

## **Evolução da Análise Envoltória de Dados (DEA - *Data Envelopment Analysis*) na Indústria do Petróleo**

Paulo Ricardo Cosme Bezerra (PPGCEP-UFRN), paulorcbezerra@gmail.com

Mariana Rodrigues de Almeida (PEP-UFRN), almeidamariana@yahoo.com

Marcela Marques Vieira (PPGCEP-UFRN), marcela@geologia.ufrn.br

### **Resumo**

Este artigo busca contribuir com o estado da arte referente a ferramenta *Data Envelopment Analysis* (DEA) e sua aplicação na engenharia do petróleo, que tem a finalidade de avaliar a eficiência relativa de unidades produtivas, sendo uma metodologia eficiente que auxilia no planejamento e tomada de decisão. Esta pesquisa quantifica o número de publicações ao longo dos períodos e busca identificar as áreas de desenvolvimento de pesquisas utilizando a DEA na engenharia do petróleo e. Um dos objetivos é evidenciar a eficiência ou ineficiência verificadas a partir do confronto das variáveis (*inputs/outputs*). A metodologia DEA teve início nos trabalhos desenvolvidos por Charnes, Cooper e Rhodes, em 1978, que teve como base o trabalho de Farrel (1957). A evolução da modelagem DEA, tanto em seus aspectos teóricos quanto em suas aplicações podem ser comprovadas pela grande quantidade de artigos publicados. Porém, na engenharia do petróleo, a pesquisa acadêmica merece ser mais disseminada.

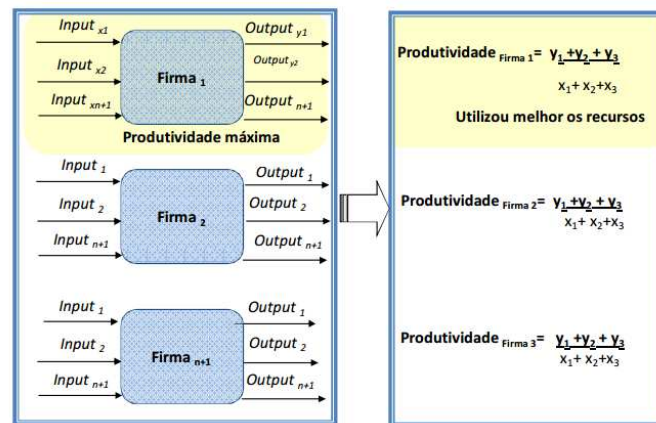
**Palavras-chaves:** análise envoltória de dados, estado da arte, indústria do petróleo

### **1. Análise Envoltória de Dados**

A *Data Envelopment Analysis* (DEA) é uma técnica de programação matemática que analisa o desempenho, em termos de eficiência relativa, de diferentes unidades tomadoras de decisão (DMUs – *Decision Making Units*), a partir de um conjunto de *inputs* e *outputs*. As DMUs localizadas na fronteira de eficiência servirão de *benchmark* para as demais. As origens do DEA são reveladas pelos autores Forsound e Sarafoglou (2002) e foi desenvolvida inicialmente por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), com base nos princípios derivados do modelo de Farrell (1957).

A eficiência de uma unidade produtiva é medida através da comparação entre os valores observados e os valores ótimos de suas saídas (*output*) e entradas (*input*). Essa comparação pode ser feita, em linhas gerais, pela razão entre a quantidade mínima necessária de recursos e a quantidade de produtos gerados.

Figura 1 - Esquema de mensuração da eficiência



Os principais objetivos da DEA, conforme Gomes, Soares e Estellita (2004) são:

- Comparar um determinado número de DMUS que realizam tarefas similares e se diferenciam nas quantidades de *inputs* que consomem e de *outputs* que produzem;
- Identificar as DMUS eficientes, medir e localizar a ineficiência e estimar uma função de produção linear por partes (*piece-wise linear frontier*), que fornece o *benchmark* (referência) para as DMUS ineficientes;
- Determinar a eficiência relativa das DMUS, contemplando cada uma, relativamente a todas as outras que compõem o grupo a ser estudado. Assim, sob determinadas condições, DEA pode ser usado na problemática da ordenação como ferramenta multicritério de apoio à decisão;
- Subsidiar estratégias de produção que maximizem a eficiência das DMUS avaliadas, corrigindo as ineficientes através da determinação de alvos; Estabelecer taxas de substituição entre as entradas, entre as saídas e entre entradas e saídas, permitindo a tomada de decisões gerenciais;
- Considerar a possibilidade de os *outliers* não representarem apenas desvios em relação ao comportamento “médio”, mas possíveis benchmarks a serem analisados pelas demais DMUS. Os *outliers* podem representar as melhores práticas dentro do universo investigado.

