



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, ATUÁRIA E CONTABILIDADE**  
**DEPARTAMENTO DE FINANÇAS**  
**CURSO DE FINANÇAS**

**NADJA TATIELLE CRUZ DA SILVA MARTINS**

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE EMPRESAS DO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA**  
**NO BRASIL**

**FORTALEZA**

**2020**

NADJA TATIELLE CRUZ DA SILVA MARTINS

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE EMPRESAS DO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA  
NO BRASIL**

Monografia apresentada ao Curso de Finanças da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Finanças. Área de concentração: Regulação.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Gildemir Ferreira da Silva

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

M344a Martins, Nadja Tatielle Cruz da Silva.  
ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE EMPRESAS DO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL /  
Nadja Tatielle Cruz da Silva Martins. – 2020.  
30 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Faculdade de Economia,  
Administração, Atuária e Contabilidade, Curso de Finanças, Fortaleza, 2020.  
Orientação: Prof. Dr. Francisco Gildemir Ferreira da Silva.

1. Energia. 2. Eficiência. 3. DEA. I. Título.

CDD 332

---

NADJA TATIELLE CRUZ DA SILVA MARTINS

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE EMPRESAS DO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA  
NO BRASIL**

Monografia apresentada ao Curso de Finanças da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Finanças. Área de concentração: Regulação.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Francisco Gildemir Ferreira da Silva (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Me. Thiago Ribeiro Francelino  
Instituto Federal do Ceará (IFCE)

---

Me. Lucas Thixbai Freitas Fraga  
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRG)

A Deus.

A minha mãe e meu pai

A todos aqueles que torceram e oraram por  
mim.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ter me dado forças e saúde para chegar até aqui. A Jesus por ter me dado a redenção para que hoje eu possa ter vida. Ao Espírito Santo por ser o consolo nos momentos difíceis e conselheiro para todas as decisões da minha vida.

A minha mãe e o meu pai, por todo amor e dedicação durante toda minha vida, pelos conselhos e pelas repreensões e por todo comprometimento, esforço e auxílio na minha jornada acadêmica.

Ao meu orientador, professor Gildemir, por toda paciência desde as aulas na graduação, bolsa PID e agora na orientação. Grata também por todo auxílio na orientação dessa Monografia e pelas conversas inspiradoras que me ajudaram a concluir esse trabalho.

Aos participantes da banca examinadora Me. Lucas Thixbai Freitas Fraga e Prof. Me. Thiago Ribeiro Francelino pelo pronto aceite para composição de minha banca.

A todos os servidores do Curso de Finanças por toda ajuda e disponibilidade.

Aos meus amigos de graduação que foram de fundamental importância durante a academia, que me ajudaram em vários momentos do curso. Aos meus amigos da vida por todas as palavras, companheirismo, empatia, conselhos e orações.

“A luz elétrica é mais útil que a luz do Sol, porque a luz do Sol ilumina só quando é dia, ou seja, quando não faz falta e a luz elétrica ilumina só de noite, quando está tudo escuro.” (*Chaves*)

## RESUMO

O setor de energia elétrica é fundamental para a economia e sociedade, pois é essencial para produção de bens e serviços de um país. Por essa razão, é necessário que as empresas, pertencentes ao setor, funcionem de forma eficiente para fornecer um serviço de qualidade. O presente trabalho tem como objetivo principal avaliar a eficiência de algumas empresas do setor por meio da metodologia de Análise Envoltória de Dados (DEA), utilizando o modelo DEA-CCR orientado a *input*. As empresas analisadas foram CEEE, CEMIG, COPEL, CELG, CHESF, Eletronorte, CGT Eletrosul, CTEEP, TAESA e FURNAS, no período de 2013 a 2015. No primeiro momento o modelo foi executado e obtivemos as eficiências de cada empresa, onde identificamos quais as empresas que se mostraram eficientes, também foi aplicado o índice de Malmquist para analisar variação da produtividade entre o período em questão. No segundo momento as empresas foram divididas em três grupos de acordo com sua área de atuação: geração, distribuição e transmissão, com o intuito de identificar qual o grupo eficiente. Os resultados do estudo mostraram que as empresas eficientes na primeira análise foram: CEMIG, COPEL, CTEEP, FURNAS e TAESA, correspondendo a 50% da amostra. Dessas empresas eficientes apenas a COPEL se afastou da fronteira eficiente, segundo o índice de Malmquist. O grupo que se apresentou como o mais eficiente foi o das empresas que atuam apenas na área de transmissão, sendo esse grupo o *benchmark* para os demais. As empresas CEMIG, FURNAS, TAESA, CTEEP, se estabeleceram como *benchmark* para a amostra. Sugere-se a realização de novos estudos com períodos e amostra maior.

**Palavras-chave:** Energia, DEA, Eficiência.

## **ABSTRACT**

The energy sector is important for the economy and the society, as it is essential to produce assets and services in a country. Therefore, it is necessary that the companies that play in the sector work efficiently in order to offer quality service. This study mainly aims to assess the efficiency of some companies in the sector through the methodology Data Envelopment Analysis (DEA), using the model DEA-CCR oriented at input. The companies analyzed were CEEE, CEMIG, COPEL, CELG, CHESF, Eletronorte, CGT Eletrosul, CTEEP, TAESA and FURNAS, from 2013 to 2015. Firstly, the model was applied, so it was possible to identify which companies were efficient. Malmquist Index was also used to analyze productivity variation in that same period. Secondly, the companies were divided into three groups in accordance with the area of expertise as: generation, distribution, and transmission with the purpose of identifying with group was the efficient one. The results showed as the efficient ones in the first analysis: CEMIG, COPEL, CTEEP, FURNAS and TAESA, representing 50% of the sample. Among the efficient companies, only COPEL was away from the efficient frontier according to Malmquist Index. The most efficient group was with the one that included companies that work in the transmission area and then considered as benchmark for the others. The companies CEMIG, FURNAS, TAESA, CTEEP were established as benchmark for the sample. Further studies with longer periods and larger samples are suggested.

