

Análise de eficiência em refinarias de petróleo brasileiras através da *Window Analysis*

Maiquiel Schmidt de Oliveira, Rafael Lopes Turino, Vilmar Steffen

Resumo: As refinarias de petróleo brasileiras desempenham um papel fundamental no processo de refino de petróleo e gás. A grande gestora dessas refinarias no Brasil é a Petrobras, empresa pública que é responsável por 13 dos complexos que levam o nome de refinaria. É importante realizar uma análise da eficiência dessas refinarias, principalmente para verificar seu comportamento ao longo do tempo. Nesse caso, considerou-se o período compreendido entre 2010 e 2017 e utilizou-se a *Window Analysis* em conjunto com o modelo BCC orientado para produto, ambos oriundos da técnica Análise Envoltória de Dados (DEA) para determinar os índices de eficiência. Com isso, nenhuma refinaria apresentou eficiência ao longo de todos os períodos e janelas analisados.

Palavras chave: Refinarias de petróleo brasileiras, *Window Analysis*, Análise Envoltória de Dados, Eficiência.

Efficiency analysis in Brazilian oil refineries through Window Analysis

Abstract: Brazilian oil refineries play a key role in the refining process of oil and gas. The major manager of these refineries in Brazil is Petrobras, a public company that is responsible for 13 of the refinery complexes. It is important to perform an analysis of the efficiency of these refineries, especially to verify their behavior over time. In this case, the period from 2010 to 2017 was considered and Window Analysis was used in conjunction with the product-oriented BCC model, both derived from the Data Envelopment Analysis (DEA) technique to determine the efficiency indexes. As a result, no refinery showed efficiency over all periods and windows analyzed.

Key-words: Brazilian Oil Refineries, Window Analysis, Data Envelopment Analysis, Efficiency.

1. Introdução

Segundo o Anuário Estatístico da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) de 2018, em 2017 a reserva provada de petróleo no mundo atingiu a marca de 1,7 trilhão de barris, mantendo-se aproximadamente no mesmo patamar do ano anterior. O Brasil, por sua vez, possui uma reserva provada de 12,8 bilhões de barris no ano citado, um aumento de 1,27% em relação ao ano anterior.

O volume de petróleo produzido no mundo em 2017 aumentou 0,7% em relação ao ano anterior, o que representa um total de 92,6 milhões de barris/dia. O Brasil, em 2017, apresentou uma produção de 2,734 milhões de barris/dia, um aumento de 4,84% em relação a 2016 (ANP, 2018).

O Brasil é o maior produtor de petróleo da América do Sul, ficando em segundo lugar quando se trata de reservas comprovadas, somente atrás da Venezuela. O refino de petróleo no Brasil é realizado, em sua maioria, por refinarias de petróleo, sendo a Petrobrás, a principal

empresa brasileira nesse ramo. Segundo a ANP (2018), existem 17 refinarias de petróleo no Brasil, sendo 13 pertencentes à Petrobras, o que corresponde a 98,2% da capacidade total de refino do país.

A realização de uma análise para indicar a eficiência dessas refinarias tem papel importante, pois irá possibilitar que a gestão tenha conhecimento de quais estão operando abaixo da produtividade esperada.

Uma das técnicas mais utilizadas pela literatura para realizar o cálculo de análise de eficiência de unidades produtivas é a Análise Envoltória de Dados (DEA). A DEA é uma técnica de programação linear, não-paramétrica, que dispõe de diversos modelos para a realização desses cálculos e comparação das unidades produtivas no que se refere a sua eficiência.

Alguns estudos já foram realizados visando analisar a eficiência de refinarias de petróleo com a DEA (Turino et al. (2018); Vasconcellos, Canen e Lins (2006); Francisco, Almeida e Silva (2012)), porém nenhum realizou uma análise de eficiência utilizando o modelo de Análise de Janelas.

Com isso, este estudo visa realizar uma análise da eficiência de 12 refinarias de petróleo brasileiras para o período de 2010 a 2018, através da Análise Envoltória de Dados (DEA). Para isso, aplicou-se a Análise de Janelas (*Window Analysis*) aliada ao modelo BCC orientado para produto. Os insumos considerados foram “Número de acessos” e “Capacidade anual de produção” e o produto “Produção”.

