dados não cumpriram o pressuposto de normalidade foi utilizado o teste não paramétrico de Mann-Whitney para avaliar a diferença as medianas entre os scores de eficiência. O teste Mann-Whitney U é indicado para avaliar a diferenças entre as medianas de grupos de dados independentes (Wall Emerson, 2023).

3. Resultados e Conclusões

A Tabela 2 apresenta a média, mediana e desvio padrão da eficiência das plantas de polietileno no período.

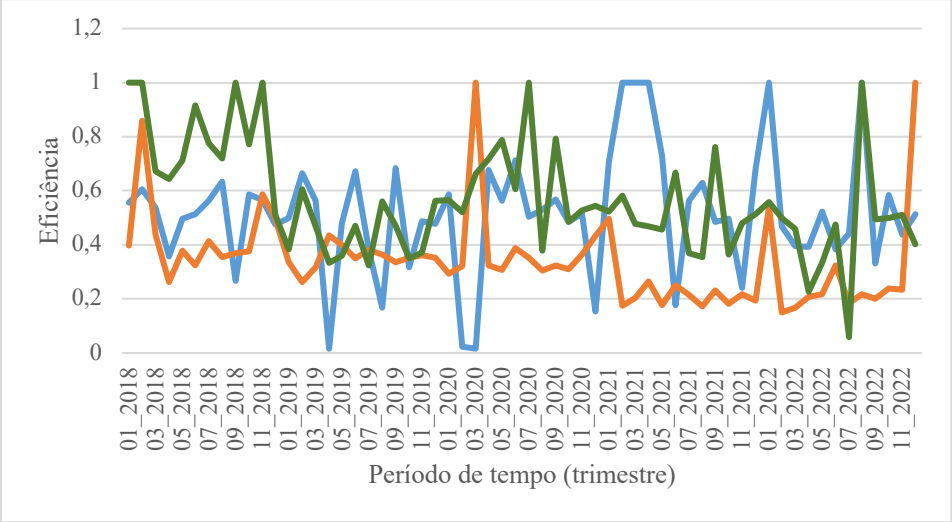
Tabela 2 - Eficiência das plantas de polietileno

Período	Média anual P1 Spherilene	Média anual P2 Slurry	Média anual P3 Tubular
2018	0,513	0,438	0,811
2019	0,451	0,354	0,439
2020	0,444	0,393	0,632
2021	0,642	0,232	0,502
2022	0,539	0,307	0,460
Média	0,518	0,345	0,569
Desvio padrão	0,080	0,079	0,155
Mediana	**0,513**	**0,354**	**0,502**

A planta P1 presenta uma média anual relativamente estável ao longo dos anos, com uma média de 0,518. A planta P2 mostra uma tendência de queda em suas eficiências ao longo dos anos, com uma média anual de 0,345, a mediana de 0,354 reforça que a eficiência da planta tem sido mais baixa ao longo do período analisado. Para a planta P3 o desvio padrão de 0.155 indica que houve variações consideráveis nas eficiências ao longo dos anos, sugerindo possíveis variações na operação ou no processo. A mediana de 0.502 indica que, apesar das flutuações, a eficiência da planta P3 tende a se concentrar em torno desse valor.

As plantas P1 e P2 que apresentam desvio padrão mais baixo podem indicar uma operação mais estável, ao contrário da P3 com desvio padrão de 0,155 que pode sugerir instabilidade no processo. O Gráfico 1 ilustra o comportamento da eficiência das plantas de polietileno no período de cinco anos, considerando cada trimestre (P1 – azul; P2 – laranja e P3 -verde).

Gráfico 1 - Eficiência das plantas de polietileno



A oscilação nos scores e os baixos índices de eficiência estão relacionados, em parte, ao aumento do consumo de água. É crucial enfatizar que a avaliação de eficiência por produto engloba uma visão integrada das três unidades de produção, levando em conta o consumo de água e energia, bem como a geração de efluentes e resíduos, além do volume de produção. Portanto, a eficiência observada não é estática, mas sim flutuante, refletindo a interação complexa e dinâmica entre esses fatores operacionais e de produção ao longo do tempo. A média das emissões de gases das plantas de polietileno P1-P2 e P3 é de 241,01t(CO2e) em comparação com as plantas de polipropileno que é de 584,31t(CO2e) no mesmo período.

