



REVISTA AMBIENTE CONTÁBIL

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

ISSN 2176-9036

Vol. 10. n. 1, jan./jun. 2018

Sítios: <http://www.periodicos.ufrn.br/ambiente>

<http://ccsa.ufrn.br/ojs/index.php?journal=contabil>

<http://www.atena.org.br/revista/ojs-2.2.3-06/index.php/Ambiente>

Artigo recebido em: 10.07.2017. Revisado por pares em: 03.09.2017. Reformulado em: 26.09.2017. Avaliado pelo sistema double blind review.

ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS NA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA TÉCNICA DAS DISTRIBUIDORAS DE ENERGIA ELÉTRICA BRASILEIRAS: UMA ABORDAGEM COMPARATIVA ENTRE O ÍNDICE DE MALMQUIST E *WINDOW ANALYSIS*

DATA ENVELOPMENT ANALYSIS IN THE ASSESSMENT OF THE TECHNICAL EFFICIENCY OF BRAZILIAN DISTRIBUTORS OF ELECTRIC ENERGY: A COMPARATIVE APPROACH BETWEEN MALMQUIST'S INDEX AND THE WINDOW ANALYSIS

ANÁLISIS ENVOLTORIO DE DATOS EN LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉCNICA DE LAS EMPRESAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA BRASILEÑAS: UNA VISIÓN COMPARATIVA ENTRE LOS INDECES DE MALMQUIST Y WINDOW ANALYSIS

Autores

Atelmo Ferreira de Oliveira

Doutorando em Ciências Contábeis (UnB/UFPB/UFRN)

Professor Adjunto do Departamento de Ciências Contábeis da UFRN

Endereço: Rua Nísia Floresta, 51- CEP: 59.151-240 – Parnamirim, RN, Brasil. Telefone: (84) 3204-5051

Identificadores (ID):

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5033606012933010>

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8861-0724>

E-mail: atelmo@uol.com.br

Jorge Katsumi Niyama

Doutor em Controladoria e Contabilidade pela Universidade de São Paulo – USP - Pós-doutorado pela University of Otago (2005) e pela Universidade de Coimbra e no Instituto

Universitário de Lisboa/ISCTE (2015) - Professor titular da Universidade de

Brasília – UnB - Professor do Programa Multi-institucional de Pós-Graduação da UnB, UFPB e UFRN. Universidade de Brasília - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade,

Departamento de Ciências Contábeis e Atuariais. Endereço: Campus Universitário Darcy

Ribeiro - Asa Norte - Prédio da FACE – 2º Andar - Salas B1-02 - Brasília, DF – Brasil

CEP: 70910-900 - Telefone: (61) 3107-0812; (61) 3107-0807

Identificadores (ID):

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8414181237081323>

Research Gate: https://www.researchgate.net/profile/Jorge_Niyama

E-mail: jkatsumi@unb.br

Atelmo Ferreira de Oliveira, Jorge Katsumi Niyama, Renato Henrique Gurgel Mota e Arlindo Nonato Morais de Souza

Renato Henrique Gurgel Mota

Doutorando em Ciências Contábeis (UnB/UFPB/UFRN). Professor da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA Endereço: Rua Francisco Mota, 572, Campus Leste, Bairro Costa e Silva - CEP: 59.600-971 – Mossoró, RN – Brasil- Telefone: (84) 3317-8556

Identificadores (ID):

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6602112968915730>

E-mail: renatohenriq@gmail.com

Arlindo Nonato Morais de Souza

Mestrando em Ciências Contábeis (UFRN). Endereço: Caixa Postal 1524 – Campus - Universitário – Lagoa Nova - CEP: 59.078-900 – Natal, RN – Brasil - Telefone: (84) 3215-3486.

Identificadores (ID):

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5746515943476701>

E-mail: nonatojunior92@gmail.com

RESUMO

O setor elétrico exerce um papel relevante no cenário econômico, sendo responsável pela prestação de serviços para diversos segmentos da economia, envolvendo consumidores industriais, residenciais, comerciais, rurais e o poder público. Para que essa prestação de serviço ocorra com qualidade é necessária uma remuneração justa que possa estabelecer a modicidade tarifária. Na determinação da tarifa, a eficiência das distribuidoras no período que antecede ao processo de revisão tarifária é avaliada. Esta pesquisa tem como objetivo averiguar se as distribuidoras de energia elétrica apresentaram eficiência técnica no período de 2003 a 2013, tendo como base as métricas do índice de Malmquist e a *Window Analysis*. Visando atender ao objetivo, será feita uma comparação entre os dois métodos utilizando-se a Análise Envoltória de Dados – DEA, considerando como *input* os gastos com *opex* (custos gerenciáveis) e a extensão de rede e como *output* o mercado (venda de energia). O DEA Malmquist e a *Window Analysis* foram direcionados ao *input* utilizando-se o modelo do retorno variável de escala – VRS, denominado de BCC. Os dados foram extraídos de documentos disponibilizados no sítio da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. A contribuição da pesquisa ocorre em função da apresentação de um modelo alternativo ao índice de Malmquist para mensuração da eficiência técnica do setor elétrico brasileiro. Os resultados revelam que 32,79% das distribuidoras apresentaram-se eficientes, quando utilizada a metodologia Malmquist e 24,59% utilizando-se a metodologia *Window Analysis*. Do total de 61 distribuidoras, cinco empresas, CPEE, CSPE, EFLJC, JAGUARARI e RGE, foram eficientes para os dois modelos no período pesquisado, ou seja, 8,20% do total. Conclui-se, portanto, a existência de uma divergência acentuada entre os dois modelos quando efetuada uma análise comparativa entre os *rankings* de eficiências.

Palavras-chave: Distribuidora. Energia Elétrica. Eficiência.

ABSTRACT

The electrical branch plays an important role in the economic scenario, and is responsible for attending the most varied economic sectors, which involves industrial, residential, commercial and rural consumers, and the public power. It is necessary a fair remuneration capable of

Atelmo Ferreira de Oliveira, Jorge Katsumi Niyama, Renato Henrique Gurgel Mota e Arlindo Nonato Morais de Souza

establishing affordability to guarantee the quality of the provision of this service. Price determination depends on the efficiency of the distributors in the period anticipating the process of tariff review. The objective of this survey is to evaluate if the distributors of electric energy have presented technical efficiency in the period 2003-2013, based on the metrics of the Malmquist's Index and the Window Analysis. With the aim of addressing this objective, a comparison between the both methods will have place using the Data Envelopment Analysis-DEA, considering as input the expenses with opex (management costs) and the network extension, and as output the Market (energy sale). Malmquist DEA and Window Analysis have been directed toward the input with the aid of the variable return scale-VRS model, named BCC. The data have been extracted from documents available in the site of the Electric Energy National Agency-ANEEL. The research contribution has place in line with the presentation of an alternative model to Malmquist Index to measure the technical efficiency of Brazil's electric sector. The data analysis reveals that 32.79% distributors have proved effective, when Malmquist methodology is tested, and 24.59%, when one applies the Window Analysis methodology. Five out 61 companies – CPEE, CSPE, EFLJC, JAGUARARI and RGE proved to be efficient relatively both investigated models, that is, 8.20%. The conclusion is that a marked divergence between the two models occurs when one assesses their efficiency rankings in a comparative manner.

Keywords: Distributor. Electric Energy. Efficiency.

RESUMEN

El sector eléctrico tiene un papel relevante en el escenario económico, siendo responsable por la prestación de servicios para muchos segmentos de la economía, envolviendo consumidores industriales, residenciales, comerciales, rurales y el poder público. Para que la prestación del servicio sea de calidad es necesaria una remuneración justa y que restablezca la modicidad de las tarifas. En la determinación de la tarifa, la eficiencia de las distribuidoras en el periodo que antecede al proceso de revisión tarifaria es evaluada. Esta investigación tiene el objetivo de averiguar se las distribuidoras de energía eléctrica presentaran eficiencia técnica en el periodo comprendido entre 2003 y 2013, tomando por base las métricas del índice de Malmquist y del Window Analysis. Con tal objetivo, los dos métodos serán comparados utilizándose el Análisis Envoltorio de Datos-DEA, y considerando como input los gastos con opex (costos gerenciales) y la extensión de red, y como output el mercado (venta de energía). El DEA Malmquist y el Window Analysis fueran direccionados a un input utilizándose el modelo del retorno variable de escala-VRS, denominado BCC. Los datos han sido extraídos de documentos disponibles en página Web de la Agencia Nacional de Energía Eléctrica-ANEEL. Os resultados revelaran que 32,79% de los distribuidores se han mostrado eficientes, cuando se utiliza la metodología Malmquist, y 24,59%, utilizándose la metodología Window Analysis. La contribución de la pesquisa ocurre junto con la presentación de un modelo alternativo al índice de Malmquist para la mensuración de la eficiencia técnica del sector eléctrico. De un total de 61 distribuidores, cinco empresas – CPEE, CSPE, EFLJC, JAGUARARI y RGE – fueran eficientes para los dos métodos en el periodo pesquisado, o sea, 8,20% del total. Concluyese, entonces, la existencia de un desacuerdo acentuado entre los dos modelos cuando se hace un análisis comparativo entre los rankings de eficiencias.