2. Análise Envoltória de Dados

A técnica denominada Análise Envoltória de Dados (DEA) ou Teoria da Fronteira é muito utilizada para o cálculo de eficiência de unidades produtivas, DMU (*Decision Making Units*). É uma técnica de programação linear, não-paramétrica, que permite avaliar a eficiência técnica sob a ótica de diferentes modelos.

Segundo Ferreira e Gomes (2009), a técnica não utiliza inferências estatísticas nem se apega a medidas de tendência central, testes de coeficientes ou formalizações de análises de regressão.

Existem dois modelos clássicos na Análise Envoltória de Dados: com retornos constantes à escala, CCR (Charnes, Cooper e Rhodes), de 1978, e com retornos variáveis à escala, BCC (Banker, Charnes e Cooper), de 1984.

Segundo Banker, Charnes e Cooper *apud* Périco, Santana e Rebelatto (2017), o modelo BCC orientado para produto é descrito pela equação 1:

$$\text{maximizar } \sum_{i=1}^n v_i x_{ki} + v_k \quad (1)$$

sujeito a:

$$\begin{aligned} \sum_{r=1}^m u_r y_{rk} &= 1 \\ \sum_{r=1}^m u_r y_{jr} - \sum_{i=1}^n v_i x_{jr} - v_k &\geq 0 \\ u_r, v_i &\geq 0 \end{aligned}$$

onde:

y = produtos; x = insumos/ u, v = pesos/ $r=1, \dots, m; i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n$.

Nesses modelos a eficiência ao longo do tempo é ignorada, sendo que as DMUs são comparadas umas com as outras durante um momento desse período. O papel da *Window Analysis* nesse contexto é fornecer a possibilidade de que DMUs sejam analisadas quanto à sua eficiência durante um período de tempo.

Segundo Ferreira e Gomes citam, Charnes et al. (1985) foram os pioneiros na técnica *Window Analysis*, visando analisar as variações na eficiência técnica relativa, que considera cada DMU ao longo do tempo, como se fosse uma unidade distinta. Essa técnica permite analisar eficiência de estabilidade e sensibilidade dos escores de eficiência técnica e a tendência da eficiência da DMU.

Lovell (1996) ressalta que a abordagem da Análise de Janelas não fornece nenhuma evidência sobre a natureza do progresso tecnológico (deslocamento da fronteira) e mostra pouca informação sobre as mudanças na produtividade. Porém, essa análise auxilia na avaliação temporal de cada unidade, podendo-se supor ou verificar, caso existam, possíveis causas de variações nos escores de eficiência.

Segundo Ferreira e Gomes (2009) existem algumas fórmulas que permitem calcular valores de referência importantes para a Análise de Janelas. O cálculo do número de janelas é realizado pela Equação 2:

$$n = p - w + 1 \quad (2)$$

Onde:

n = número de janelas

p = número de períodos

w = tamanho da janela

O número de DMUs em cada janela é dado pela Equação 3:

$$\text{Número de DMUs em cada janela} = \frac{k \cdot w}{2} \quad (3)$$

O número de DMUs virtuais é descrito pela Equação 4:

$$\text{Número de DMUs virtuais} = k \cdot w \cdot n \quad (4)$$

O tamanho das janelas utilizadas em uma análise é calculado pela Equação 5:

$$w = \frac{p+1}{2} \quad (5)$$

Charnes et al. (1985) utilizaram tamanho de janelas igual a 3 no seu trabalho pioneiro da *Window Analysis*. Com isso, para o caso das refinarias brasileiras, será utilizado o mesmo

tamanho de janelas citado.

2.1 Aplicação da análise de eficiência em refinarias de petróleo

Turino et al. (2018) realizaram uma análise de eficiência de 13 das principais refinarias de petróleo brasileiras para o ano de 2016, utilizando o modelo BCC orientado para produto. O índice de eficiência era descrito por dois insumos, “Número de acessos” e “Capacidade anual de produção”, e um produto, “Produção”. Nessa análise, 4 refinarias se mostraram eficientes, servindo de referência para as demais.