Para investigar possíveis indícios dos efeitos da utilização de cada tecnologia na eficiência ambiental, foram formuladas hipóteses específicas, as quais foram posteriormente testadas utilizando o teste de Mann-Whitney. Após a identificação das diferenças das tecnologias de cada planta tornou-se essencial elaborar as hipóteses para contatar o impacto das tecnologias sobre o resultado da eficiência, são elas:

H0a: Não existem evidências da diferença entre as eficiências ambientais das plantas que utilizam tecnologia de produção Spherilene e Slurry.
H1a: Existem evidências da diferença entre as eficiências ambientais das plantas que utilizam tecnologia de produção Spherilene e Slurry.
H0b: Não existem evidências da diferença entre as eficiências ambientais das plantas que utilizam tecnologia de produção Spherilene e Tubular.
H1b: Existem evidências da diferença entre as eficiências ambientais das plantas que utilizam tecnologia de produção Spherilene e Tubular.
H0c: Não existem evidências da diferença entre as eficiências ambientais das plantas que utilizam tecnologia de produção Slurry e Tubular.
H1c: Existem evidências da diferença entre as eficiências ambientais das plantas que utilizam tecnologia de produção Slurry e Tubular.

Nas hipóteses H0 e H1 as terminações a, b e c referem-se respectivamente as tecnologias Spherilene, Slurry e Tubular. Nos resultados do teste, um valor de $p \leq 0,05$ indica diferença significativa entre as medianas, enquanto um valor de $p \geq 0,05$ indica que as medianas não diferem de maneira significativa (Wall Emerson, 2023). A Tabela 3 apresenta a matriz de resultados do teste Mann-Whitney e a tecnologia de produção de cada planta de polietileno, enquanto a Tabela 4 apresenta uma comparação das medianas e o resultado do teste de hipóteses.

Tabela 3 - Matriz dos resultados teste Mann-Whitney

	P2 – Spherilene	P3 – Slurry	P4 – Tubular
P2 – Spherilene			
P3 – Slurry	< 0,001		
P4 – Tubular	0,517	< 0,001	

Tabela 4 - Análise comparativa – resultado do teste de hipótese

Descrição	**Análise comparativa**		
Spherilene (P2)	0,513	0,513	
Slurry (P3)	0,354		0,354
Tubular (P4)		0,502	0,502
Diferença	0,159	0,011	0,148
MW (p-value)	<0,001	0,517	<0,001
Teste hipótese	Rejeita H0 – **Não rejeita H1**	**Não rejeita H0** – Rejeita H1	Rejeita H0 – **Não rejeita H1**

.

A diferença entre a planta Spherilene e tecnologia Tubular é de 1% o que pode ser considerado relativamente baixo. Neste contexto, a conclusão é que a hipótese nula (H0b) não pode ser rejeitada. Isso significa que não foram encontradas evidências que indiquem uma diferença significativa nas eficiências ambientais entre as plantas que adotam diferentes tecnologias Spherilene e Tubular.

A análise das tecnologias que empregam o processo Slurry, em comparação com a Spherilene e a Tubular, revela uma interferência negativa nos resultados obtidos. Essa observação sugere que a utilização da tecnologia Slurry desempenha um papel significativo no comportamento da eficiência ambiental, destacando a sua influência no contexto das comparações realizadas.

Referências

Chambers, R. G., Chung, Y., & Färe, R. (1996). Benefit and distance functions. *Journal of economic theory*, *70*(2), 407-419.

Coli, M., Nissi, E., & Rapposelli, A. (2011). Monitoring environmental efficiency: an application to Italian provinces. *Environmental Modelling & Software*, *26*(1), 38-43.

Dubé, L.; Paré, G. (2003). Rigor in information systems positivist case research: current practices, trends, and recommendations. *Mis Quarterly*, 27(4), 597-636.

Eller, S. L., Hartley, P. R., & Medlock, K. B. (2011). Empirical evidence on the operational efficiency of National Oil Companies. *Empirical Economics,* 40, 623-643.

Geels, F. W. (2022). Conflicts between economic and low-carbon reorientation processes: insights from a contextual analysis of evolving company strategies in the United Kingdom petrochemical industry (1970–2021). *Energy Research & Social Science*, *91*, 102729.

Piran, F. S., Lacerda, D. P., Camanho, A. S., & Silva, M. C. (2021). Internal benchmarking to assess the cost efficiency of a broiler production system combining data envelopment analysis and throughput accounting. *International Journal of Production Economics*, *238*, 108173.

Wall Emerson, R. (2023). Mann-Whitney U test and t-test. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, *117*(1), 99-100.