## 2. Objetivos

Identificar o estado da arte referente a metodologia DEA (*Data Envelopment Analysis*) e suas aplicações na indústria do petróleo.

### 2.1 Objetivos específicos

- Quantificar o número de publicações ao longo dos períodos;
- Identificar as áreas de desenvolvimento de pesquisas utilizando DEA;
- Rastrear os países com maior número de publicações;
- Realizar uma análise comparativa sobre a aplicação e métodos de DEA ao longo dos períodos.

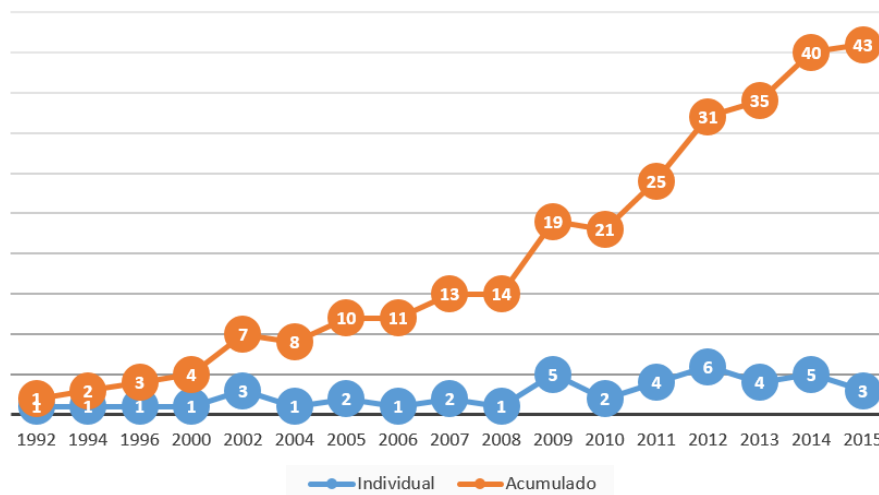
## 3. Metodologia da pesquisa

Nesta pesquisa a população alvo é constituída pelas publicações referentes ao tema “DEA na indústria do Petróleo” obtidas no site SCOPUS ([www.scopus.com](http://www.scopus.com)) em dezembro de 2015, utilizando as seguintes palavras-chaves: *efficiency, productivity, DEA + Oil, Data Envelopment Analysis + Petroleum*.

## 4. Resultados

Ao demarcar a linha temporal de pesquisas referente ao tema DEA na indústria do petróleo os estudos e pesquisas desenvolvidos inicia-se na década de 1990 até a atualidade, totalizando quarenta e três publicações, conforme Figura 2.

Figura 2 - Número de artigos com aplicações da DEA na indústria do petróleo



A Figura 2 destaca os marcos críticos da DEA em sua ordem cronológica, destacando seu primeiro estudo em 1992, por Thompson, Lee e Thrall nos Estados Unidos. No ano 2000 a DEA é aplicada em conjunto com outras metodologias, aplicando processos estocásticos.

Em 2002 dois acontecimentos marcam a evolução da ferramenta com a aplicação dos modelos de supereficiência por Rocha e Netto (2002) para classificar pedidos de fornecedores da Petrobrás e a primeira pesquisa na linha de meio ambiente na indústria do petróleo (BEVILACQUA e BRAGLIA, 2002).

Kashani (2005) fez uso do índice de Malmquist para testar em que medida a intervenção do estado cria ineficiências na plataforma continental da Noruega e mostrar que as ineficiências podem influenciar os contratos. Os modelos dinâmicos são aplicados no estudo desenvolvido por Zhang *et al.* (2009) e por fim Song, Zhang e Wang (2015) utilizaram *Network DEA* para identificar as mudanças na produção e eficiência ambiental entre vinte empresas petrolíferas na China.

Figura 3 - Marcos críticos das aplicações da DEA na indústria do petróleo



Nos trabalhos realizados na década de 1990, surgiram as pesquisas desenvolvidas por Thompson, Lee e Thrall, de origem Americana aplicando a DEA na indústria do petróleo na área de economia utilizando os modelos CCR e BCC. Em 1992, analisou-se a viabilidade econômica de quarenta e cinco empresas de petróleo e gás nos Estados Unidos, obtendo como resultado uma menor eficiência técnica, sugerindo que o desenvolvimento da política energética nos Estados Unidos estimulou a dependência do petróleo estrangeiro.

Em 1994 e 1996, os mesmos autores avaliaram a rentabilidade e a eficiência de quatorze empresas petrolíferas e, como resultado, foi observado um nível de 21% de ineficiência média

ao longo do período, sugerindo como melhoria que as empresas diminuíssem seus custos e obtivessem um aumento mínimo de 21% dos lucros totais de conservação dos recursos.