Palabras claves: Distribuidora. Energía Eléctrica. Eficiencia.

1 INTRODUÇÃO

O desempenho das distribuidoras de energia elétrica tem sido objeto de atenção em virtude de sua relevância no processo de revisão tarifária para determinação das tarifas de energia elétrica.

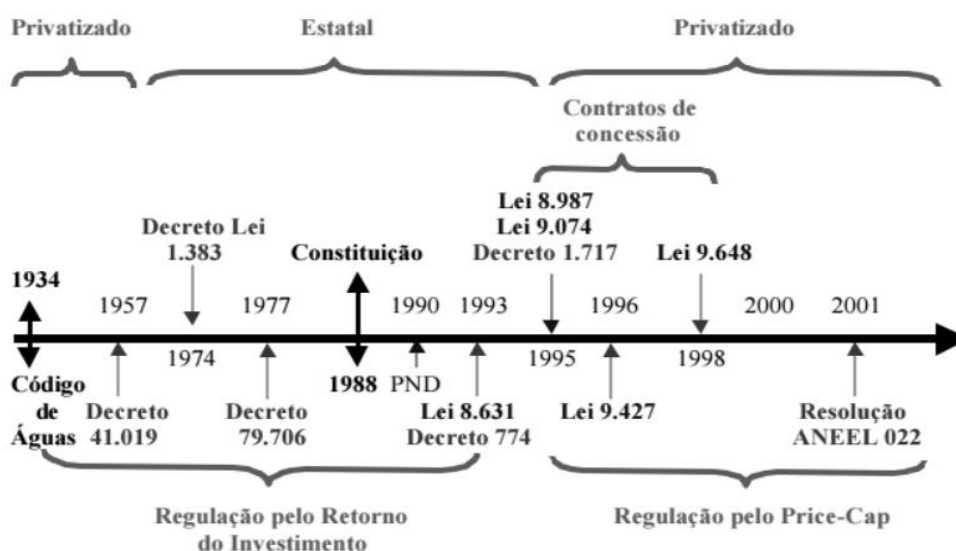
O setor elétrico exerce um papel relevante no cenário da infraestrutura. Essa relevância decorre das características que envolvem o setor. Características como economia de escala, necessidade de vultoso montante de investimento para formação dos ativos e, sobretudo, pelo produto gerado, um bem público, essencial para o desenvolvimento da economia.

O setor passou por profundas reformas ao longo do tempo, principalmente motivadas pela falta de recursos públicos em novos projetos de investimentos. Inicialmente, apenas a União apresentava condições de financiar os investimentos necessários, que em alguns momentos poderiam provocar desequilíbrio financeiro ou atraso em obras essenciais para atender a demanda por energia elétrica.

O ápice das reformas ocorreu com a promulgação da Constituição Federal de 1988. Na carta Magna foi elaborado o modelo que deveria ser implementado para o setor elétrico brasileiro. O ponto crucial foi a determinação do processo de privatização do setor, a começar pela área de distribuição (CASTRO; ROSENTAL, 2017).

As principais alterações ocorridas no setor até a promulgação do novo modelo em 2004 são apresentadas por Moritz (2001) na Figura 1.

Figura 1: Principais instrumentos legais x modelos de regulação do setor elétrico



Fonte: Moritz (2001, p. 68).

Com a implementação do novo modelo, as distribuidoras assinaram o contrato de concessão que estabelece as regras necessárias, para exploração dos serviços, bem como definição das premissas da tarifa necessária para os serviços.

O contrato de concessão exige que a distribuidora adote, na prestação de serviços, tecnologia adequada, e empregue equipamentos, instalações e métodos operativos que garantam níveis de regularidade, continuidade, eficiência, segurança, atualidade e generalidade. O contrato determina que as distribuidoras passarão por um processo de revisão tarifária,

Atelmo Ferreira de Oliveira, Jorge Katsumi Niyama, Renato Henrique Gurgel Mota e Arlindo Nonato Morais de Souza

provocando alterações na estrutura de custos e de mercado da distribuidora, buscando o estímulo à eficiência e a modicidade tarifária.

Visando buscar a modicidade tarifária, o modelo adotado no Brasil, tendo como base o contrato de concessão entre a distribuidora e o poder concedente, determina que o mecanismo de atualização das tarifas ocorre via o Índice de Reajuste Anual – IRT, Revisão Tarifária Periódica – RTP, a cada quatro anos, e quando necessário, a Revisão Tarifária Periódica Extraordinária – RTE.

A coordenação do processo das revisões tarifárias é de responsabilidade da ANEEL. No processo da RTP, uma variável relevante na determinação da tarifa é a mensuração da eficiência das distribuidoras. Para esse fim, a agência utiliza o índice de Malmquist.

Diante do exposto, surge a seguinte questão de pesquisa: **será que as distribuidoras de energia elétrica brasileiras foram eficientes na aplicação dos recursos disponíveis no período 2003 a 2013?** Assim, esta investigação tem como objetivo avaliar se as empresas distribuidoras de energia elétrica foram eficientes na aplicação dos recursos gerenciáveis no período de 2003 a 2013.

A justificativa da pesquisa encontra seu fundamento na possibilidade de confrontar a metodologia utilizada pela ANEEL com outras metodologias. Isso se faz necessário em virtude da relevância que a mensuração da eficiência tem para o processo de revisão tarifária.

Como a determinação da tarifa é fundamental para continuidade das distribuidoras e ao mesmo tempo pode causar um impacto social devido os diversos níveis dos players do mercado, a utilização de outros métodos para mensurar a eficiência pode auxiliar o regulador, bem como os regulados a um melhor entendimento do processo de revisão tarifária.

Não foi localizado nenhuma pesquisa, no cenário brasileiro, que realizasse uma comparação entre o modelo do Índice Malmquist e o *Window Analysis*, em função disso esta pesquisa torna-se relevante para dá início a novos trabalhos.

Para alcançar o objetivo proposto, a pesquisa foi estruturada em seis partes: a primeira composta por uma introdução; a segunda parte constituída do referencial teórico; a terceira, a metodologia a ser aplicada na pesquisa; a quarta parte compreende os resultados; a quinta parte traz as considerações finais e recomendações; a sexta parte contém as referências.

A pesquisa apresenta como limitações: a) O DEA será aplicado apenas no 1º estágio, não levando em conta as variáveis ambientais como chuvas, baixa densidades e topografia envolvendo as regiões de localização das distribuidoras; b) não será tratado possíveis heterogeneidade entre as distribuidoras. O trabalho contempla todas as distribuidoras que participam do processo da Revisão Tarifárias Periódica; e c) não foi levado em consideração variáveis associadas a risco regulatório.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O SETOR ELÉTRICO

O setor elétrico passou por alterações do controle de capitais ao longo do tempo. Até meados de 1957, o controle era essencialmente privado. O passo seguinte foi a estatização do setor, que perdurou até o ano de 1995. A partir de 1996, teve início o processo de privatização de parte do setor, dando origem a um novo marco que foi consolidado a partir de 2004.

Nesse novo cenário, o Estado concede a agentes do mercado o direito de exploração do serviço sob sua responsabilidade. Essa transição foi consubstanciada com a promulgação da Lei nº 8.987/95 – Lei das Concessões, que disciplinou esse ato. Essa lei estabelece os pressupostos básicos para se ter acesso ao direito à concessão:

- I – o regime das empresas concessionárias e permissionárias de serviços públicos;

Atelmo Ferreira de Oliveira, Jorge Katsumi Niyama, Renato Henrique Gurgel Mota e Arlindo Nonato Morais de Souza

- II – os direitos dos usuários;
- III – política tarifária; e
- IV – a obrigação de manter serviço adequado

Um dos elementos essenciais nesse processo é o estabelecimento de uma política tarifária capaz de remunerar de forma adequada os serviços prestados por esses agentes. O setor já havia passado por diversos mecanismos tarifários ao longo do tempo. Inicialmente, foram implementadas tarifas regionalizadas, seguidas da remuneração garantida, e, por último, antes da promulgação da lei, a tarifa pelo custo.