**Keywords:** Energy. DEA. Efficiency.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Análise descritiva dos dados .....	23
Tabela 2: Dinâmica da evolução da eficiência com base no índice Malmquist .....	25
Tabela 3: Frequência de empresas por ano e grupo.....	26

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Isoquanta .....	16
Gráfico 2: PMSO ajustado.....	22
Gráfico 3: Extensão de rede.....	22
Gráfico 4: Eficiência das empresas reguladas de 2013, 2014 e 2015.....	23
Gráfico 5: Variável PMSO ajustado .....	24
Gráfico 6: Média da eficiência anual por grupo. ....	26

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fronteira de Possibilidade de Produção: Modelo CCR .....	18
--	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BCC	Banker, Charnes e Copper
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BRICS	Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul
CCR	Charnes, Copper e Rhodes
CEEE	Companhia Estadual de Energia Elétrica
CELG	Centrais Elétricas de Goiás
CELPA	Centrais Elétricas do Pará
CEMAR	Companhia Energética do Maranhão
CEMAT	Centrais Elétricas Mato-grossenses
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CGT ELETROSUL	Companhia de Geração e Transmissão de Energia Elétrica do Sul do Brasil
CHESF	Companhia Hidro Elétrica do São Francisco
COELBA	Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia
COELCE	Companhia Energética do Ceará
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
COSERN	Companhia Energética do Rio Grande do Norte
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
CTEEP	Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i>
DMU	<i>Decision Making Units</i>
EBTIDA	Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization
ELETRONORTE	Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A
ENERSUL	Empresa Energética de Mato Grosso do Sul
ESCELSA	Espírito Santo Centrais Elétricas S. A
FURNAS	Furnas Centrais Elétricas S/A
MVA	Megavolt-ampere
PIB	Produto Interno Bruto
PMSO	Somatório das Despesas de Pessoal, Materiais, Serviços de Terceiros e Outros

RGE	Rio Grande Energia
RGR	Reserva Global de Reversão
TAESA	Transmissora Aliança de Energia Elétrica S.A
TMS	Taxa Marginal de Substituição

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	14
2.1 Conceitos básicos .....	15
2.2 Análise Envoltória de Dados (DEA) .....	16
2.2.1 Modelo CCR e BCC .....	17
2.2.2 Índice de Malmquist .....	19
2.3 Eficiência do Setor De Energia .....	19
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	21
<b>4 RESULTADOS E ANÁLISE</b> .....	23
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	27
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	28

## 1 INTRODUÇÃO

O setor de energia elétrica é um dos maiores do Brasil e é de fundamental importância para a produção de bens e serviços e para o bem estar da população. Por essa razão, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabelece as práticas que devem ser exercidas e as empresas devem operar de modo que possam reduzir seus custos operacionais a fim de aumentar seus lucros. Por essa razão, se faz necessária à análise da eficiência dessas empresas reguladas, para que seja possível revisar a estrutura da empresa e estabelecer medidas para alcançar a eficiência.

O presente trabalho irá analisar a eficiência de algumas empresas reguladas do setor de energia no Brasil. A análise de eficiência servirá para determinar quais empresas são mais eficientes, estabelecendo assim o *benchmark*<sup>1</sup>, ou seja, a empresa que serve de espelho para as demais.

Na literatura atual há várias técnicas que analisam a eficiência, porém para este trabalho o modelo escolhido foi a Análise Envoltória dos Dados (DEA), esse é um dos métodos utilizados pela ANEEL para mensurar a eficiência das empresas reguladas. O modelo DEA se mostra adequado, pois se trata de uma técnica não paramétrica, capaz de identificar a fronteira de eficiência de unidades semelhantes, a partir das unidades produtivas mais eficientes, servindo-se de múltiplas entradas e saídas (SANTOS; CASA NOVA, 2005). Será utilizado também o índice de Malmquist, que é um método que mede a variação de produtividade entre períodos.

O seguinte trabalho será dividido em cinco seções, incluindo essa introdução. Na segunda, serão apresentados trabalhos onde constará todo o embasamento metodológico para sustentar a análise, assim como apresentará trabalhos que também mensuraram eficiência por meio do modelo DEA. Na terceira, será apresentada a metodologia utilizada e uma breve explicação dos dados utilizados. A análise e os resultados encontrados após aplicar o DEA, serão vistos na quarta seção. A última constará as considerações finais sobre o trabalho e sugestões para futuros trabalhos na área.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Esta seção dispõe de estudos realizados na área de análise de eficiência no setor de energia. A primeira parte resume o modelo DEA, apresentando os principais modelos e introduz qual modelo será utilizado no presente estudo. A segunda parte disserta sobre

---

<sup>1</sup> Benchmark: Unidades que são referência para as outras da amostra.

análises existentes de eficiência usando o modelo DEA, com objetivo de melhor aprofundamento na temática.

## 2.1 Conceitos básicos

Alguns conceitos básicos são necessários para compreender o modelo DEA, como: função de produção, produtividade e eficiência.

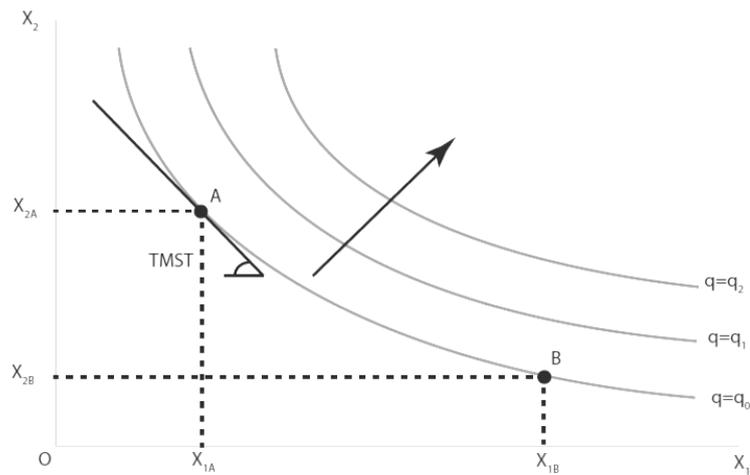
Segundo PINDYCK e RUBINFELD (1999) a função de produção mostra o produto máximo que uma empresa produz para cada combinação de insumos. Normalmente a função que expressa a função de produção é:  $Q = F(K, L)$ , ou seja, a quantidade de produto (Q) depende do capital K, e do trabalho, L. Essa função supõe que foi atendida a eficiência tecnicamente, pois a empresa utilizou a combinação de insumos que foi mais eficaz. Se fixarmos o capital, a única maneira de aumentar a quantidade produzida será variando o trabalho, mas haverá um ponto que aumentar a quantidade de trabalho será inviável, pois a estrutura da empresa pode não suportar, o que ocasionaria ineficiência e logo haveria um momento que se acrescentar uma unidade de trabalho a produção se tornará negativa.