No ano 2000, a preocupação foi com a gestão empresarial, nesse sentido, Sueyoshi (2000) aplicou DEA no planejamento estratégico, objetivando a reestruturação de uma empresa petrolífera japonesa. No Brasil, Rocha e Netto (2002) desenvolveram um modelo para classificação de pedidos de fornecedores da Petrobrás e a premiação desses fornecedores. Bevilacqua e Braglia (2002) desenvolveram um modelo para avaliar a eficiência ambiental de sete refinarias de petróleo na Itália durante o período de 4 anos contribuindo para o alcance das metas ambientais.

Easton, Murphy e Pearson (2002), nos Estados Unidos, aplicaram DEA como uma ferramenta útil para a tomada de decisão, agregando a metodologia *Supply Chain Management* para melhorar a eficiência na cadeia de suprimentos do petróleo e gás. Outro estudo envolvendo a análise da eficiência da cadeia de abastecimento foi realizado por Ross e Droge (2004).

No Reino Unido, dois artigos apresentaram maturidade no uso da DEA, utilizando o índice de *Malmquist* em conjunto com a análise de regressão e a análise de fronteira estocástica nos trabalhos desenvolvidos por Kashini (2005a) e Kashini (2005b). Os objetivos desses trabalhos foram testar em que medida a intervenção do estado cria ineficiências na plataforma continental da Noruega e entender que as ineficiências geradas pelos órgãos governamentais não podem ser descartadas, podendo influenciar os contratos.

Jiehkun (2006) utilizou DEA para avaliar as refinarias de petróleo na China e Vasconcellos, Canen e Lins (2006) aplicaram DEA no processo de *benchmarking* para analisar as melhores práticas operacionais de um sistema de unidades produtivas de petróleo no Brasil. Liu, Wang e Bai (2007) aplicaram DEA e os modelos Markovianos para mensurar o custo de exploração das empresas de petróleo.

Mekaroonreung (2007) e Mekaroonreung (2010) buscaram comparar vários métodos para estimar a eficiência técnica de cento e treze refinarias de petróleo nos Estados Unidos em operação nos períodos de 2006 e 2007. Os resultados indicaram que as refinarias domésticas melhoraram a eficiência e que os regulamentos ambientais reduziram a quantidade de *outputs* potencialmente desejáveis.

Por sua vez, Liu e Wang (2007) aplicaram DEA em conjunto com os modelos Markovianos para analisar os custos de *Huabei Oil Company* da Petro China para mensurar os custos das

metas a serem alcançadas. Ainda, Ali e Zahra (2008) mensuraram a eficiência e a produtividade das refinarias de petróleo no Irã.

Em 2009, houve uma evolução significativa no uso da DEA com aplicações na área de gestão empresarial, utilizando novas metodologias como regressão logística e análise de *cluster* em conjunto com DEA, definindo um plano de investimento para exploração de petróleo e buscando o correto uso ordenado dos recursos de petróleo e gás (YURUA; DONGKUN, 2009).

Barros e Assaf (2009) analisaram a eficiência técnica de blocos de petróleo na Angola entre 2002 a 2007, aplicando DEA e o método *Bootstrap*. Hamid e Esmaeil (2009) empregaram DEA para avaliar a eficiência das exportações de petróleo e o investimento de estrangeiros nas empresas do Irã e Song (2009) aplicou GM-DEA no planejamento de utilização de energia em empresas petrolíferas objetivando estabelecer um sistema GM-DEA para o planejamento da utilização de energia e aperfeiçoou os resultados previstos.

No estudo desenvolvido por Zhang, Huang, Lin e Yu (2009), foram apresentadas propostas para uma abordagem de apoio à decisão híbrida utilizando DEA com os modelos dinâmicos para determinar as alternativas de *Design* mais preferíveis para sistemas de águas freáticas. Nesse viés, Rejin e Jiatao (2011) selecionaram vinte e duas refinarias de petróleo e avaliaram os resultados operacionais dessas unidades. Observou-se que as escalas técnicas de onze das vinte e duas refinarias foram validadas e que sua capacidade de produção não foi total e eficazmente utilizada.

Halkos e Tzeremos (2011) investigaram a relação entre eficiência econômica e consumo de óleo em quarenta e dois países no período de 1986 a 2006. Por conclusão, consumo de petróleo é o principal motor por trás do progresso da industrialização e urbanização. Ye e Tao (2011) analisaram a eficácia da *Shanghai Petrochemical Company* no período de 2000 a 2009 aplicando os modelos de supereficiência.

Processos estocásticos e DEA foram aplicados em setenta e oito empresas, havendo evidências empíricas sobre a eficiência referente ao faturamento das empresas nacionais de petróleo e as empresas petrolíferas privadas internacionais (ELLER; HARTLEY; MEDLOCK III, 2011). Esse trabalho comparou a eficiência dos grupos de empresas e como resultado identificou que as empresas nacionais de petróleo são menos eficientes do que as empresas petrolíferas privadas internacionais.