Com a promulgação da lei, o setor passou a adotar o regime tarifário baseado no *price-cap*.

O modelo básico do *price-cap* é apresentado por Araújo (2005, p.64):

O contrato de concessão fixa o preço e uma fórmula para os reajustes periódicos (geralmente anual) durante o período da concessão (mais precisamente, entre revisões efetuadas a intervalos de vários anos), a qual incorpora a inflação e um termo exprimindo metas plurianuais de ganhos de produtividade, fixada pelo regulador, mais eventualmente um termo representando choque específico à indústria, não levando em conta pelo índice de inflação. Esse esquema é conhecido pelo nome ‘IPC – X + Y’”

A ideia central do modelo é a adoção de um preço teto, sendo a distribuidora incentivada a aumentar seu nível de produtividade.

2.2 REGULAÇÃO

O setor elétrico brasileiro, a depender do segmento, enquadra-se em dois cenários específicos, o segmento da distribuição e transmissão de energia são monopólios naturais, enquanto a geração e comercialização seguem as regras de mercado.

No monopólio regulado, o preço é fixado pelo poder concedente, estabelecido em regras claras e factíveis pelo agente regulador. No caso brasileiro, pela ANEEL.

A regulação exerce um papel importante no âmbito das relações sociais e institucionais. A importância reside nas ocasiões que ocorrem conflitos entre os players de mercado. Esses conflitos residem, as vezes, em questões envolvendo novos projetos; esgotamentos dos investimentos; contradições envolvendo o regulador na tomada de decisões que possam beneficiar um agente em detrimento de outro (BOYER, 1990).

A teoria da regulamentação evolui ao longo do tempo e deu origem a novos ramos da regulação, entre eles o enfoque econômico. O enfoque econômico é alicerçado em três teorias:

- Teoria do Interesse Público;
- Teoria da Captura; e
- Teoria da competição entre grupos.

2.2.1 TEORIA DO INTERESSE PÚBLICO

Essa teoria preconiza a intervenção do órgão regulador sempre que o interesse público esteja sendo ameaçado.

A base conceitual foi lançada por Stigle (1971) e Posner (1974). Para Stigle, o público em geral deveria ser o foco da regulação. Por isso, deveria ser o alvo da proteção e dos benefícios proporcionados pela regulação; Na visão de Posner, a teoria era vista como um

Atelmo Ferreira de Oliveira, Jorge Katsumi Niyama, Renato Henrique Gurgel Mota e Arlindo Nonato Morais de Souza

conjunto de ideias com a finalidade de regulamentar as ações quando ocorrerem “falhas de mercado” que ameace o bem-estar social.

A teoria do interesse público encontra-se presente no cenário das revisões tarifárias, por ocasião da determinação das tarifas para o setor.

2.2.2 TEORIA DA CAPTURA

O foco da Teoria da Captura é centrado no agente regulador. A independência e autonomia do agente regulador é essencial no processo de revisão tarifária, um agente regulador capturado por qualquer player de mercado coloca em risco o processo de regulação.

No processo de revisão tarifária, a presença de grupos privados e poder público constitui um desafio para o agente regulador em mediar interesses conflitantes. A Teoria da captura prever o risco de o agente ser capturado por um grupo em detrimento do outro. (KHOTARI; RAMANNA; SKINNER, 2010).

2.1.3 TEORIA DA COMPETIÇÃO ENTRE GRUPOS

A referida teoria tem como premissa que a regulação é estruturada com o objetivo de atender às necessidades do grupo de interesse que maior pressão consegue exercer sobre o regulador e o legislador (CARDOSO *et al.*, 2009.).

Becker (1983) elenca como elementos que podem ser usados como instrumentos de pressão como sendo, subsídios, impostos ou qualquer regulamentação que tenha uma finalidade específica para determinado grupo.

Esse conflito deve ser administrado pelo agente regulador na ocasião do processo de revisão tarifária.

2.3 EFICIÊNCIA

A eficiência, em sua essência, é o resultado da comparação entre o que foi produzido, com os recursos disponíveis, com o que poderia ter sido produzido com os mesmos recursos (MELLO *et al.*, 2005)

A literatura distingue dois tipos de abordagem para mensuração da eficiência. A primeira é a econométrica (paramétrica), e a segunda a programação linear (não paramétrica). Existem evidências empíricas no setor elétrico sugerindo que o resultado da eficiência é sensível à abordagem escolhida (FILIPPINI; FARSI; FETZ, 2005).

Para a abordagem não paramétrica, o DEA tem sido utilizado no setor elétrico como ferramenta útil na mensuração da eficiência.

Farrell (1957), em seu trabalho seminal sobre eficiência, propôs que a eficiência de uma empresa consiste em dois componentes: o primeiro é a eficiência técnica, que tem como característica o esforço da entidade em obter o máximo do produto dado um conjunto de insumos; o segundo é a eficiência alocativa, que reflete a habilidade da entidade em usar os insumos em proporção ótima, dados os respectivos preços e produção tecnológica. As duas mensurações são combinadas, e o resultado é a eficiência econômica.

Para Mula e Jayamaha (2011), geralmente o termo eficiência refere-se à eficiência técnica. O objetivo é sempre a busca pelo máximo de *output* com uma quantidade de *inputs*.

A procura por uma eficiência técnica associada a uma eficiência de escala tem sido uma busca constante no processo de gerenciamento das empresas.

2.3 PRODUTIVIDADE

Para Filippini, Farsi e Fetz (2005, p. 6): “O conceito de produtividade é equivalente ao da eficiência técnica, portanto pode ser considerado como um caso especial de eficiência”. Apesar de ser considerado como um caso especial, a metodologia aplicada à mensuração é diferente.

Para o cálculo da produtividade, é necessário encontrar a razão entre os *outputs* e *inputs*, podendo ser mensurada de forma parcial ou total em relação aos fatores. Embora comumente usadas, as medidas parciais de produtividade são de uso limitado devido à potencialidade de gerar conclusões equivocadas com relação à performance da empresa (COELLI *et al.*, 2005).

Dentre as abordagens utilizadas para mensuração total dos fatores – FTP, a literatura apresenta três abordagens.

1ª abordagem

A primeira abordagem é conhecida como Hick-Moorsteen index e foi atribuída a Hick (1961) e Moorsteen (1961), a proposta da abordagem é medir o crescimento dos *outputs* líquido do crescimento dos *inputs* (Coelli *et al.*, 2005).

Sua expressão matemática é:

$$HM = \frac{\text{Crescimento do output}}{\text{Crescimento do input}}$$

Embora esse índice seja fácil de medir e interpretar, é bastante difícil identificar as principais fontes de produtividade (Coelli *et al.*, 2005).

2ª abordagem

A abordagem conhecida como TFP Index é baseada na rentabilidade da empresa, utilizando-se receita (R) e custos (C) após ajustes dos períodos t para o período s.

$$TFP\ Index = \frac{\left(\frac{R_t}{R_s}\right) / \text{output price index}}{\left(\frac{C_t}{C_s}\right) / \text{input price index}}$$

Uma vez que a medida de FTP na equação não contém nenhum efeito de preço, as principais fontes de mudança de TFP nos períodos s e t podem ser atribuídas a mudanças técnicas e mudanças de eficiência (técnicas, alocativas e de escala) durante esse período (COELLI *et al.*, 2005).