Com esse conhecimento fica mais fácil entender o que seria a Lei dos Rendimentos Marginais Decrescentes que é um princípio que diz que, à medida que se aumenta o uso de um insumo, *ceteris paribus*<sup>2</sup>, chega-se a um ponto que a produção adicional resultante decresce. É possível haver diferentes combinações de insumos que geram o mesmo nível de produção, a curva de *isoquanta*, ver Gráfico 1: *Isoquanta*, representa esse fenômeno. A inclinação dessa curva é chamada de TMS (Taxa de Marginal de Substituição), ou seja, a quantidade que um insumo pode ser reduzido/aumentado quando uma unidade adicional de outro insumo é utilizada.

---

<sup>2</sup> Expressão em latim que significa “todo o resto constante”.

Gráfico 1: Isoquanta



Fonte: Boueri (2015)

Algumas expressões como produtividade e eficiência são intrinsecamente relacionadas a desempenho. Produtividade é a relação entre os produtos e os insumos necessários, razão entre *output* produzido e *input* disponível (Coelli, *et al* 1998). Dessa forma a produtividade de uma empresa está relacionada com as quantidades de insumos (*inputs*) empregados para realizar suas atividades e a quantidade de produtos (*outputs*) gerados por essa atividade. Eficiência é a combinação ótima dos insumos que gera o máximo de produto.

## 2.2 Análise Envoltória de Dados (DEA)

Baseado no artigo de Farrell (1957), que define eficiência como a razão entre a soma ponderada dos produtos e a soma ponderada dos insumos, e que devem ser reduzidos os *inputs*, ou aumentados os *outputs*, para que se tenha uma fronteira eficiente, Charnes, Cooper e Rhodes (1978) introduziram a metodologia Análise Envoltória dos Dados (DEA), do inglês *Data Envelopment Analysis*, produzindo um dos modelos clássicos da técnica, o Modelo CCR. O DEA se configura como uma técnica não paramétrica, ou seja, não permite inferência estatística, sendo possível analisar apenas a amostra utilizada. A mensuração da eficiência no modelo se dá pela comparação das Unidades Tomadoras de Decisão (DMU), do inglês, *Decision Making Units*, onde possuem os mesmos insumos (*inputs*) e produtos (*outputs*), diferenciando-se apenas das quantidades.

Tomando esse conceito, podemos inferir, segundo Lobo *et al* (2009), que uma DMU será eficiente quando possuir maiores níveis de produção, para quantidades fixas de insumos ou usar menos insumos para gerar uma quantidade fixa de produtos. Ao definir as DMUs eficientes, o modelo cria uma fronteira de produção eficiente. Portanto, as DMUs que se

encontram sobre a fronteira têm medida de eficiência de 100%, enquanto as DMUs localizadas abaixo da fronteira são ineficientes. Além de determinar as DMUs eficientes o DEA pode apresentar um *benchmark*, uma referência, para as unidades ineficientes atingirem a fronteira de eficiência.

Segundo Zhu (2000) o modelo DEA se mostra o mais adequado para a análise de eficiência, pois indica uma medida de eficiência relativa entre diferentes entidades independentes. Essa medida ressaltam Lins e Meza (2000), é de tal ordem que nenhum dos *outputs* pode ser aumentado sem que algum outro *output* seja reduzido ou algum *input* necessite ser aumentado; e nenhum dos *inputs* pode ser reduzido sem que algum outro *input* seja aumentado ou algum *output* seja reduzido.

É importante ressaltar que existem dois motivos que influenciam significativamente os resultados, são eles: orientação e modelo. A orientação por ser direcionada a *inputs* e *outputs*, quanto aos modelos os mais utilizados são CCR e BCC.

### 2.2.1 Modelo CCR e BCC

O primeiro modelo proposto por Charnes, Copper e Rhodes (1978) pressupõe retornos constantes de escala.

$$\text{Max}_{u,v} \Phi = \frac{\sum_{r=1}^p u_r O_{r0}}{\sum_{i=1}^q v_i I_{i0}}$$

Sujeito às restrições:

$$\frac{\sum_{r=1}^p u_r O_{rj}}{\sum_{i=1}^q v_i I_{ij}} \leq 1; \quad j = 1, \dots, n$$

$$u_r, v_i \geq 0; \quad r = 1, \dots, p \quad ; \quad i = 1, \dots, q$$

Onde:

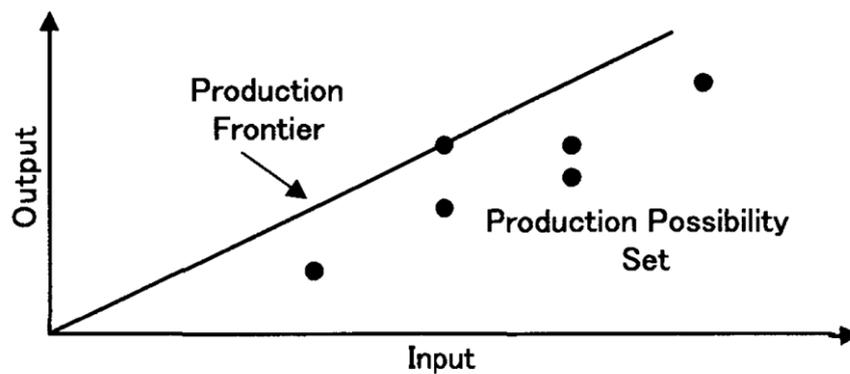
- i.  $O_{r0}$  e  $I_{i0}$  representam respectivamente os *outputs* e *inputs* da DMU mais eficiente (*benchmarking*);
- ii.  $O_{rj}$  e  $I_{ij}$ , por sua vez, representam os *outputs* e *inputs* da j-ésima DMU;
- iii.  $u_r$  e  $v_i$  são os pesos atribuídos a cada uma das variáveis do modelo, obtidas quando a função é otimizada;
- iv.  $p$  representa o número total de *outputs*,  $q$  representa o total de *inputs* e  $n$  o total de observações.

Basicamente, o modelo assume que uma função de produção representa o máximo de produto que pode ser gerado dado um nível de insumos, dado que o modelo acima é

orientado a *input*. Já no modelo orientado a *output*, a função objetivo passa a ser minimizar os *inputs* dado a restrição dos *outputs*.