Al-Najjar e Al-Jaybajy (2012) implementaram a abordagem DEA para mensurar a eficiência relativa em uma amostra de refinarias de petróleo no Iraque nos anos de 2009 a 2010. Francisco, Almeida e Silva (2012) estudaram a eficiência das refinarias de petróleo no setor público com ênfase nos efluentes gerados e no consumo de água no processo de produção.

Sueyoshi (2012a) discutiu a aplicação de DEA na área ambiental, procurando comparar o desempenho das empresas nacionais de petróleo com o desempenho de empresas internacionais. Todas as empresas de petróleo precisam diminuir suas dimensões operacionais para melhorar o seu desempenho ambiental em emissões de CO<sub>2</sub>, sugerindo que elas precisam introduzir a inovação tecnológica em suas operações comerciais.

Em outra pesquisa, Sueyoshi (2012b) aplicou DEA para a avaliação ambiental usando modelos DEA não radiais. Xu e Ouenniche (2012) aplicaram DEA nas previsões de volatilidade dos preços do petróleo. Azedeh *et al.* (2012) aplicaram o modelo BCC integrado ao modelo *fuzzy* para estimar o consumo de petróleo no Canadá, Estados Unidos, Japão e Austrália.

Zhang, Pan e Dong (2013) avaliou a eficiência em uma base de dados operacionais de óleo refinado de quatorze refinarias de petróleo em larga escala durante o período de 2002 a 2010. Concluiu-se que a produtividade total dos fatores diminuiu na indústria de produtos petrolíferos internacionais, que a taxa de dissipação de entrada é de 28,4% e, ainda, que a baixa eficiência de escala e a baixa eficiência técnica reduzem a eficiência total.

Ismail *et al.* (2013) evoluíram nos métodos e aplicaram o método CCR, indicadores de ecoeficiência, correlação de *Pearson* e *Spearman* na análise do desempenho ambiental e na eficiência econômica das operações globais de empresas selecionadas na indústria do petróleo. Como resultado, foi verificado que houve uma relação positiva entre a ecoeficiência e a eficiência técnica.

Para Wang, Lin e Murugesan (2013), o elevado crescimento econômico e a crescente industrialização juntamente com o crescimento populacional geraram preocupações para o cenário de energia da Índia. O estudo avaliou o desempenho da indústria de energia indiana sob vários *inputs* e *outputs*. Os resultados demonstraram que a *Gas of India Limited* (GAIL), *Chennai Petroleum Corporation Limited* (CPCL) e *Oil India Limited* (OIL) são os *tops* do *ranking* de influências.

Utilizando DEA e a análise de multicritério, Lee, Mogi e Hui (2013) avaliaram as tecnologias energéticas contra os preços elevados do petróleo. A pontuação relativa de eficiência das

tecnologias de energia contra os preços elevados do petróleo pode ser a tomada de decisão de dados fundamental para auxiliar tomadores de decisões a alocar recursos de forma eficaz.

Barros e Antunes (2014) analisaram a eficiência e a produtividade em uma amostra representativa de blocos petrolíferos angolanos no período de 2002 a 2008. Os resultados mostraram que os blocos de petróleo angolano fizeram experimentar algum crescimento na produtividade durante o período analisado e a incidência da evolução tecnológica foi positiva.

No trabalho proposto por Asayesh e Raad (2014), a DEA avaliou a eficiência relativa de postos de gasolina de derivados de petróleo no Irã e apontou a eficiência relativa das estações pelo método BCC. O modelo de supereficiência foi utilizado para determinar a unidade mais eficiente bem como o *ranking* de desempenho das unidades tomadoras de decisão mais eficazes. Ike e Lee (2014) mensurou a eficiência relativa e a produtividade de trinta e oito companhias de petróleos no mundo no período de 2003 a 2010 aplicando DEA e os modelos de regressão de efeitos aleatórios.

Arroyo, Yago e Nassir (2014) estudou os efeitos econômicos e políticos de uma aliança estratégica entre as principais empresas petrolíferas, como Petrobrás e Galp, investigando se as empresas públicas e privadas influenciam o crescimento econômico de seus países. Identificou-se que a exploração e exportação de petróleo e gás não desempenharam papel significativo no crescimento da economia doméstica e que as atividades de exploração foram inflacionária, desestabilizadora e hostil ao crescimento.

Sueyoshi e Wang (2014) enfatizaram que a avaliação e a proteção do meio ambiente são preocupações importantes no mundo dos negócios. Esse estudo propôs o uso de DEA para mensurar a sustentabilidade empresarial das empresas de petróleo nos Estados Unidos.