3ª abordagem

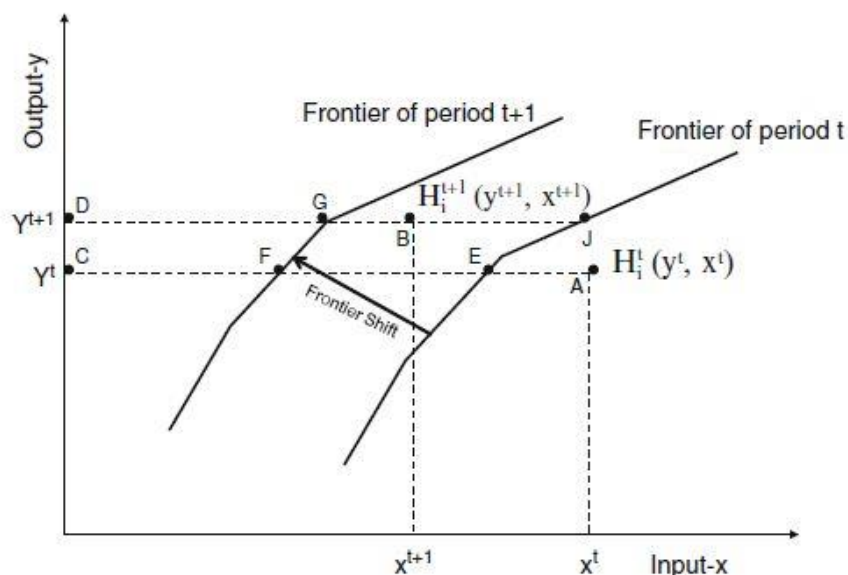
O índice, denominado de Malmquist TFP Index mede a distância radial entre *output* e *inputs* observados nos períodos s e t, relativo a uma referência tecnológica (COELLI *et al.*, 2005). A direção do índice pode ser orientada a *output* ou orientada ao *input*.

O índice de Malmquist foi introduzido nas análises de produção por Caves, Christensen e Diewert (1982). A maior vantagem, quando comparado aos demais, da aplicação do índice de Malmquist, é a não necessidade de informações sobre preços.

Atelmo Ferreira de Oliveira, Jorge Katsumi Niyama, Renato Henrique Gurgel Mota e Arlindo Nonato Morais de Souza

O índice pode ser desmembrado em duas partes: o efeito do emparelhamento (*catch-up effect*), e o deslocamento da Fronteira Eficiente (*frontier-shift effect*), conforme demonstrado na figura abaixo.

Figura 2: Ilustração do índice de Malmquist



Fonte: Ozcan (2014, p. 94).

O efeito de emparelhamento busca avaliar se ocorreram melhorias na eficiência da entidade em dois períodos de tempo. Sua expressão matemática, a partir da figura acima, pode ser demonstrada como sendo:

$$\text{Catch-up} = \frac{DG/DB}{CE/CA} \quad \text{or} \quad \frac{\text{Period } t+1}{\text{Period } t}$$

O significado da expressão é:

- Se $\text{Catch-up} > 1$, ocorreu um aumento da eficiência do período t para t+1;
- Se $\text{Catch-up} = 1$, não ocorreu mudança de eficiência do período t para t+1;
- Se $\text{Catch-up} < 1$, ocorreu uma redução de eficiência do período t para t + 1.

O efeito de deslocamento da fronteira eficiente pode ser afetado a partir de mudanças tecnológicas. Sua expressão matemática pode ser expressada por:

$$\text{Frontier-shift} = \sqrt{\frac{CE/CA}{CF/CA}} \times \frac{DJ/DB}{DG/DB}$$

O significado da expressão é:

- Se $\text{Frontier-shift} > 1$, ocorreu um aumento da eficiência do período t para t+1;
- Se $\text{Frontier-shift} = 1$, não ocorreu mudança de eficiência do período t para t+1
- Se $\text{Frontier-shift} < 1$, ocorreu uma redução de eficiência do período t para t + 1

Destaca-se que a produtividade das distribuidoras pode ser afetada pelas políticas estabelecidas pelo poder concedente. Esse poder estabelece as regras necessárias para a regulação do setor.

Atelmo Ferreira de Oliveira, Jorge Katsumi Niyama, Renato Henrique Gurgel Mota e Arlindo Nonato Morais de Souza

Regulação, conforme Ortiz (1993, 46), é “a atividade normativa pela qual o governo condiciona, corrige e altera os parâmetros naturais e espontâneos do mercado, impondo determinadas exigências ou requisitos à atuação dos agentes econômicos”.

A intervenção do agente regulador tem como objetivo, de acordo com a Teoria Econômica, regular os possíveis desequilíbrios do mercado e promover o desenvolvimento econômico de um setor. Evidentemente, essa intervenção tem como meta: a) maximização da utilidade coletiva; b) fomentar e estabilizar o crescimento econômico; e c) redistribuição de renda (CABEZA; CAL, 2015).

2.4 ANÁLISES DE JANELA (*WINDOW ANALYSIS*)

Embora a utilização do DEA e suas extensões sejam amplamente aplicados nas últimas duas décadas, a utilização do windows analysis tem sido relativamente rara na literatura (YANG; CHANG, 2009).

A análise em janela foi introduzida na literatura por Charnes *et al.* (1985), com objetivo de analisar as variações ocorridas na eficiência técnica (FERREIRA; GOMES, 2009).

A utilização da Análise em janela visa mensurar as variações de uma DMU em uma série temporal. Para atingir esse objetivo, utiliza-se a média móvel para tratar uma DMU em cada período como sendo uma DMU diferente (RAMANATHAN, 2003).

Uma *Decision -Marking Unit* - DMU é uma organização produtiva, ou seja, é cada empresa objeto de análise.

A utilização da análise em janela, tendo como base a noção de médias móveis, tem como racional que cada DMU em uma janela é tratada de forma diferente. Esse racional permite que seja avaliada a eficiência da DMU no período comparado com os demais períodos (YANG; CHANG, 2009).

Na análise, o conjunto de tempo T é dividido em uma sequência de subperíodos sobrepostos de igual comprimento. O primeiro subperíodo consiste em períodos {1..., S}, o segundo subperíodo consistiria dos períodos {2..., S + 1}, até o período (T – S..., T) (LOVELL, 1996).

Asmild *et al.* (2004) destacam que a seleção de uma janela deve ser tão pequena quanto possível for para minimizar a comparação em relação ao tempo, mas grande o bastante para se ter um tamanho de amostra suficiente.

As fórmulas para os cálculos dos valores em referência são apresentadas por Ferreira e Gomes (2009, p. 274), conforme demonstrado no Quadro 1.

Quadro 1 – Fórmulas para cálculos de valores de referência

Nº de janela	$n = p - w + 1$
Nº de DMUs em cada janela	$(k * w) / 2$
Nº de DMUs “virtuais”	$k * w * n$

Fonte: Ferreira e Gomes (2009, p. 274).

Onde:

k = número de DMUs

p = número de períodos

w = tamanho da janela

n = número de janelas

o tamanho da janela é dado por: $w = \frac{p+1}{2}$

Atelmo Ferreira de Oliveira, Jorge Katsumi Niyama, Renato Henrique Gurgel Mota e Arlindo Nonato Morais de Souza

O *Window Analysis* fornece poucas informações sobre o progresso tecnológico e as variações de produtividades (LOVELL, 1996).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para Martins e Theóphilo (2007, p. 37), “o objetivo da metodologia é o aperfeiçoamento dos procedimentos e critérios utilizados na pesquisa. Por sua vez, método é o caminho para se chegar a determinado fim ou objetivo”.

O método, no entendimento de Lakatos e Marconi (1991, p. 83), “é o conjunto das atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo [...] traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões dos cientistas”.

A pesquisa tem em sua estrutura o caráter descritivo e quantitativo. Descritivo quando busca descrever a realidade do setor em estudo (APPOLINÁRIO, 2012). A relevância da pesquisa descritiva é apresentada por Sampieri, Collado e Lúcio (2013, p. 102), quando expõem que a utilização da pesquisa descritiva contribui para revelar os ângulos ou dimensões de um fenômeno. No aspecto, quantitativo, será utilizada a técnica não paramétrica *Data Envelopment Analysis* – DEA, com o objetivo de mensurar o índice de Malmquist e a *Window Analysis*.

A população da pesquisa compreende as 61 distribuidoras de energia contempladas no processo de revisão tarifária, de acordo com o contrato de concessão, distribuídas em todo território nacional, conforme demonstrado no Anexo A.

A quantidade de distribuidoras por região encontra-se discriminada no Quadro 2.

Quadro 2: Distribuidoras por região

Região	Quantidade	Participação
Norte	06	9,84%
Sul	17	27,85%
Nordeste	11	18,03%
Sudeste	22	36,06%
Centro Oeste	05	8,20%
Total	61	

Fonte: Elaborados pelos autores.

O período utilizado para análise será compreendido entre os anos 2003 e 2013. Os dados serão extraídos das Resoluções oriundas das Audiências públicas promovidas pela ANEEL e do Banco de Dados das distribuidoras existente no sítio da ANEEL.

O procedimento metodológico será desenvolvido em quatro fases: (i) abordagem do referencial teórico envolvendo a pesquisa; (ii) levantamento dos dados necessários para mensuração da análise técnica; (iii) análise dos resultados obtidos; e (iv) as conclusões.