Vasconcellos, Canen e Lins (2006) realizaram criaram um modelo para utilizar como indicador dos *Berchmarking* para 10 refinarias de petróleo de uma empresa multinacional desse segmento. Para isso, utilizou um insumo, “Capacidade Ociosa”, e três produtos, “Percentual de derivados leves”, “Receita/m³ de óleo processado” e “Produção de Gasolina A/ 100 m³”. O modelo escolhido para essa análise foi o com retorno de escala variáveis. Duas refinarias foram consideradas mais eficientes.

Francisco, Almeida e Silva (2012) criaram um índice para analisar a eficiência ambiental de dez refinarias brasileiras utilizando os modelos CCR e BCC. Os insumos utilizados foram a “Porcentagem de ociosidade da planta em operação” e “Quantidade de água consumida” e os produtos “Volume de produção da refinaria” e “Efluentes gerados, desejáveis e indesejáveis”.

3. Resultados

Esse estudo foi realizado com base no estudo de Turino et al. (2018). Para a análise, também foram consideradas 13 refinarias de petróleo brasileiras: Refinaria de Paulínia (Replan – SP), Refinaria Landulpho Alves (Rlam – BA), Refinaria Henrique Lage (Revap – SP), Refinaria Duque de Caxias (Reduc – RJ), Refinaria Presidente Getúlio Vargas (Repar – PR), Refinaria Alberto Pasqualini S.A. (Refap – RS), Refinaria Presidente Bernardes (RPBC – SP), Refinaria Gabriel Passos (Regap – MG), Refinaria de Capuava (Recap – SP), Refinaria Isaac Sabbá (Reman – AM), Lubrificantes e Derivados de Petróleo do Nordeste (Lubnor – CE) e Refinaria de Petróleo Riograndense S.A. (Riograndense – RS). A refinaria Rio Grandense S.A. é a única que não pertence ao grupo de refinarias da Petrobras. Em comparação com o estudo citado, a Refinaria Abreu e Lima (Rnest – PE) não foi considerada, pois a mesma só apresenta dados a partir do ano de 2014.

Turino et al. (2018) utilizaram como insumos “Número de acessos” e “Capacidade anual de produção” e como produto “Produção”. Baseado nisso, o índice de eficiência foi descrito pela Equação 1:

$$\text{Índice de eficiência} = \frac{\text{Produção}}{\text{Número de acessos} + \text{Capacidade anual de produção}} \quad (1)$$

Com esse índice, foi aplicado o modelo *Window Analysis* em conjunto com o modelo BCC orientado para produto para o período compreendido entre 2010 e 2018. O *software* utilizado para realizar os cálculos foi o DEA-Solver LV 3.0. Os resultados dessa análise são apresentados na Tabela 1:

Refinaria	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Média	Média (janelas)
Replan (SP)	0,82	0,96	1,00							0,93	
		0,89	0,93	1,00						0,94	
			0,93	1,00	0,97					0,97	
				1,00	0,97	0,93				0,97	
					1,00	0,95	0,81			0,92	
						1,00	0,85	0,83		0,89	
							1,00	0,97	0,86	0,94	0,94
Rlam (BA)	0,97	0,89	0,88							0,91	
		0,86	0,85	0,97						0,89	
			0,83	0,93	1,00					0,92	
				0,93	1,00	0,87				0,93	
					1,00	0,87	0,77			0,88	
						0,92	0,83	0,77		0,84	
							0,94	0,88	0,88	0,90	0,90
Revap (SP)	1,00	0,99	1,00							1,00	
		0,99	1,00	0,95						0,98	
			0,95	0,90	1,00					0,95	
				0,90	1,00	0,95				0,95	
					1,00	0,95	0,85			0,93	
						1,00	0,89	0,86		0,92	
							1,00	0,96	0,98	0,98	0,96
Reduc (RJ)	0,95	0,93	0,97							0,95	
		0,87	0,91	0,98						0,92	
			0,91	0,97	0,95					0,94	
				0,97	0,95	0,77				0,90	
					0,96	0,78	0,76			0,83	
						0,82	0,80	0,73		0,78	
							0,89	0,82	0,88	0,87	0,88
Repar (PR)	0,80	0,91	0,99							0,90	
		0,86	0,93	0,91						0,90	
			0,92	0,90	0,95					0,93	
				0,90	0,95	0,89				0,92	
					0,95	0,90	0,77			0,87	
						0,96	0,82	0,78		0,85	
							0,90	0,86	0,92	0,90	0,89
Refap (RS)	0,82	0,77	0,80							0,80	
		0,74	0,77	0,98						0,83	
			0,76	0,96	0,93					0,88	
				0,96	0,93	0,78				0,89	
					0,93	0,78	0,67			0,79	
						0,82	0,71	0,65		0,73	
							0,79	0,72	0,71	0,74	0,81
RPBC (SP)	0,97	0,92	0,95							0,95	