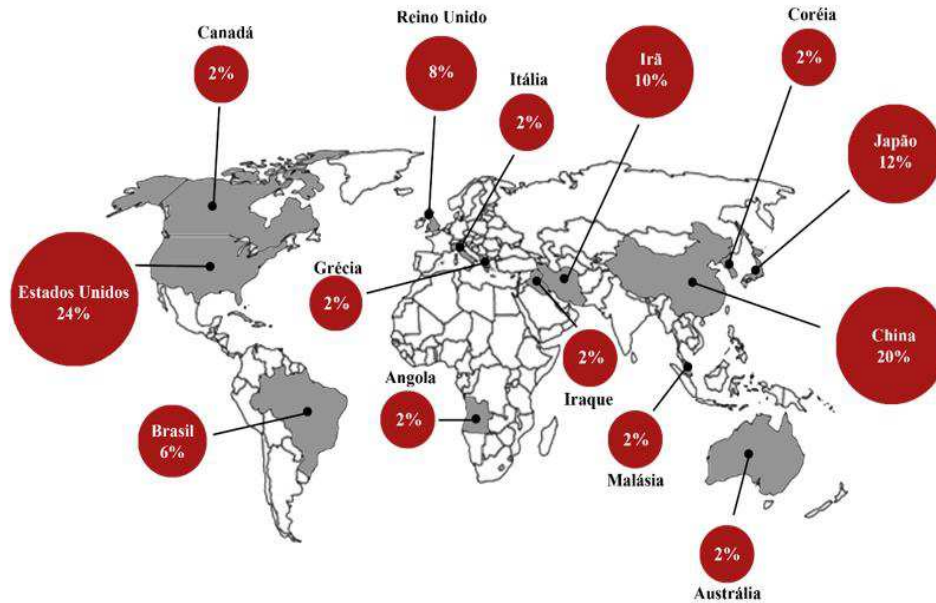
Song, Zhang e Wang (2015) aplicaram o modelo *Network* DEA para dividir pontuações de eficiência em duas subunidades, proporcionando assim resultados mais precisos. Foram examinadas as mudanças na produção e a eficiência ambiental em vinte empresas petrolíferas na China. Sueyoshi e Goto (2014) incorporaram o índice *Malmquist* nos estudos de avaliação ambiental. Azedeh, Mokhtari, Sharabi e Zarrin (2015) demonstraram a aplicabilidade da DEA nos estudos relacionados a saúde, segurança e meio ambiente em uma refinaria de petróleo buscando melhorar os fatores ergonômicos da empresa.

A Figura 4 apresenta os países de origem das pesquisas aplicando DEA na indústria do petróleo. As maiores frequências são os trabalhos desenvolvidos pelos Estados Unidos



(24,0%), China (20,0%), Japão (12,0%), Irã (10,0%) e Reino Unido (8,0%), totalizando 74% de todas as pesquisas.

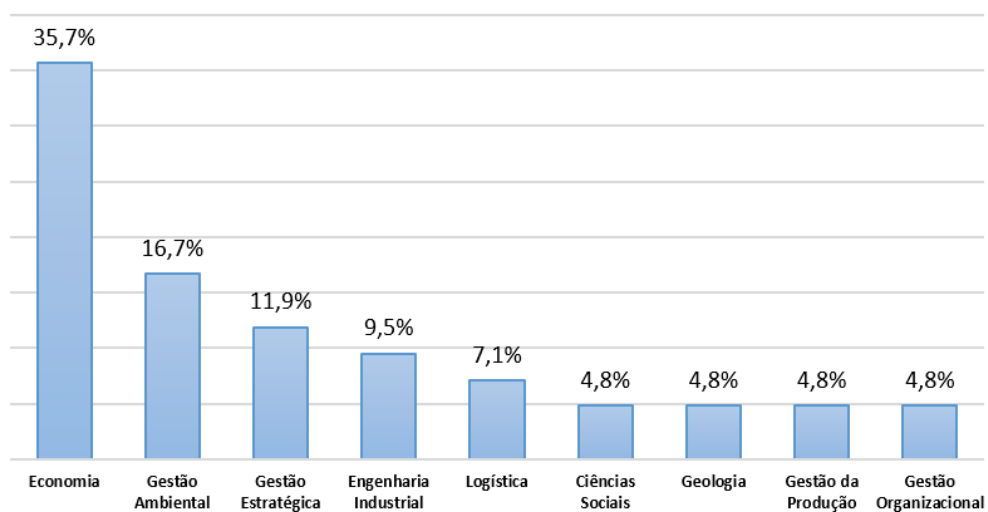
Figura 4 - Países de origem das pesquisas aplicando DEA na indústria do petróleo



No Brasil, a aplicação dessa técnica na indústria do petróleo é insipiente, sendo necessário os estudos envolvendo o tema, representando apenas 6% das pesquisas desenvolvidos. O primeiro trabalho foi desenvolvido por Rocha e Netto em 2002 na área de pesquisa operacional utilizando o modelo de superficiência.