No processo de mensuração das variáveis envolvidas, será utilizado o DEA em sua forma ordinária.

O DEA surgiu em 1978, com a publicação do artigo de *Measuring Efficiency of Decision Making Units*, de autoria de Charnes et al. que utilizam, em sua estrutura, as ideias de Farrel tratadas no artigo *The measurement of pruductive Efficiency*, escrito em 1957. O objetivo do artigo era criar um indicador de eficiência de uma empresa, combinando múltiplos insumos e produtos.

Dois aplicações do DEA possibilitam a mensuração da eficiência ao longo do tempo. A primeira conhecida como índice de Malmquist, desenvolvida em 1952, e a segunda, Análise de Janela (*Window Analysis*), desenvolvida por Charnes et al. (1993). A diferença entre os dois métodos encontra-se na extensão dos períodos em análise. No primeiro, só é possível realizar

Atelmo Ferreira de Oliveira, Jorge Katsumi Niyama, Renato Henrique Gurgel Mota e Arlindo Nonato Morais de Souza

um comparativo entre dois períodos, enquanto no segundo é possível realizar uma análise de uma série temporal.

Para a pesquisa, será utilizado o efeito de emparelhamento para verificar a ocorrência ou não na melhoria da eficiência técnica. Para isso, será realizada a decomposição do índice de Malmquist e, através da *Window Analysis*, será feita uma comparação entre os dois métodos.

3.1 VARIÁVEIS DO MODELO

Para Execução do modelo, as variáveis para *inputs* e *outputs* selecionados estão demonstradas no Quadro 3.

Quadro 3 – Definição das variáveis do modelo

Variáveis	Orientação	Descrição	Fonte
Opex	<i>Input</i>	O somatório dos gastos de pessoal, material, serviço de terceiros, impostos e outros	Demonstrativos contábeis e resoluções emitidas pela ANEEL
Rede	<i>Input</i>	Rede disponível para atender aos consumidores. Segregada em AT e MT	SAMP – Base e dados da ANEEL
Mercado	<i>Output</i>	Consumo de energia elétrica. Segregado em AT, MT e BT	SAMP – Base e dados da ANEEL

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.2 JUSTIFICATIVAS NA ESCOLHA DAS VARIÁVEIS

A variável *Opex* concentra os custos gerenciáveis necessários para operacionalizar os serviços previstos no contrato de concessão. No processo de revisão tarifária periódica, as empresas são incentivadas a buscar uma melhoria contínua no gerenciamento dos referidos custos.

A variável rede selecionada como *input* justifica-se por ser essencial no processo de distribuição do produto gerado/adquirido. É de responsabilidade da distribuidora, previsto em contrato de concessão, a construção de obras necessárias ao fornecimento de energia elétrica.

O objetivo do *opex*, bem como a rede, tem como finalidade possibilitar que o produto gerado seja entregue em conformidade com as exigências previstas no contrato de concessão assinado com o poder concedente. Um desafio constante é manter ou melhorar os níveis de qualidade do fornecimento de energia elétrica.

A variável mercado será segregada em Alta Tensão, Média Tensão e Baixa Tensão. As informações serão obtidas no Sítio da ANEEL, a partir do Sistema de Acompanhamento de Informações de Mercado para Regulação Econômica – SAMP. O motivo da segregação em Alta, Média e Baixa Tensão é relevante devido a particularidade de cada segmento.

3.3 ESCOLHA DA DIREÇÃO E DO MODELO CCR OU BCC NO DEA

A seleção da direção levou em conta que as distribuidoras são incentivadas a exercer um gerenciamento efetivo dos insumos para que se busque a melhor aplicação do mesmo. Nesse sentido, a escolha será direcionada aos *inputs*.

O DEA utiliza dois modelos: o primeiro é o CCR, criado por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), utilizado para mensurar a eficiência global e identificar as fontes e estimativas de montantes das ineficiências identificadas; a segunda, o BCC criado por Banker, Charnes e Cooper (1984). O BCC estima a eficiência técnica pura, a uma dada escala de operações,

Atelmo Ferreira de Oliveira, Jorge Katsumi Niyama, Renato Henrique Gurgel Mota e Arlindo Nonato Morais de Souza

identificando se estão presentes ganhos de escalas crescente, decrescente e constantes, para futura exploração (CHARNES *et al.*, 1993)

Com relação à escolha do modelo, Zhu (2010) apresenta dois métodos para que se teste, podendo ser aplicado um ou outro. No primeiro método, geram-se duas fronteiras de eficiência, uma para cada modelo. Em seguida, efetua-se o teste de médias, ocorrendo diferenças significativas, o modelo BCC deve ser escolhido; no segundo teste, geram-se as duas fronteiras de eficiências, semelhante ao primeiro. Em seguida, dividem-se os *scores* das CCR pelos scores do VRS, se o resultado for 1, escolhe-se o modelo CCR, os modelos são semelhantes. Outrossim, se o resultado for superior ou inferior a 1, escolhe-se o modelo VRS.

Para esta pesquisa, efetuou-se o segundo teste, tendo como resultado valores inferiores a 1. Logo, o modelo escolhido foi o BCC.

3.3 CORRELAÇÕES DOS FATORES

Dyson (2010) entende que as variáveis no modelo DEA são frequentemente correlacionadas. Para identificar se existe correlação entre as variáveis, foi efetuado o teste de nível de significância dos coeficientes de correlação de Pearson, cujo resultado encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Matriz de correlação de Pearson

	<i>Opex</i>	<i>Rede AT</i>	<i>Rede BT</i>	<i>Mercado AT</i>	<i>Mercado MT</i>	<i>Mercado BT</i>
<i>Opex</i>	1					
<i>Rede AT</i>	0,8328	1				
<i>Rede MT</i>	0,8826	0,9574	1			
<i>Mercado AT</i>	0,8718	0,7231	0,7474	1		
<i>Mercado MT</i>	0,8627	0,5646	0,6228	0,7707	1	
<i>Mercado BT</i>	0,9059	0,6300	0,6659	0,7992	0,9655	1

Fonte: Dados da pesquisa.

O teste demonstra que todas as variáveis são correlacionadas positivamente.

Para avaliar se as médias do índice de Malmquist e do índice obtido pelo Window Analysis são iguais entre si, foi aplicado o teste t de *student*. Conforme o P-valor de 1,0000, concluiu-se ao nível de significância de 5% pela não rejeição da hipótese nula do teste, ou seja, as médias dos dois índices no período analisado são iguais estatisticamente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, serão avaliados os resultados da pesquisa.

4.1 DECOMPOSIÇÃO DO ÍNDICE DE MALMQUIST

A estatística descritiva permite uma avaliação do comportamento dos dados analisados. A análise da avaliação técnica a partir dos efeitos de emparelhamento (*catch-up effect*) do índice de Malmquist, é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Resumo estatístico da eficiência técnica – Decomposição do índice Malmquist

Anos	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	Média
Média	0,95	1,02	0,98	1,02	1,00	1,01	1,00	0,98	1,02	0,95	0,99
Mediana	0,95	1,00	0,99	1,01	1,00	1,00	1,00	0,99	1,04	0,96	0,99
Máximo	1,53	1,96	1,94	1,64	1,27	1,54	1,89	1,91	1,52	1,63	1,18
Mínimo	0,67	0,19	0,34	0,49	0,50	0,17	0,37	0,39	0,36	0,59	0,88
Desvio	0,15	0,21	0,17	0,14	0,10	0,16	0,19	0,18	0,17	0,14	0,05

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para o período em estudo, a média da eficiência técnica é de 0,99, sendo as melhores médias obtidas nos períodos de 2004/2005, 2006/2007 e 2011/2012. A maior eficiência técnica ocorreu no período de 2004-2005, com o valor de 1,96, e o mínimo ocorreu no período de 2008-2009, no valor de 0,17.

A partir dos dados da pesquisa, foi possível efetuar a decomposição do índice de Malmquist, elencando as empresas e o impacto ocorrido na eficiência técnica. As empresas que apresentaram aumento na eficiência técnica (Eficiência >1), não apresentaram variações na eficiência (Eficiência = 1), e as que tiveram redução na eficiência (Eficiência < 1) estão demonstradas no Quadro 4.