“Ter retornos constantes de escala significa adotar a hipótese de que os *inputs* e *outputs* são proporcionais entre si, o que faz com que o formato da fronteira de eficiência do modelo CCR seja uma reta com um ângulo de 45°.” (CAMIOTO; REBELATTO; ROCHA, 2014).

Figura 1: Fronteira de Possibilidade de Produção: Modelo CCR



Fonte: Cooper, Seiford e Tone (2007).

O modelo BCC, apresentado por Banker, Charnes e Copper (1984) pressupõe que os três tipos de retornos de escala são possíveis.

$$\text{Max}_{u,v} \sum_{r=1}^p u_r O_{r0} - u_0$$

Sujeito às restrições:

$$\sum_{i=1}^q v_i I_{i0} = 1$$

$$\sum_{r=1}^p u_r O_{rj} - \sum_{i=1}^q v_i I_{ij} - u_0 \leq 0; \quad j = 1, \dots, n;$$

$$u_r, v_i \geq 0$$

O que distingue um modelo do outro é a presença de  $u_0$ , se:

$u_0 = 0$ ; retornos constantes de escala (modelo CCR).

$u_0 < 0$ ; retornos crescentes de escala.

$u_0 > 0$ ; retornos decrescentes de escala.

### 2.2.2 Índice de Malquist

O índice de Malmquist mede a variação da produtividade em períodos diferentes e foi introduzido por CAVES (1982). No trabalho de FÄRE (1994), o método de Malmquist-DEA tornou-se o mais aplicado para calcular essa variação.

O índice é calculado através da média geométrica de dois índices, onde o primeiro utiliza como referência a fronteira do período  $t$  e o segundo a fronteira do período  $t+1$ . Um valor de  $M_0$  maior que 1 indica um crescimento ou evolução da Produtividade Total dos Fatores (PTF) entre os períodos  $t$  e  $t+1$ , enquanto um valor menor que 1 indica um declínio. (LOBO *et al*, 2009).

O índice de Malmquist orientado a *input* é dado por:

$$M_0 = \left[ \frac{D_0^t(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})}{D_0^t(x_0^t, y_0^t)} \frac{D_0^{t+1}(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})}{D_0^{t+1}(x_0^t, y_0^t)} \right]^{1/2}$$

Decompondo o índice acima, podemos separar a variação da produtividade em dois termos:

$$M_o(x_{t+1}, y_{t+1}, x_t, y_t) = \frac{d_o^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}{d_o^t(x_t, y_t)} * \left[ \left( \frac{d_o^t(x_{t+1}, y_{t+1})}{d_o^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})} \right) * \left( \frac{d_o^t(x_t, y_t)}{d_o^{t+1}(x_t, y_t)} \right) \right]^{1/2}$$

O primeiro termo seria a chamada “mudança técnica”, que é a razão fora dos parênteses que mede a mudança na eficiência. Já o segundo é chamado de “Mudança na eficiência tecnológica” e se encontra dentro dos parênteses que mede a mudança na fronteira tecnológica entre dois períodos avaliados. Esses índices são importantes por permitirem analisar se um aumento na eficiência de um período para o outro tem relação com o aumento da produtividade ou ao comportamento da fronteira de produção.

### 2.3 Eficiência do Setor De Energia

O trabalho de ANDRADE E SANT’ANNA (2014) foca em analisar a evolução da eficiência de energia elétrica, mais precisamente em sua transmissão, durante 2002 – 2008. O trabalho contextualiza, primeiramente, a questão da regulação da transmissão de energia pela ANEEL e seus métodos para medir eficiência, e apresenta as principais informações sobre o

setor no Brasil.

A metodologia usada para fazer a análise proposta foi através do modelo DEA utilizando o índice de *Malmquist*, a primeira variável (custo total atualizado) é considerada como insumo, e as quatro restantes são os produtos: Comprimento de rede (km), Capacidade de Transformação (MVA), Quantidade de Transformadores e quantidade de Módulos. Todas as variáveis utilizadas no trabalho foram também utilizadas pela ANEEL (2009) e há uma comparação com o método utilizado pela ANEEL para analisar a eficiência, mas de uma maneira distinta.

A diferença é a utilização do retorno variável de escala ao invés do retorno não decrescente de escala, e da proposição da utilização do índice de *Malmquist* para avaliar a evolução da eficiência ao invés da inserção de uma segunda fase baseada em regressão múltipla para inserir variáveis ditas ambientais. As empresas que participaram da análise foram: FURNAS, CTEEP, CHESF, ELETRONORTE, ELETROSUL, CEMIG, COPEL e CEEE.

Os resultados obtidos mostram que CTEEP e COPEL, apresentaram acréscimo na eficiência no período analisado, já as empresas CEMIG, CHESF e FURNAS mostraram-se com eficiência reduzida, e ELETRONORTE E ELETROSUL não apresentaram variação significativa na eficiência. Já a CEEE teve uma evolução positiva na eficiência.

No trabalho de Camioto, Rebelatto e Rocha (2014) o principal objetivo foi medir e analisar o índice de eficiência energética total de fatores nos países que compõem o BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul), e com isso obter informações de países *benchmark* dentro do grupo BRICS e também ter uma perspectiva de como o Brasil se encontra nesse cenário. A metodologia adotada no trabalho teve como base a ferramenta de Análise Envoltória de Dados (DEA), por meio do modelo SCM variante e da análise de janelas, considerando a maximização dos *outputs* e minimização dos *inputs* simultaneamente.

Na análise as variáveis de *input* utilizadas foram: força de trabalho, formação bruta de capital fixo e consumo energético; e as de *output* foram: PIB (*output* desejável) e emissão de CO<sub>2</sub> (*output* indesejável). Os dados para tal análise foram retirados do Banco Mundial e compreende os anos de 1993-2010. Adotou-se o modelo SBM Variante, pois ele fornece os valores que os países devem aumentar ou diminuir para obter maior eficiência, e a Análise de Janelas porque é um importante meio para se contornar o problema da baixa quantidade de DMUs (Unidades Tomadoras de Decisão).

Os resultados obtidos foram que o Brasil é o mais eficiente em diminuir os *inputs* e

*outputs* indesejáveis e aumentar o PIB, seguido de África do Sul e China. Já no que se refere à emissão de CO<sub>2</sub>, a África do Sul e o Brasil foram os que se mostraram mais eficientes. Na análise do EETP, o Brasil e África do Sul ocupam o topo do *ranking*. Portanto, concluiu-se que Brasil apresentou a maior eficiência total de fatores (99,36%) e se apresentou como *benchmark* para os demais países, apresentando os melhores resultados em todas as análises.