Segundo Bezerra, Almeida e Vieira (2015), as principais áreas de aplicação da DEA na indústria do petróleo são economia, gestão ambiental e gestão estratégica, sendo verificadas pela Figura 5.

Figura 5 - Áreas de aplicação da DEA na indústria do petróleo



São identificados oito métodos envolvendo a metodologia DEA na Figura 6. Os modelos mais utilizados no desenvolvimento dos trabalhos são o CCR (45,32%) e o BCC (31,25%), totalizando 76,57% das técnicas aplicadas. A Tabela 1 apresenta outras metodologias utilizadas em conjunto com a DEA.

Figura 6 - Modelos DEA aplicados nas pesquisas

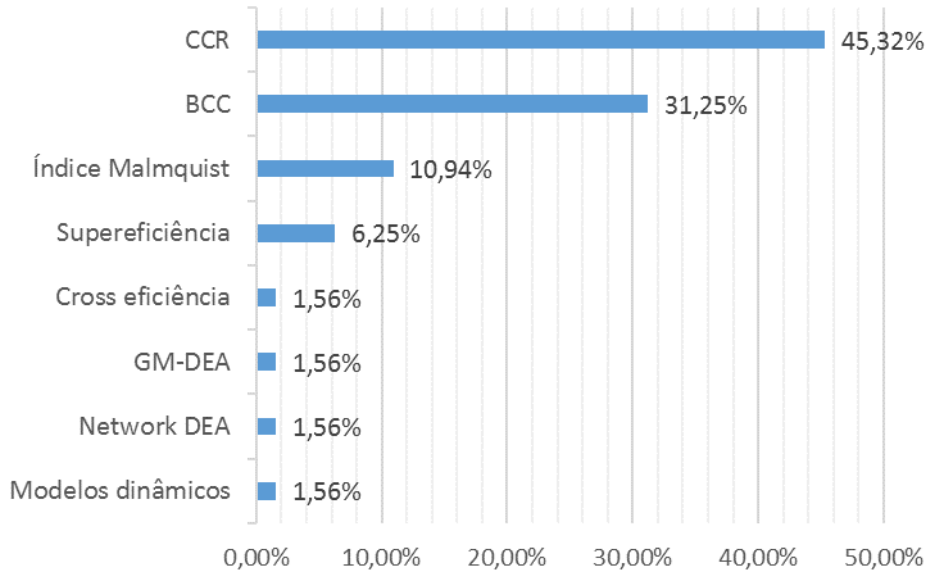


Tabela 1 - Metodologia aplicada em conjunto com DEA

Metodologia	Frequência	Percentual (%)
Análise de regressão	3	12
Análise de fronteira estocástica	2	8
Análise multicritério	2	8
Eficiência hiperbólica	2	8
Fuzzy	2	8
Processos Estocásticos	2	8
Benchmarking	1	4
Bootstrap	1	4
Correlação de Pearson	1	4
Correlação de Spearman	1	4
Ecoeficiência	1	4
Grey System Theory	1	4
Indicador de Luenbeger	1	4
Modelo de Gompertz	1	4
Modelos de Markov	1	4
Modelos de Poter	1	4
Supply Chain management	1	4
SVU	1	4
<b>Total</b>	<b>25</b>	<b>100</b>

## Conclusão

A DEA é uma técnica matemática que analisa o desempenho, em termos de eficiência relativa a partir de um conjunto de *inputs* e *outputs*. É uma metodologia que auxilia no planejamento e

tomada de decisão. Porém, na indústria do petróleo tem uma aplicação pequena. A partir da análise das informações pesquisadas verificou-se que ao longo de 25 anos rastreou-se apenas 43 publicações com a aplicações da DEA na indústria do petróleo.

Os Estados Unidos, China e Japão são os três primeiros no ranking de pesquisas. No ranking mundial o Brasil encontra-se na sexta posição, com estudos referentes a eficiência de refinarias de petróleo, postos de combustível e melhoria da gestão empresarial. Talvez o uso restrito da DEA seja a dificuldade de softwares específicos e complexidade da metodologia.

As principais áreas de aplicação da DEA são nos estudos da eficiência refinarias de petróleo, eficiência ambiental e eficiência das práticas de gestão empresarial. Os últimos trabalhos na área de economia do petróleo são da década de 90. No Brasil merecem ser desenvolvidas linhas de pesquisa com aplicação de DEA na engenharia e geologia de reservatórios, exploração e exploração de petróleo, automação na indústria do petróleo e meio ambiente na indústria do petróleo.