Quadro 4 – Eficiência Técnica (Efeito de Emparelhamento – *Catch-up effect*)

Eficiência >1	BANDEIRANTE, CAIUÁ, CEB, CEMAR, JAGUARARI, MOCOCA, SANTA CRUZ, CNEE, COELCE, COSERN, CPEE, CSPE, EDEVP, EEB, EFLJC, ELEKTRO, IENERGIA, LIGHT, RGE, UHENPAL
Eficiência = 1	CEMIG, CFLO, COCEL, PAULISTA, DEMEI, EFLUL, ELETROPAULO
Eficiência < 1	AES SUL, AME, AMPLA, BOA VISTA, CEAL, CEE, CELESC, CELG, CELPA, CELPE, ETO, CEMAT, CEPISA, CERON, CHESP, COELBA, COOPERALIANÇA, COPEL, PIRATININGA, DME, EBO, ELETROCAR, ELETROACRE, ELFSM, EMG, EMS, ENF, EPB, ESCELSA, ESE, FORCEL, HIDROPAN, MUXENERGIA, SULGIPE

Fonte: Elaborado pelos autores.

Do total das empresas analisadas, 32,79% obtiveram melhoras na eficiência técnica; 11,48% não apresentaram melhorias; 55,74% apresentaram redução em sua eficiência no período analisado. Das empresas que não apresentaram melhorias na eficiência técnica, destacam-se a CEMIG, CFLO, COCEL, EFLUL e ELETROPAULO, que apresentaram o mesmo índice para todo o período analisado.

4.2 WINDOW ANALYSIS

Partindo da mesma base utilizada para o cálculo do Malmquist, a análise estatística com a abordagem da *Window Analysis* encontra-se demonstrada na Tabela 3.

Tabela 3 – Resumo estatístico da eficiência técnica – *Window Analysis*

Anos	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Média
Média	0,59	0,58	0,57	0,56	0,56	0,58	0,58	0,61	0,61	0,62	0,65	0,59
Desvio	0,23	0,24	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,24	0,23	0,25	0,21
Máximo	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97
Mínimo	0,27	0,25	0,23	0,21	0,20	0,20	0,21	0,23	0,24	0,25	0,26	0,24
1º quartil	0,40	0,38	0,42	0,39	0,40	0,42	0,40	0,41	0,42	0,42	0,44	0,42
Mediana	0,51	0,50	0,50	0,49	0,50	0,53	0,54	0,57	0,57	0,59	0,64	0,53
3º quartil	0,78	0,81	0,75	0,73	0,74	0,78	0,75	0,77	0,83	0,80	0,90	0,79

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para o período em estudo, a média da eficiência técnica mensurada pela *Window Analysis* é de 0,59. O maior valor se encontra na faixa de 2010 a 2013, que está acima da média. O menor valor da eficiência técnica ocorreu nos anos de 2007 e 2008, atingindo o patamar de 0,20.

A partir dos valores encontrados, é possível apresentar uma análise da evolução temporal das eficiências técnicas das distribuidoras de energia elétrica. Diferentemente da metodologia da decomposição do índice de Malmquist, conforme exposto no referencial, a Análise em janela trabalha com a série temporal, contemplando todas as variações ocorridas no período.

Para construção do *ranking*, foi proposta uma classificação a partir da análise dos quartis. Os quartis são separatrizes que divide os dados em 4 partes iguais.

O primeiro quartil, conhecido como quartil inferior delimita os 25% menores valores.

O segundo quartil, conhecido como quartil do meio é a própria mediana, separando os 50% menores dos 50% maiores valores.

O terceiro quartil, conhecido como quartil superior é o valor que delimita os 25% maiores valores.

Tomando como base a média da série temporal apresentada na Tabela 3, as empresas que apresentaram eficiência inferior ao 1º quartil, foram classificadas como desempenho fraco; as empresas que ficaram entre o 1º quartil e o 2º quartil foram classificadas como desempenho razoável; as empresas que apresentaram resultados entre o 2º quartil e 3º quartil foram classificadas como bom desempenho; as empresas que apresentaram valores superiores a 3º quartil e inferiores a 1,0 foram classificadas com desempenho muito bom e as empresas que apresentaram valores igual a 1,0, foram classificadas como excelente.

Os resultados são apresentados no quadro 4.

Atelmo Ferreira de Oliveira, Jorge Katsumi Niyama, Renato Henrique Gurgel Mota e Arlindo Nonato Morais de Souza

Quadro 5 - Eficiência Técnica (Window Analysis)

Desempenho	Score Geral	DMU's
Fraco	De 0 a 0,42	BOA VISTA, CEAL, CEEE, CELG, CELPA, ETO, CEMAT, CEPISA, CHESP, EEB, ELETROCAR, EMG, EMS, EPB, ESE, SULGIPE
Razoável	Acima de 0,42 até 0,53	AME, AMPLA, CAIUÁ, CEB, CELESC, CELPE, CEMAR, CERON, SANTA CRUZ, CNEE, COELCE, COOPERALIANÇA, COPEL, DME, ELFSM, IENERGIA
Bom	Acima de 0,53 até 0,79	AES SUL, BANDEIRANTE, COCEL, COELBA, COSERN, CSPE, EDVEP, ELEKTRO, ELETROACRE, ENF, ESCELSA, HIDROPAN, RGE, UHENPAL
Muito Bom	Acima de 0,79 e menor que 1	CEMIG, CFLO, JAGUARARI, MOCOCA, CPEE, PIRATININGA, PAULISTA, DEMEI, EBO, EFLJC, EFLUL, ELETROPAULO, FORCEL, LIGHT, MUXENERGIA.
Excelente	Igual a 1	-

Fonte: Elaborado pelos autores.

Do total das empresas analisadas, 26,23% foram classificadas com desempenho fraco; 26,23% apresentaram desempenho razoável; 22,95% apresentaram desempenho bom; 24,59% apresentaram desempenho muito bom. Nenhuma empresa atingiu o nível de excelente.

4.2 ANÁLISE COMPARATIVA

Tabela 4 – Comparação dos scores entre os dois modelos

DMU	Malmquist		Window Analysis		DMU	Malmquist		Window Analysis	
	Score	Rank	Score	Rank		Score	Rank	Score	Rank
LIGHT	1,1843	1º	0,8454	11º	CELPE	0,9940	31º	0,5426	30º
EDEVP	1,1785	2º	0,6239	24º	BOA VISTA	0,9933	32º	0,2376	61º
CSPE	1,0709	3º	0,7079	20º	EPB	0,9915	33º	0,4112	48º
BANDEIRANTE	1,0363	4º	0,7453	18º	COPEL	0,9910	34º	0,4765	40º
MOCOCA	1,0254	5º	0,8341	14º	MUXENERGIA	0,9898	35º	0,9175	5º
SANTA CRUZ	1,0241	6º	0,5056	37º	COELBA	0,9892	36º	0,5490	29º
CEB	1,0233	7º	0,4521	44º	ESSE	0,9864	37º	0,3913	51º
CAIUÁ	1,0200	8º	0,4864	39º	ETO	0,9858	38º	0,2837	58º
EEB	1,0183	9º	0,4208	46º	ELETROCAR	0,9836	39º	0,3844	53º
IENERGIA	1,0153	10º	0,5116	34º	CEAL	0,9818	40º	0,2781	59º
JAGUARI	1,0134	11º	0,9409	4º	EMG	0,9811	41º	0,3871	52º
UHENPAL	1,0134	12º	0,6199	25º	CELESC	0,9810	42º	0,5128	33º
ELEKTRO	1,0119	13º	0,5782	27º	SULGIPE	0,9755	43º	0,2714	60º

Atelmo Ferreira de Oliveira, Jorge Katsumi Niyama, Renato Henrique Gurgel Mota e Arlindo Nonato Morais de Souza

EFLJC	1,0106	14°	0,8430	12°	CHESP	0,9734	44°	0,3275	56°
COSERN	1,0065	15°	0,6124	26°	CEMAT	0,9713	45°	0,4203	47°
COELCE	1,0053	16°	0,5330	31°	COOPERALIANÇA	0,9712	46°	0,5107	35°
CPEE	1,0037	17°	0,8695	9°	ELFSM	0,9706	47°	0,5245	32°
CNEE	1,0032	18°	0,5107	36°	CEPISA	0,9696	48°	0,2850	57°
CEMAR	1,0029	19°	0,4749	41°	AES SUL	0,9668	49°	0,6793	21°
RGE	1,0013	20°	0,7677	17°	HIDROPAN	0,9621	50°	0,5604	28°
DEMEI	1,0000	21°	0,8973	7°	CEEE	0,9617	51°	0,4026	49°
ELETROPAULO	1,0000	22°	0,9459	3°	AME	0,9555	52°	0,4730	43°
EFLUL	1,0000	23°	0,8792	8°	PIRATININGA	0,9530	53°	0,9661	2°
COCEL	1,0000	24°	0,7926	16°	DME	0,9507	54°	0,4736	42°
CFLO	1,0000	25°	0,7986	15°	CELPA	0,9502	55°	0,3442	54°
CEMIG-D	1,0000	26°	0,8593	10°	EMS	0,9445	56°	0,3918	50°
PAULISTA	0,9995	27°	0,8365	13°	ENF	0,9351	57°	0,7219	19°
AMPLA	0,9981	28°	0,4949	38°	ELETROACRE	0,9350	58°	0,6240	23°
ESCELSA	0,9981	29°	0,6414	22°	CERON	0,9119	59°	0,4381	45°
CELG	0,9974	30°	0,3286	55°	EBO	0,9092	60°	0,9130	6°
					FORCEL	0,8831	61°	0,9715	1°

Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Tabela 4, seguindo a orientação dos modelos estabelecidos na metodologia, tendo como premissa os *outputs* (produtos) inalterados e buscando minimizar os *inputs* (insumos), é possível estabelecer um *ranking* do comparativo entre os dois modelos. Para o índice de Malmquist, os scores significam as empresas que tiveram melhorias na eficiência técnica.