Já o trabalho de Martins *et al* (2014) buscou analisar a eficiência econômica relativa das distribuidoras de energia elétrica no ano de 2012, com uma abordagem quantitativa através da DEA. Os objetivos específicos do trabalho foram: determinar as variáveis de insumos (inputs) e produtos (outputs); determinar os índices de eficiência econômica relativa das unidades analisadas; identificar os determinantes da eficiência econômica relativa e identificar as empresas de referência para as ineficientes por meio dos *benchmarks*.

Foram utilizadas 18 empresas listadas na Bolsa de Valores e as variáveis utilizadas foram: Ativo Total, Ativo Imobilizado, Total de Empregados, EBITDA por Cliente, Resultado do Período, Receita Líquida. Após a análise conclui-se que sete empresas (BANDEIRANTE, COELBA, COSERN, CPFL-PAULISTA, CPFL-Piratininga, ENERSUL e RGE) alcançaram a fronteira de eficiência e as demais empresas foram consideradas ineficientes (AMPLA, AES Sul, CELPA, CEMAT, COELCE, CEMAR, CEEE-D, ELEKTRO, ELETROPAULO, ESCELSA, LIGHT).

Um ponto observado pelo autor é que as empresas ineficientes estão localizadas, em sua maioria, na região nordeste. Após essa observação foi analisado, por meio de testes, se essa era uma hipótese verdadeira, porém os resultados indicaram que a região em que a empresa está localizada, a densidade populacional, o tamanho da área de concessão e da extensão da rede não se mostraram relevantes para a determinação da eficiência das empresas. E a empresa Bandeirante foi o *benchmark* para o maior número de empresas.

### **3 METODOLOGIA**

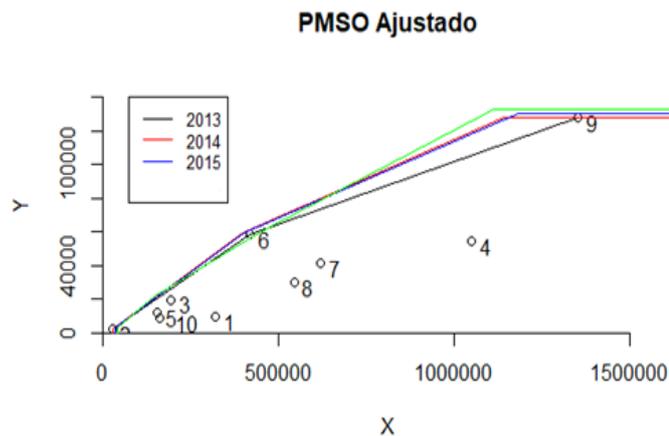
Para analisarmos a eficiência das empresas do setor de energia elétrica brasileiro, utilizamos os dados de dez empresas, nos anos de 2013, 2014 e 2015 do ramo de energia elétrica, são elas: CEEE, CEMIG, COPEL, CELG, CHESF, Eletronorte, CGT Eletrosul, CTEEP, TAESA e FURNAS. Por meio do modelo DEA será possível alcançar o objetivo do trabalho, como será visto na seção de resultados.

A escolha das variáveis foi feita por meio da análise do setor, e de estudos na área. As variáveis de *input* foram: PMSO Ajustado, Extensão de rede < 230 KV, Unidades de TR e RT

e módulos dos demais equipamentos, Módulos de Manobra. A variável “PMSO ajustado” se refere ao somatório das Despesas de Pessoal, Materiais, Serviços de Terceiros e Outros (inclui Amortização e Depreciação) e é a de maior influência para a análise.

Segue abaixo o comportamento dessas variáveis;

Gráfico 2: PMSO ajustado



Fonte: Elaborado pelo autor

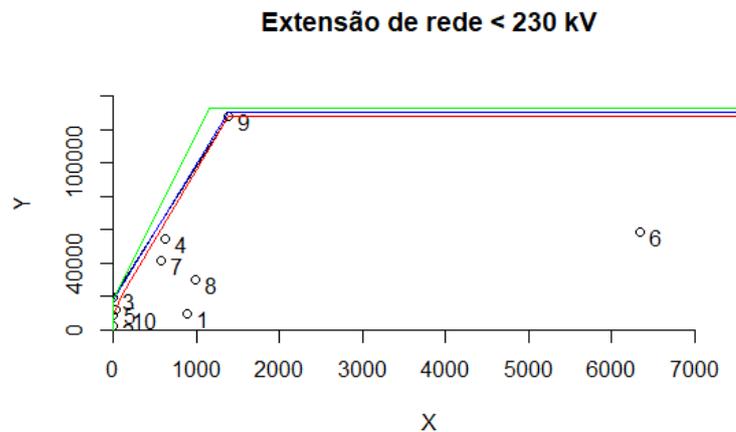
Onde,

X: Média do PMSO ajustado durante os anos analisados.

Y: Média das eficiências durante os anos analisados.

CEEE = 1, CELG = 2, CEMIG = 3, CHESF = 4, COPEL = 5, CTEEP = 6, ELETRONORTE = 7, ELETROSUL = 8, FURNAS = 9, TAESA = 10.

Gráfico 3: Extensão de rede



Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme os gráficos sugerem, os retornos são variáveis, mas depois de realizado o teste de Silmar and Wilson (2002) não se pode rejeitar a hipótese nula de que os retornos