## Referências

- ALI, Emami Meybodi; ZAHRA, Izadi. An assessment of technical efficiency and productivity of Iranian petroleum refineries: A DEA approach. **Journal Quartely Energy Economics Review**. Vol.5, p.31-56, 2008.
- AL-NAJJAR, Sabah M.; AL-JAYBAJY, Mustafa A. Application of Data Envelopment Analysis to Measure the Technical Efficiency of Oil Refineries: A Case Study. **International Journal of Business Administration**, vol.3, nº5, 2012, p 64-77.
- Arroyo, J.P.A., Yago, M., Nasir, M.A., Wu, J. Strategic alliance in energy sector & implications for economic growth and technical efficiency: the case of petrobras and galp. **International Journal of Energy Economics and Policy**, 2014, p.759-751.
- ASAYESH, Roxana; RAAD, Zahra F. Evaluation of the relative efficiency of gas station by Data Envelopment Analysis. **International Journal of Data Envelopment Analysis and operations Research**, 2014, p.12-15.
- AZADEH, A.; SERAJ, O.; ASADZADEH, S. M.; SABERI, M. An integrated fuzzy regression-data Envelopment Analysis algorithm for optimum oil consumption estimation with ambiguous data. **Applied soft computing**. Vol.12, 2012, p.2614-2630.
- AZADEH, A.; MOKHTARI, Z.; SHARABI, Z. Jiryaei; ZARRIN, M. Na integrated experimete for identification of best decision style and teamworks with respect to HSE and ergonomics program: The case of large oil refinery. **Accident Analysis and Prevention**. Vol.85, 2015, p.30-44.
- BARROS, C.P.; ASSAF, A. Bootstrapped efficiency measures of oil blocks in Angola. **Energy Policy**. Vol.37, 2009. p.4098-4103.
- BARROS, C.; ANTUNES, O.S. Productivity change in the oil blocks of Angola. **Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy**. 2014.
- BEVILACQUA, Maurizio; BRAGLIA, Marcello. Enviroment efficiency Analysis for ENI oil refineries. **Journal Cleaner Production**. Vol.10, 2002, p.85-92.
- EASTON, Liane; MURPHY, David J.; PEARSON, John N. Purchasing performance evaluation: with Data Envelopment Analysis. **European Journal of Pruchasing & Suply Management**. Vol.8, 2002, p.123-134.

- ELLER, Stacy L.; HARTLEY, Peter R.; MEDLOCK III, Kenneth B. Empirical evidence on the operational efficiency of national oil companies. **Empirical Economics**. May, 2011, Vol.40, p.623-643.
- FRANCISCO, Claudia A.C.; ALMEIDA, Mariana R. de; SILVA, Djalma Ribeiro da. Efficiency in Brazilian Refineries Under Different DEA Technologies. **International Journal of Engineering Business Management**. Agosto, 2012, p.1-12.
- HALKOS, George E.; TZEREMES, Nickolaos G. Oil consumption and economic efficiency: A comparative Analysis of advanced, developing and emerging economies. **Ecological Economics**. Vol.70, 2011, p.1354-1362.
- HAMID, Kodadad H.S.; ESMAEIL, Shahtahmasbi. Measurement and sensitivity analysis of relative efficiency in now-petroleum exports of Iran and selected countries: A DEA approach. **Quartel Journal of New Economy & Commerce**. Vol.5, p.119-137, 2009.
- IKE, C. B.; LEE H. Measurement of the efficiency and productivity of national oil companies and its determinants. **Geosystem engineering**. Vol.17, 2014, p.1-10.
- ISMAIL, Zubaidah; TAI, Jie Chuin; KONG, Keen K.; LAW, Kim H.; SHIRAZI, Sharif M.; KARIM, Ramlee. Using data envelopment analysis in comparing the environmental performance and technical efficiency of selected companies in their global petroleum operations. **Measurement**, 2013, Vol.46, p.3401-3413.
- JIEKUN, Song; ZAI XU, Zhang; YU, Zhang. Dea-based performance evaluation for oil refining enterprises. **Techno-economics in Petrochemicals**. 2006.
- KASHANI, Hossein A. Regulation and efficiency: an empirical analysis of the United Kingdom continental shelf petroleum industry. **Energy Policy**. 2005, Vol. 33, p.915-925.
- KASHANI, Hossein A. State intervention causing inefficiency: an empirical analysis of the Norwegian Continental Shelf. **Energy Policy**, 2005, Vol.33, p.1998-2009.
- LEE, Seong K.; MOGI, Gento; HUI, K.S. A fuzzy analytic hierarchy process. Data Envelopment Analysis hybrid model for efficiently allocating energy R&D resources: In the case of energy technologies against high oil prices. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. May, 2013, Vol.21, p.347-355.
- LIU, Jin-lan; WANG, Meng-dong; BAI, Yin. Using DEA and Grey Markovian Model to Measure the Goal Cost of Petroleum Enterprise. **Computacional Science**. Vol. 4489, p.1008-1011,2007.
- MEKAROONREUNG, Maethee. Estimating the efficiency of American petroleum refineries under varying assumptions of the disposability of bad outputs. **International Journal of Energy Sector Management**. Vol. 4, 2007.
- MEKAROONREUNG, Maethee; JOHNSON, Andy L. Estimating the efficiency of American petroleum refineries under varying assumptions of the disposability of bad outputs. **International Journal of Energy Sector Management**, 2010, Vol.4, p.356-398.
- RENJIN, sun; LI, Tian; JIATAO, Lu. A study on Data Envelopment Analysis based refinar performance evaluation method. **Sino-Global Energy**, 2011.
- ROCHA, Rafael B.; NETTO, Maria A.C. A Data Envelopment Analysis model for rank ordering suppliers in the oil industry. **Pesquisa Operacional**, Vol.22, n.2, 2002,p.123-132.
- ROSS, Anthony D.; DROGE, Cornelia. An Analysis of operation efficiency in large-scale distribution systems. **Journal of Operations Management**. Vol.21, 2004, p.673-688.
- SONG, Jie-Kun. Energy utilization planning of oilfield enterprises based on GM and DEA. **Resources & Industries**. 2009.
- SONG, Malin; ZHANG, Jie; WANG Shuhong. Review of the network environmental efficiencies of listed petroleum enterprises in China. **Renewable and sustainable energy reviews**. Vol.43, 2015, p.65-71.
- SUEYOSHI, Toshiuki. Stochastic DEA for restructure strategy: an application to a Japanese petroleum company. **Omega**. Vol.28, 2000, p.385-398.