A comparação entre os scores apresenta algumas particularidades com relação ao distanciamento entre as fronteiras de eficiência. Observa-se a FORCEL, 1ª colocada pelo *Window Analysis*, é a 61ª pelo índice de Malmquist; a LIGHT, primeira colocada pelo Malmquist, é a 11ª pelo *Windows Analysis*.

Cinco empresas, CPEE, CSPE, EFLJC, JAGUARARI e a RGE, foram eficientes nos dois modelos.

4.2 ANÁLISE POR REGIÃO

Efetuada uma análise comparativa entre as empresas eficientes, observa-se que 20 (32,79%) empresas apresentaram eficiências técnicas quando mensuradas pelo índice de Malmquist e 15 (24,59%) pelo *Window Analysis*. A Tabela 5 apresenta a distribuição representada por região.

Atelmo Ferreira de Oliveira, Jorge Katsumi Niyama, Renato Henrique Gurgel Mota e Arlindo Nonato Morais de Souza

Tabela 5 – Representação por região das empresas eficientes

Região	Malmquist		Window Analysis	
	Quant	%	Quant	%
Sul	4	20,00%	7	46,67%
Sudeste	12	60,00%	7	46,67%
Norte	0	0,00%	0	0,00%
Nordeste	3	15,00%	1	6,67%
Cento Oeste	1	5,00%	0	0,00%

Fonte: Elaborado pelos autores.

Pela Tabela 5 é possível constatar que a região Sudeste, com 22 empresas, é a que apresenta um maior número de empresas com eficiência técnica, tanto para o modelo de Malmquist como para o *Window Analysis*, sendo esse último empatado com a região Sul.

Da região Norte, com o total de 6 empresas, nenhuma apresentou eficiência técnica em nenhum dos modelos para o período em estudo.

A região Nordeste, 11 empresas, apresentou apenas 3 empresas eficientes pelo método de Malmquist e 1 pelo método *Window Analysis*.

A região Centro Oeste, 5 empresas, apresentou 1 empresa com eficiência técnica e nenhuma pelo método *Window Analysis*.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONTRIBUIÇÕES, RECOMENDAÇÕES E CONCLUSÃO

O presente trabalho objetivou, utilizando a técnica da Análise Envoltória de Dados – DEA, avaliar se as empresas distribuidoras de energia elétrica brasileiras foram eficientes no período de 2003 a 2013. A avaliação utilizou as métricas do índice de Malmquist e *Window Analysis* de forma comparativa. Para o índice de Malmquist, foi utilizado o desmembramento para que fosse contemplada a eficiência técnica, sendo assim possível comparar com os scores gerados pelo *Window Analysis*.

Os dados foram extraídos do sítio da ANEEL, órgão responsável pela regulamentação do setor. Para avaliação da eficiência técnica, foi aplicado o modelo BCC com orientação a *input*, gastos com *opex* (custos gerenciáveis), e a extensão de rede, e como *output* o mercado (venda de energia).

Conforme observado no referencial teórico, o conceito de produtividade é equivalente ao da eficiência técnica, apesar de a metodologia aplicada à mensuração ser diferente.

A principal contribuição da presente pesquisa reside na possibilidade da utilização de um outro modelo de mensuração da eficiência técnica para confrontar com o modelo atual utilizado pela agência reguladora. Conforme exposto no referencial teórico, o modelo baseado no índice de Malmquist efetua a comparação entre dois períodos, enquanto o *Window Analysis* analisa uma série temporal.

O resultado da pesquisa revelou que 32,79% das distribuidoras de energia elétrica apresentaram uma elevação em sua eficiência técnica quando mensurada pelo método de Malmquist e 24,59% quando mensurada pelo *Window Analysis*.

A comparação entre os *rankings* de eficiência entre os dois modelos apresentou diferenças significativas quando comparados os *scores*.

Considerando as poucas pesquisas realizadas, em especial, com a aplicação do *Window Analysis* para o setor elétrico brasileiro, mas que a possibilidade de realização de

Atelmo Ferreira de Oliveira, Jorge Katsumi Niyama, Renato Henrique Gurgel Mota e Arlindo Nonato Morais de Souza

diversas combinações para determinação dos *inputs*, bem como dos *outputs*, recomenda-se a realização de novas pesquisas para mensuração da eficiência técnica. Como o DEA tem sido utilizado na determinação de tarifas para o setor elétrico, os resultados de pesquisas com essa finalidade podem contribuir de forma relevante para auxiliar o agente regulador nesse processo.

Os resultados obtidos na pesquisa são limitados em virtude dos *inputs* e *outputs* selecionados. A escolha de outros direcionadores pode alterar o resultado da pesquisa, e estes devem ser avaliados no contexto da mesma.

Conclui-se que do total de 61 distribuidoras, cinco empresas, CPEE, CSPE, EFLJC, JAGUARARI e a RGE, foram eficientes para os dois modelos no período pesquisado, ou seja, 8,20% do total.

REFERÊNCIAS

APPOLINÁRIO, F. **Metodologia da ciência: filosofia e prática da pesquisa**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

ARAÚJO, J. L. Regulação de monopólios e mercado: questões básicas. In: **Diálogos da energia: reflexões sobre a última década 1994-2004**. Rio de Janeiro: Letras, 2005, p.68-114.

ASMILD, M.; PARADI, J. C.; AGGARWALL, V.; SCHAFFNIT, C. **Combining DEA window analysis with the Malmquist index approach** in: a study of the Canadian banking industry. **Journal of Productivity Analysis**, n.21, p. 67-89, 2004.

BECKER, G. S. **A theory of competition among pressure groups for political influence**. The Quarterly Journal of Economics v.98, n.3 agosto, p.371-400, 1983.

BOYER, R. **A teoria da regulação: Uma análise crítica**. São Paulo: Nobel, 1990.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Disponível em <http://www.aneel.gov.br>, acessado em 01/04/2015.

BRASIL. Lei 8.987/95. Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos previsto no art. 175 da Constituição Federal, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília – DF. Disponível em <http://www4.planalto.gov.br/legislacao>, acessado em 01/04/2015

BROWN, A. C. et al. **Handbook for Evaluating Infrastructure Systems**. The World Bank, Washington DC, 2007.

CABEZA, E. R. D. L. O.; CAL, A. B. R. **O risco de captura nas agências dos serviços públicos: uma abordagem à luz da teoria da econômica**. IX Congresso da Associação Brasileira de Agências de Regulação – ABAR. Brasília, 2015.

CARDOSO, R. L.; SARAIVA, H.; TENÓRIO, F. G.; SILVA, M. A.. **Regulação da contabilidade: teorias e análise da convergência dos padrões contábeis brasileiros aos IFRS**. RAP- Revista de Administração Pública - Rio de Janeiro 43(4):773-99, JUL./AGO. 2009.

Atelmo Ferreira de Oliveira, Jorge Katsumi Niyama, Renato Henrique Gurgel Mota e Arlindo Nonato Morais de Souza

CASTRO, N.; ROSENAL, R. **O estado e o setor elétrico brasileiro**. Disponível em: <http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/55_castro165b.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2017.

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

CHARNES, A., COOPER, W., LEWIN, A.Y., SEIFORD, L.M. **Measuring the efficiency of decision making unit**. European Journal of Operational Research. Amsterdam, v.2.p. 429-444, 1978.