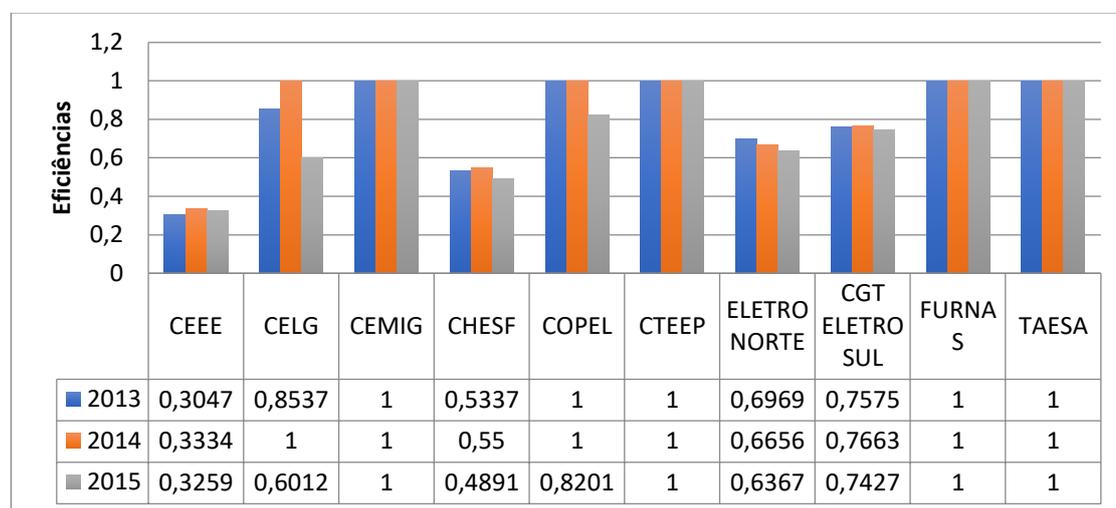
possam ser constantes. Com isso o modelo foi estimado considerando retornos constantes e orientado a *inputs* para todo o período analisado. Será o aplicado o Índice de Malmquist e realizada uma análise comparativa entre as áreas de atuação das DMUs.

#### 4 RESULTADOS E ANÁLISE

Nesta seção serão apresentados todos os resultados obtidos após estimação do modelo DEA-CCR orientado a *inputs*. Com isso será possível encontrar as empresas mais eficientes que serão *benchmark* para as outras, assim como analisar se há alguma relação entre as empresas de acordo com sua área de atuação (geração, transmissão e distribuição).

Temos abaixo o gráfico que mostra a eficiência ano a ano de cada empresa.

Gráfico 4: Eficiência das empresas reguladas de 2013, 2014 e 2015.



Fonte: Elaborado pelo autor

Com base nos dados temos a seguinte análise descritiva:

Tabela 1: Análise descritiva dos dados

2013					
Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo
0.3047	0.7121	0.9269	0.8147	1	1
2014					
Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo
0.3334	0.6908	1	0.8315	1	1
2015					
Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo
0.3259	0.6101	0.7814	0.7616	1	1

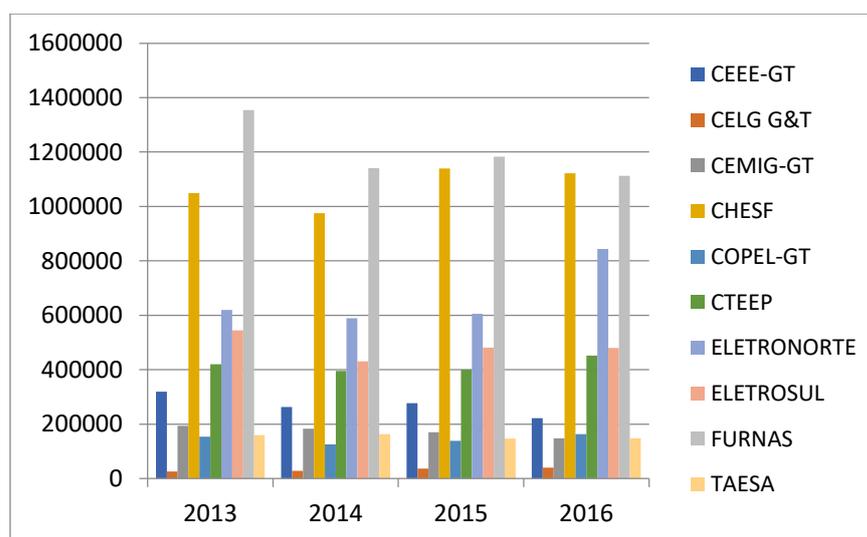
Fonte: Elaborado pelo autor

A partir desses resultados podemos definir quais foram as empresas eficientes segundo o DEA. As empresas CEMIG, COPEL, CTEEP, FURNAS e TAESA foram as que se

mostraram eficientes no período analisado, alcançando a eficiência de 100%. Já as ineficientes foram: CELG, CHESF, COPEL, Eletronorte e CGT Eletrosul, exatamente 50% das DMUs foram eficientes.

Analisando separadamente os períodos, identificamos que 2015 foi o pior ano para a maioria das empresas, como o modelo é orientado a *input* e a variável PMSO ajustado é a de o maior impacto sobre os dados, ela teve um grande peso nessa queda. Tomando como exemplo a empresa CELG do ano de 2014 para 2015 teve um aumento de 29,53% no valor da variável, ver Gráfico 5: *Variável PMSO ajustado*, que significa que a empresa aumentou a despesa no ano o que pode ter causado a queda no nível de eficiência. Já a empresa COPEL que nos dois primeiros anos se mostrou eficiente, teve uma queda de 18% no nível de eficiência no ano de 2015.

Gráfico 5: Variável PMSO ajustado



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em 2012 houve a implantação da Medida Provisória nº 579, que se transformou na Lei nº 12.783, de janeiro de 2013, essa medida dispôs das concessões de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, assim como a redução de alguns encargos do setor. A medida causou um forte impacto no setor, principalmente para as empresas estatais que sofreram com o fim do RGR que era uma importante fonte de financiamento para as empresas que não possuíam financiamento do BNDES. Como o presente trabalho analisa a eficiência nos anos seguintes da medida, a ineficiência de algumas empresas pode ter sido causada por causa dessa implantação. A CEEE, por exemplo, é uma empresa estatal e se mostrou a mais ineficiente da amostra, faz-se necessário uma análise mais detalhada, mas o presente trabalho não se limitará a investigar os impactos da implantação da MP.