- SUEYOSHI, Toshiyuki. GOTO, Mika. Returns to scale and damages to scale under natural and managerial disposability: Strategy, efficiency and competitiveness of petroleum firms. **Energy Economics**, 2012, Vol.34, p.645-662.
- SUEYOSHI, Toshiyuki. GOTO, Mika. Data Envelopment Analysis for environmental assessment: Comparison between public and private ownership in petroleum industry. **European Journal of Operational Research**. 2012. p. 668-678.
- SUEYOSHI, Toshiyuki. WANG, Derek. Sustainability development for supply chain management in U.S. petroleum industry by DEA environmental assessment. **Energy Economics**. Vol.46, 2014, p.360-374.
- SUEYOSHI, Toshiyuki; GOTO, Mika. DEA environmental assessment in time horizon: radial approach for Malmquist index measurement on petroleum companies. **Energy Economics**. Vol.51, 2015, p329-345.
- THOMPSON, R.G.; LEE, E.; THRALL, R.M. DEA/AR-efficiency of U.S. independent oil/gas producers over time. **Computers & Operations Research**, 1992, Vol.19, p.377-391.
- THOMPSON, Russel G.; DHARMAPALA, P.S.; ROTHENBERG, Louis J.; THRALL, Robert M. DEA ARs and CRs Applied to Worldwide Major Oil Companies. **The Journal of Productivity Analysis**. Vol.5, 1994, p.181-203.
- THOMPSON, G.R.; DHARMAPALA, P.S.; ROTHENBERG, Louis J.; THRALL, Robert M. DEA/AR efficiency and profitability of 14 major oil companies in U.S. exploration and production. **Computers & Operations Research**, April, 1996, Vol.23, p.357-373.
- VASCONCELLOS, Vinícius A.; CANEN, Alberto G.; LINS, Marcos P. E. Identificando as melhores práticas operacionais através da associação Benchmarking-DEA: o caso das refinarias de petróleo. **Pesquisa Operacional**, 2006, Vol.26, p.51-67.
- XU, Bing; OUENNICHE, Jamal. A data envelopment analysis-based framework for the relative performance evaluation of competing crude oil prices' volatility forecasting models. **Energy Economics**, March, 2012, Vol.34, p.576-583.
- WANG, Chia-Nan; LIN, lei-Chuan; MURUGESAN, Dhanabalan. Analysing PSU's Performance: A Case from Ministry of Petroleum and Natural Gas of India. **Mathematical Problems in Engineering**. 2013.
- YE, J.; TAO, T.; The demonstration analysis of petrochemical enterprise scale and technical efficiency using super-efficiency DEA Model. **Petroleum & Petrochemical Today**. N°2, 2011.
- YURUA, Zheng; DONGKUN, Luo. Investment Optimization in oil and gas plays. **Petroleum Exploration and Development**. Vol.36, 2009. p. 535-540.
- ZHANG, Xiaodong; HUANG, Guo H.; LIN, Qianguo; YU, Hui. Petroleum-contaminated groundwater remediation systems design: A data envelopment analysis based approach. **Expert Systems With Applications**, 2009, Vol.36, p 5666-5672.
- ZHANG, Hai Xia; PAN, Cai Xin; DONG, Xiu-cheng. Study on refined oil operating efficiency of international oil companies. **International Business**, 2013.