		0,86	0,89	1,00								0,92	
			0,88	0,99	1,00							0,96	
				0,99	1,00	0,89						0,96	
					1,00	0,89	0,80					0,90	
						0,96	0,86	0,88				0,90	
							0,93	0,95	0,94			0,94	0,93
Regap (MG)	1,00	0,91	1,00									0,97	
		0,89	0,98	1,00								0,96	
			0,98	1,00	1,00							0,99	
				1,00	1,00	0,96						0,99	
					1,00	0,96	0,95					0,97	
						1,00	0,98	0,93				0,97	
							1,00	0,94	0,96			0,97	0,97
Recap (SP)	0,69	0,81	1,00									0,83	
		0,78	0,96	0,97								0,90	
			0,95	0,95	0,97							0,96	
				0,95	0,97	0,61						0,85	
					0,97	0,61	0,82					0,80	
						0,67	0,89	0,83				0,80	
							0,96	0,89	0,88			0,91	0,86
Reman (AM)	0,94	0,96	0,81									0,90	
		0,94	0,79	0,85								0,86	
			0,78	0,84	0,90							0,84	
				0,84	0,90	0,76						0,83	
					0,92	0,79	0,69					0,80	
						0,84	0,74	0,69				0,75	
							0,75	0,70	0,71			0,72	0,82
Riograndense (RS)	0,84	0,90	0,96									0,90	
		0,86	0,91	0,89								0,89	
			0,88	0,87	0,74							0,83	
				0,87	0,74	0,54						0,71	
					0,74	0,54	0,77					0,68	
						0,62	0,88	0,92				0,81	
							0,93	0,97	0,96			0,95	0,82
Lubnor (CE)	1,00	0,88	0,99									0,96	
		0,83	0,93	1,00								0,92	
			0,88	0,94	1,00							0,94	
				0,94	1,00	0,83						0,92	
					1,00	0,84	0,81					0,88	
						1,00	0,96	0,82				0,93	
							1,00	0,85	0,90			0,92	
Média (anos)	0,90	0,88	0,91	0,94	0,95	0,84	0,85	0,84	0,88				

Fonte: Os autores (2019)

Tabela 1 – Análise de janelas aplicada às refinarias de petróleo brasileiras

Através de uma análise geral, pode-se verificar que nenhuma das refinarias apresentou eficiência em todos os períodos e janelas analisados. O índice de eficiência média nas janelas, porém se mostrou bom, sendo o menor de 0,81 (da refinaria Refap (RS)). A maior eficiência encontrada na análise foi da refinaria Regap (MG), com 0,97.

Nesse sentido, pode ser realizada uma análise em torno da média por anos. O ano que apresentou melhor eficiência média foi o de 2014, com índice de 0,95. A menor eficiência média no período analisado foi no ano de 2018, com 0,88.