Essa mudança de eficiência de um período para o outro pode ser melhor analisado se aplicarmos o índice de Malmquist, segue abaixo os resultados dessa aplicação:

Tabela 2: Dinâmica da evolução da eficiência com base no índice Malmquist

Empresas	Índice Malmquist		Índice de Mudança Técnica		Índice de Eficiência	
	2013-2014	2014-2015	2013-2014	2014-2015	2013-2014	2014-2015
<b>CEEE</b>	1,017	0,986	1,049	0,976	0,970	1,010
<b>CELG</b>	0,994	0,867	0,994	0,867	1,000	1,000
<b>CEMIG</b>	0,000	1,110	0,000	1,110	1,000	1,000
<b>CHESF</b>	1,079	1,291	0,884	1,108	1,221	1,166
<b>COPEL</b>	1,047	1,120	1,047	1,247	1,000	0,898
<b>CTEEP</b>	1,066	1,003	1,066	1,003	1,000	1,000
<b>ELETRONORTE</b>	1,055	1,027	1,109	1,061	0,951	0,967
<b>CGT ELETROSUL</b>	1,006	0,964	1,004	0,998	1,002	0,966
<b>FURNAS</b>	* <sup>3</sup>	*	*	*	1,000	1,000
<b>TAESA</b>	1,088	*	1,088	*	1,000	1,000

Fonte: Elaboração do autor

No índice de Malmquist no período 2013-2014 houve sete unidades com valor superior a 1,0, ou seja, a produção dessas empresas aumentou nesse período. Já no período 2014-2015 apenas 50% das empresas possuíam valor superior a 1,0. Já na análise do índice de Mudança técnica com relação ao índice de Malmquist, houve igualdade na eficiência em cinco empresas, indicando que a produtividade se manteve constante, e aumento em duas no período 2013-2014. Em 2014-2015, seis empresas tiveram aumento ou igual com relação ao Malmquist. O índice de eficiência que determina se a DMU se afastou da fronteira de produção indica que, das empresas eficientes apenas a COPEL se afastou da fronteira eficiente no período 2014-2015.

Apesar de todas as empresas analisadas serem do setor de energia elétrica, a área de atuação delas pode ser diferente, elas se dividem em geração, transmissão e distribuição, neste segundo momento será realizada a análise comparativa das empresas, dividindo-as em três grupos.

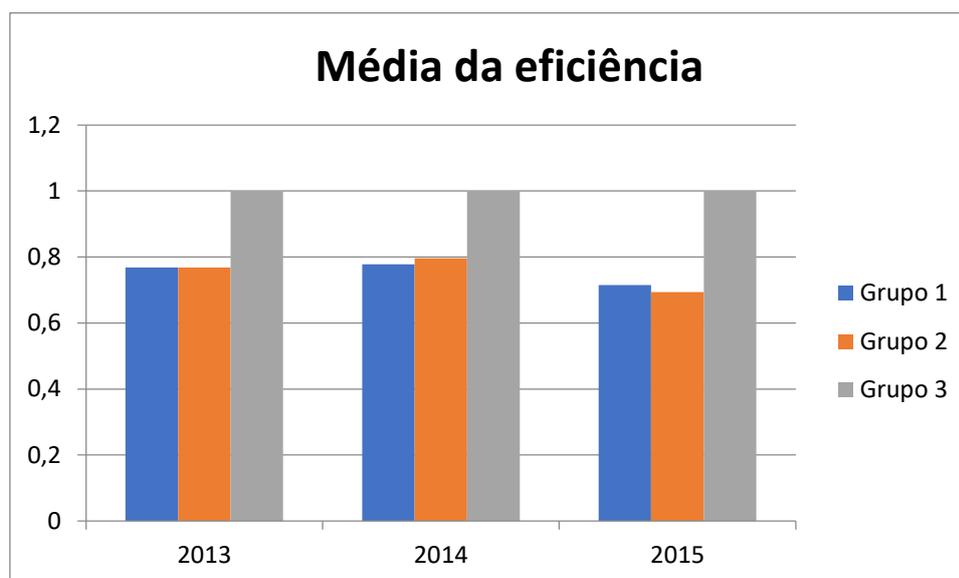
Grupo 1: Geração, transmissão e distribuição. Empresas: CEEE, CEMIG, COPEL.

Grupo 2: Geração e transmissão. Empresas: CELG, CHESF, Eletronorte, CGT Eletrosul e FURNAS.

Grupo 3: Transmissão. Empresas: CTEEP, TAESA.

<sup>3</sup> Não é possível determinar o valor, pois o modelo é inviável na projeção dos dados para o período.

Gráfico 6: Média da eficiência anual por grupo.



Fonte: Elaborado pelo autor

Observamos que o único grupo eficiente é o três, que atua apenas na área de transmissão, o que pode ser um diferencial, já que é um grupo que se especializa em apenas uma área de atuação. É importante ressaltar que os grupos não possuem as mesmas quantidades de DMUs o que pode enviesar a análise.

Olhando analiticamente os grupos podemos analisar a frequência de empresas eficientes por ano.

Tabela 3: Frequência de empresas por ano e grupo.

	2013	2014	2015
<b>Grupo 1</b>	2	2	1
<b>Grupo 2</b>	1	2	1
<b>Grupo 3</b>	2	2	2

Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme Tabela 3, o Grupo 2 apesar de ser o maior grupo contendo cinco empresas é o que possui a menor frequência de empresas eficientes por ano. Já o Grupo 3, que só possui duas empresas, é o único grupo eficiente em todos os anos. O Grupo 1 possui a empresa “mais ineficiente” que é a CEEE, dado que as outras duas empresas, praticamente, são eficientes na média em todos os anos, não podemos inferir que a área de atuação é determinante para o nível de eficiência de uma empresa, seria necessário uma base maior em um maior período para analisar o impacto dessa variável.

## 5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo mensurar a eficiência das empresas de energia elétrica no Brasil através do modelo DEA, considerando o modelo CCR proposto por Charnes, Copper e Rhodes, que pressupõe retornos constantes de escala. O período utilizado foi de 2013 a 2015 para dez empresas do setor que atuam em diferentes áreas como: geração, transmissão e distribuição.

A partir dos resultados apresentados acima, podemos estabelecer quais as empresas mais eficientes no período analisado, são elas: CEMIG, FURNAS, TAESA, CTEEP e COPEL, sendo a última ineficiente apenas no último ano analisado. Como a análise teve dois momentos podemos estabelecer o *benchmark* para cada momento, no primeiro, onde a eficiência foi analisada entre as dez empresas, temos: CEMIG, FURNAS, TAESA, CTEEP que alcançaram a fronteira de eficiência em todos os anos analisados como *benchmark*. Se estabelecermos o *benchmark* por grupo de atuação terá a seguinte distribuição:

Grupo 1: CEMIG

Grupo 2: FURNAS

Grupo 3: CTEEP e TAESA, sendo esse grupo o *benchmark* para os demais.

Podemos concluir que o trabalho foi satisfatório em alcançar o seu objetivo inicial, que era analisar a eficiência das empresas e realizar uma análise comparativa pra encontrar o *benchmark*.