A Tabela 2 indica a eficiência média, por ano, em cada uma das refinarias brasileiras analisadas:

Refinaria	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Replan (SP)	0,82	0,92	0,95	1,00	0,98	0,96	0,89	0,90	0,86
Rlam (BA)	0,97	0,87	0,85	0,94	1,00	0,89	0,85	0,83	0,88
Revap (SP)	1,00	0,99	0,98	0,91	1,00	0,97	0,91	0,91	0,98
Reduc (RJ)	0,95	0,90	0,93	0,97	0,95	0,79	0,82	0,78	0,88
Repar (PR)	0,80	0,88	0,95	0,91	0,95	0,92	0,83	0,82	0,92
Refap (RS)	0,82	0,75	0,78	0,97	0,93	0,79	0,72	0,69	0,71
RPBC (SP)	0,97	0,89	0,91	0,99	1,00	0,91	0,87	0,91	0,94
Regap (MG)	1,00	0,90	0,99	1,00	1,00	0,97	0,98	0,93	0,96
Recap (SP)	0,69	0,79	0,97	0,96	0,97	0,63	0,89	0,86	0,88
Reman (AM)	0,94	0,95	0,79	0,85	0,90	0,79	0,73	0,69	0,71
Riograndense (RS)	0,84	0,88	0,92	0,87	0,74	0,57	0,86	0,95	0,96
Lubnor (CE)	1,00	0,85	0,93	0,96	1,00	0,89	0,92	0,84	0,90

Fonte: Os autores (2019)

Tabela 2 – Eficiência média, por ano, das refinarias de petróleo brasileiras

É possível verificar que nenhuma das refinarias apresenta eficiência em todos os anos analisados. Se destacaram a refinaria Regap (MG), eficiente nos anos de 2010, 2013 e 2014, e as refinarias Revap (SP) e Lubnor (CE), eficientes nos anos de 2010 e 2014. Outras duas refinarias foram eficientes em somente um período: RPBC (SP) e Rlam (BA), em 2014, e Replan (SP), em 2013.

As demais refinarias não foram eficientes em nenhum momento ao longo do período. Pode-se perceber que não existe uma tendência de crescimento ou decréscimo, pois houve muita oscilação nos resultados da eficiência média.

A refinaria Riograndense (RS) iniciou uma queda na sua eficiência a partir do ano de 2013, atingindo seu pico de decréscimo no ano de 2015. Houve um período de crescimento nos anos seguintes, sendo que em 2018 obteve seu melhor índice de eficiência.

Nos anos de 2011 e 2012 e no período entre 2015 e 2018 nenhuma refinaria foi considerada eficiente. Na Tabela 3 são descritas as eficiências médias por janela:

Refinaria	2010-2012	2011-2013	2012-2014	2013-2015	2014-2016	2015-2017	2016-2018
Replan (SP)	0,93	0,94	0,97	0,97	0,92	0,89	0,94
Rlam (BA)	0,91	0,89	0,92	0,93	0,88	0,84	0,90
Revap (SP)	1,00	0,98	0,95	0,95	0,93	0,92	0,98
Reduc (RJ)	0,95	0,92	0,94	0,90	0,83	0,78	0,87
Repar (PR)	0,90	0,90	0,93	0,92	0,87	0,85	0,90

Refap (RS)	0,80	0,83	0,88	0,89	0,79	0,73	0,74
RPBC (SP)	0,95	0,92	0,96	0,96	0,90	0,90	0,94
Regap (MG)	0,97	0,96	0,99	0,99	0,97	0,97	0,97
Recap (SP)	0,83	0,90	0,96	0,85	0,80	0,80	0,91
Reman (AM)	0,90	0,86	0,84	0,83	0,80	0,75	0,72
Riograndense (RS)	0,90	0,89	0,83	0,71	0,68	0,81	0,95
Lubnor (CE)	0,96	0,92	0,94	0,92	0,88	0,93	0,92

Fonte: Os autores (2019)

Tabela 3 – Eficiência média, por janela, das refinarias de petróleo brasileiras

Na janela 2010-2012 somente a refinaria Refap (SP) apresentou eficiência em suas operações. Nas demais janelas nenhuma refinaria foi considerada eficiente.

A refinaria Riograndense (RS) teve um baixo rendimento na janela 2014-2016, apresentando uma alta no rendimento nas janelas seguintes, com aumento de 16,05% na sua eficiência para a janela 2015-2017 e de 25,27% em 2016-2018.

A refinaria Refap (RS) teve uma alta significativa na eficiência entre as janelas 2010-2012 e 2013-2015, havendo um decréscimo nas janelas seguintes, com uma pequena melhora em 2016-2018.