Para trabalhos futuros, indicamos analisar o impacto na eficiência, da implantação da Medida Provisória nº 579, de 11 de setembro de 2012, considerando períodos anteriores e posteriores a medida, assim como o impacto da implantação da bandeira tarifária em 2015 para os anos seguintes. Seria interessante também, analisar se a especialização de uma empresa em uma determinada área, como é o caso do Grupo 3, pode impactar na sua eficiência.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, G. N.; SANT'ANNA, A. P. **Análise da evolução da eficiência de empresas de transmissão de energia elétrica.** Janeiro 2011. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/265851713>>. Acesso em: 04 nov. 2019.

ANEEL. **Benchmarking dos custos operacionais das concessionárias de transmissão de energia elétrica.** Nota Técnica nº 396/2009 - SRE/ANEEL, 2009.

ANEEL. **Revisão periódica das receitas anuais permitidas das concessionárias de transmissão de energia elétrica: custos operacionais regulatórios.** Nota Técnica nº 160/2017-SRM/ANEE, 2017. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2017/041/documento/nota\\_tecnica\\_n%C2%BA\\_160.2017-srm.aneel.pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2017/041/documento/nota_tecnica_n%C2%BA_160.2017-srm.aneel.pdf)>. Acesso em 17 nov. 2019.

BESSTREMYANNAYA, G. **Managerial performance and cost efficiency of Japanese local public hospitals.** Health Economics. Vol.20(S1), pp.19–34, 2011

BESSTREMYANNAYA, G. **The impact of Japanese hospital financing reform on hospital efficiency.** Japanese Economic Review. Vol.64, No.3, pp.337–362, 2013.

BESSTREMYANNAYA G.; Simm J.; Golovan S. **Robust non-parametric estimation of cost efficiency with an application to banking industry.** Working paper, 2014.

BOUERI, Rogério. Modelos não paramétricos: Análise Envoltória de Dados (DEA). In: BOUERI, Rogério; ROCHA, Fabiana. **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO GASTO PÚBLICO E MENSURAÇÃO DA EFICIÊNCIA.** Brasília, Secretaria do Tesouro Nacional, 2015. cap. 8, p. 269-305.

BRASIL. **Medida Provisória Nº579, de 11 de setembro de 2012.** Dispõe sobre as concessões de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, sobre a redução dos encargos setoriais, sobre a modicidade tarifária, e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/mpv/579.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/mpv/579.htm)>. Acesso em: 23 out. 2020.

BRASIL. Lei nº 12.783, de 11 de janeiro de 2013. **Dispõe sobre as concessões de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, sobre a redução dos encargos setoriais e sobre a modicidade tarifária.** Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2013/lei/112783.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/112783.htm). Acesso em 23 out, 2020.

CAMIOTO, F. C.; REBELATTO, D. N.; ROCHA, R. T. **Análise da eficiência energética nos países do BRICS: um estudo envolvendo a Análise por Envoltória de Dados,** 2014.

CAVES, D.W., CHRISTENSEN, L.R. e DIEWERT, W.E. (1982) **The economic theory of index numbers and the measurement of input, output and productivity.** *Econometrica*, v. 50, n. 6, p. 1393-1414, 1982.

CHARNES, A., COOPER, W., e RHODES, E. (1978). **Measuring the efficiency of decision marking units.** *European Journal of Operational Research*, v. 2, n. 6, 429-444.

COELLI, T.; RAO, D.S.P. and BATTESE, G.E. **An introduction to efficiency and productivity analysis**. Kluwer Academic, Boston, 1998.

COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K. **Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with models, Applications, References and DEA-Solver Software**. 2<sup>o</sup> edição. ed. [S.l.]: Springer, 2007.

FARE, R., GROSSKOPF, S. e LOVELL, C.A.K. **Production frontiers**. Cambridge: Cambridge University, 1994. 295 p

FARREL, M.J. **The measurement of productive efficiency**. Journal of the Royal Statistical Society, Series A, CXX, Part 3, 253-290, 1957.

JACOB, F. E.; BRAGANÇA, G. G. F. de. **Eficiência Financeira das Distribuidoras de Energia no Período de 2011 a 2014: uma análise comparativa usando DEA**. TD 2278. ed. Rio de Janeiro: IPEA, março 2017. Disponível em: <[https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=29547](https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=29547)>. Acesso em: 04 nov. 2019.

LINS M. P. E.; MEZA L.A. **Análise Envoltória de Dados e Perspectivas de Integração no Ambiente de Apoio à Decisão**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ; 2000.

LOBO, M., *et al.* **Impacto da reforma de financiamento de hospitais de ensino no Brasil: Índice de Malmquist/DEA**. Revista de Saúde Pública, vol. 43, n<sup>o</sup> 3, junho de 2009, p. 437–45. DOI.org (Crossref), doi:10.1590/S0034-89102009005000023.

MARTINS, V. Q. *et al.* **Avaliação da eficiência econômica das distribuidoras brasileiras de energia elétrica por meio da análise envoltória de dados (DEA)**. 2014.

O'Fried, H. and Lovell, C.A.K. and Schmidt, S.S. **The Measurement of Productive Efficiency and Productivity Growth**. eds. Oxford University Press, 2008.

PINDYCK, R.S.; RUBINFELD, D.L. **Microeconomia**. São Paulo: Makron Books, 1999

RODRIGUES, J. A. S. **Análise da eficiência técnica dos aeroportos concedidos no Brasil no segundo grupo de leilões utilizando o DEA**. 018. 36p. Monografia (Graduação em Finanças) – Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2018.

SANTOS, A.; CASA NOVA, S. P. de C. **Proposta de um modelo estruturado de análise de demonstrações contábeis**. RAE-eletrônica, São Paulo, v. 4, n. 1, jan./jul., 2005.

SILMAR, L. and WILSON, P. **Non-parametric tests of returns to scale**. *European Journal of Operational Research*. Vol.139, No.1, pp.115–132, 2002.

SILMAR, L. and WILSON, P. **Inference by the m out of n bootstrap in nonparametric frontier models**. *Journal of Productivity Analysis*. Vol.36, pp.33–53, 2011.

SILVERMAN, B.W. 1986. **Density Estimation for Statistics and Data Analysis**. Chapman and Hall, New York.

**SOUSA, V. B. de. Aplicação do modelo DEA na análise de eficiência dos portos do nordeste do Brasil.** 2018. 39p. Monografia (Graduação em Finanças) – Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2018.

**ZHU, J. Multi-factor Performance Measure Model with Application to Fortune 500 Companies.** European Journal of Operational Research. 123(1); 105-124, 2000.