4. Considerações finais

As refinarias de petróleo brasileiras desempenham um papel importante no contexto desse produto, visto que o Brasil representa o país com maior refino de petróleo na América do Sul com, aproximadamente, 2,734 milhões de barris/dia. Segundo a ANP (2018), no Brasil existem 17 refinarias de petróleo atualmente, sendo que 13 pertencem à Petrobras e 4 são geridas pela iniciativa privada.

A aplicação de uma Análise de Janelas em unidades produtivas proporciona a possibilidade de se verificar o comportamento que essas desempenham ao longo do tempo. Além disso, Cullinane et al. (2004) afirmam que comparar DMUs em um período único pode gerar resultados tendenciosos, que podem ser refletidos em uma análise mais real da eficiência aplicando uma análise ao longo de um período de tempo.

Ao ser realizada uma Análise de Eficiência de Janelas nas refinarias de petróleo brasileiras e nenhuma apresentar eficiência ao longo de todo o período, pode ser preocupante para os gestores, tendo em vista que as mesmas não estão alcançando o máximo de produção possível com os insumos utilizados.

Tendo em vista que a análise realizada não leva em consideração o avanço tecnológico, como citado por Lovell (1996), pode-se aplicar, ainda, um método que considere o progresso tecnológico das refinarias, como o Índice de Malmquist.

Referências

AZAMBUJA, M. V. de; OLIVEIRA, M. S.; LIMA, M. P. de L. Análise de desempenho operacional em terminais de contêineres brasileiros. **The Journal of Transport Literature**, São José dos Campos/SP, Vol 9, N. 4, 2015, pg. 25-29.

AL-ERAQI, A. S. et al. Efficiency of Middle Eastern and East African Seaports: Application of DEA Using Window Analysis. **European Journal of Scientific Research**, Vol. 23, N. 4, pg. 597-612.

ALMEIDA, M. R.; MARIANO, E. B.; REBELATTO, D. A. N. Análise de eficiência dos aeroportos internacionais brasileiros. **Revista Produção Online**, 2007, edição especial, p. 1-17.

ANP. Agência Nacional Do Petróleo, Gás Natural E Biocombustíveis. Disponível Site: <<http://www.anp.gov.br/>>. Acessado em: 10 de outubro de 2019.

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for the estimation of technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**, Volume 30, número 9, 1984, pg. 1078-1092.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. North-Holland Publishing Company: **European Journal of Operational Research**, 1978, pg. 429 – 444.

CHARNES, A. et al. Developmental study of data envelopment analysis in measuring the efficiency of maintenance units in the US Air Forces. **Annals of Operations Research**, Vol. 2, 1985, pg. 95-112.

CULLINANE, K. et al. An Application of DEA Windows Analysis to Container Port Production Efficiency. **Review of NetWork Economics**, Vol. 3, N. 2, 2004.

FARRELL, James M. (1957) The Measurement of Technical Efficiency, **Journal of the Royal Statistics Society, SERIES A (GENERAL), PART III**, 253-290.

FERREIRA, C. M. de C.; GOMES, A. P. Introdução à análise envoltória de dados. Viçosa: Ed.UFV, 2009.

FRANCISCO, C.A.C.; ALMEIDA, M.R. de; SILVA, D.R. da. Efficiency in Brazilian Refineries Under Different DEA Technologies. **International Journal of Engineering Business Management**, Volume 4, número 1, 2012.

LOVELL, K. Applying Efficiency Measurement Techniques to the Measurement of Productivity Change. **Journal of Productivity Analysis**, Vol. 7, N. 1, 1996, pg. 329-340.

MELLO, J. C. S. e GOMES, E. G. Eficiências aeroportuárias: uma abordagem comparativa com Análise de Envoltória de Dados. **Revista de Economia e Administração**, v. 3, n. 1, p. 15-23, 2004.

VASCONCELLOS, V. A.; CANEN, A. G.; LINS, M. P. E. Identificando as melhores práticas operacionais através da associação Benchmarking-Dea: o caso das refinarias de petróleo. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, volume 26, número 1, 2006, pg. 51-67.