CHARNES, A.; COOPER, W.; LEWIN, A.Y.; SEIFORD, L. M. **Data envelopment analysis: theory, methodology and applications**. Kluwer Academic Publishers, Norwell, 1993.

COELLI, T. J.; RAO, D. S. P.; O'DONNELL, C. J.; BATTESE, G. E. **An introduction to efficiency and productivity analysis**. 2. ed. Springer Verlag, 2005.

DYSON, R. G.; ALLEN, R.; CAMANHO, A. S.; PODINOVSKI, V. V.; SARRICO, C. S.; SHALE, E. A. Pitfalls and protocols in DEA. **European Journal of Operational Research**, n.132, p. 245-249, Elsevier, 2001.

FARRELL, M. J. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 120, n. 3, p. 253-281, 1957.

FERREIRA, C. M. C.; GOMES, A. P. **Introdução à análise de dados: teoria, modelos e aplicações**. Viçosa: Editora UFV, 2009.

FILIPPINI, M.; FARSI, M.; FETZ, A. **Benchmarking Analysis in electricity distribution**. Centre for energy Policy and Economics Swiss Federal Institutes of Technology. Ceé Report, nº 4, 2005.

KOTHARI, S.P.; RAMANNA, K.; SKINNER, D.J. **Implications for GAAP from an analysis of positive research in accounting**. Journal of Accounting and Economics, V. 50, n 2, Dez, 2010.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1991.

LOVELL, C. A. K. Applying efficiency measurement techniques to the measurement of productivity change. **Journal of Productivity Analysis**, v.7, n. 2/3, p. 329-340, 1996.

MARTINS, G. A.; THEÓPHILO, C. R.. **Metodologia da investigação científica para ciências sociais aplicadas**. São Paulo: Atlas, 2007.

MELLO, J. C. C. B. S; MEZA, L. A.; GOMES, E. G.; NETO, L. B. Curso de análise de envoltória de dados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 37., 2005, Gramado.

MORITZ, R. **Metodologia de cálculo e análise de revisão extraordinária das tarifas de energia elétrica: um enfoque no equilíbrio econômico-financeiro dos contratos de concessão**

Atelmo Ferreira de Oliveira, Jorge Katsumi Niyama, Renato Henrique Gurgel Mota e Arlindo Nonato Morais de Souza

das distribuidoras. 2001. 185f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

MULA, J. M.; JAYMAHA, A. Productivity and efficiency measurement techniques: identifying the efficacy of techniques for financial institutions in developing countries. **Journal of emerging Trends in Economics and Management Sciences**, v. 2, p. 454-460, 2011.

ONDREJ, M.; JIRI, H. **Total Factor Productivity Approach** in: Competitive and Regulated World. International Conference on Asia Pacific Business Innovation and Tecnology Management. *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 57 (2012) 223-230.

ORTIZ, G. A. **Economia y estado: crisis y reforma del sector público**. Madrid: Marcial Pons, 1993, p.24.

OZCAN, Y. A. **Health care benchamarking and performance evaluation: an assessment using Data Envelopment Analysis (DEA)**. 2. ed. Richamond, VA, USA, 2014.

POSNER, R. **Theories of Economics Regulation**. *Bell Journal of Economics and Management Science*. p. 335-358, 1974

RAMANATHAN, R. **An introduction to data envelopment analysis: a tool for performance measurement**. Sange Publications, India, 2003.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. P. B. **Metodologia de pesquisa**. 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2013.

STLIGER, G. **The Theory of Economic Regulation**. *Bell Journal of Economics* 2 n. 1, p. 3-21, 1971.

YANG, H. H.; CHANG, C. Y. Using DEA window analysis to measure efficiencies of Taiwan's integrated telecommunication firms. **Telecommunications Policy**, n.33, p. 98-108, 2009.

ZHU, J. Multi-factor performance measure model with an application to fortune 500 companies. **European Journal of operational Research**, n. 123, p. 105-124, 2010.

Atelmo Ferreira de Oliveira, Jorge Katsumi Niyama, Renato Henrique Gurgel Mota e Arlindo Nonato Morais de Souza

ANEXO A

DMU	Sigla	Nome Completo	Região
DMU01	AES SUL	AES SUL DISTRIBUIDORA GAÚCHA DE ENERGIA S/A.	Sul
DMU02	AME	AMAZONAS DISTRIBUIDORA DE ENERGIA	Norte
DMU03	AMPLA	AMPLA ENERGIA E SERVIÇOS	Sudeste
DMU04	BANDEIRANTE	BANDEIRANTE ENERGIA S.A	Sudeste
DMU05	BOA VISTA	BOA VISTA ENERGIA S.A	Norte
DMU06	CAIUÁ - D	CAIUÁ DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA S.A	Sudeste
DMU07	CEAL	COMPANHIA ENERGÉTICA DE ALAGOAS	Nordeste
DMU08	CEB - DIS	CEB DISTRIBUIÇÃO S.A	Centro Oeste
DMU09	CEEE - D	COMPANHIA ESTADUAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	Sul
DMU10	CELESC - DIS	CELESC DISTRIBUIÇÃO S.A	Sul
DMU11	CELG	CELG DISTRIBUIÇÃO S.A	Centro Oeste
DMU12	CELPA	CENTRAIS ELÉTRICAS DO PARÁ S.A	Norte
DMU13	CELPE	COMPANHIA ENERGÉTICA DE PERNAMBUCO	Nordeste
DMU14	ETO -(CELTINS)	ENERGISA TOCANTINS - DISTRIBUIDORA DE ENERGIA	Norte
DMU15	CEMAR	COMPANHIA ENERGÉTICA DO MARANHÃO	Nordeste
DMU16	CEMAT	ENERGISA MATO GROSSO	Centro Oeste
DMU17	CEMIG-D	CEMIG DISTRIBUIÇÃO S.A	Sudeste
DMU18	CEPISA	COMPANHIA ENERGÉTICA DO PIAUÍ	Nordeste
DMU19	CERON	CENTRAIS ELÉTRICAS DE RONDÔNIA S.A	Norte
DMU20	CFLO	COMPANHIA FORÇA E LUZ DO OESTE	Sul
DMU21	CHESP	COMPANHIA HIDROELÉTRICA SÃO PATRÍCIO	Centro Oeste
DMU22	CPFL JAGUARI	COMPANHIA JAGUARI DE ENERGIA	Sudeste
DMU23	CPFL MOCOCA	COMPANHIA LUZ E FORÇA DE MOCOCA	Sudeste
DMU24	CPFL SANTA CRUZ	COMPANHIA LUZ E FORÇA SANTA CRUZ	Sudeste
DMU25	CNEE	COMPANHIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA	Sudeste
DMU26	COCEL	COMPANHIA CAMPOLARGUENSE DE ENERGIA	Sul
DMU27	COELBA	COMPANHIA DE ELETRICIDADE DO ESTADO DA BAHIA	Nordeste
DMU28	COELCE	COMPANHIA ENERGÉTICA DO CEARÁ	Nordeste
DMU29	COOPERALIANÇA	COOPERATIVA ALIANÇA	Sul
DMU30	COPEL-D	COPEL DISTRIBUIÇÃO S.A	Sul
DMU31	COSERN	COMPANHIA ENERGÉTICA DO RIO GRANDE DO NORTE	Nordeste
DMU32	CPEE (CPFL LESTE)	COMPANHIA PAULISTA DE ENERGIA ELÉTRICA	Sudeste
DMU33	CPFL PIRATININGA	COMPANHIA PIRATININGA DE FORÇA E LUZ	Sudeste
DMU34	CPFL PAULISTA	COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ	Sudeste
DMU35	CSPE (CPFL)	COMPANHIA SUL PAULISTA DE ENERGIA	Sudeste
DMU36	DEMEI	DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE NERGIA DE IJUÍ	Sul
DMU37	DME (DMEPC)	DME DISTRIBUIÇÃO - POÇOS DE CALDAS	Sudeste
DMU38	EBO (CELB)	ENERGISA BORBOREMA - DISTRIBUIDORA DE ENERGIA S.A	Nordeste
DMU39	EDEVP (EEVP)	EMPRESA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA VALE PARANAPANEMA S.A	Sudeste
DMU40	EEB	EMPRESA ELÉTRICA BRAGANTINA S.A	Sudeste
DMU41	EFLJC	EMPRESA FORÇA E LUZ JOÃO CESA LTDA	Sul
DMU42	EFLUL	EMPRESA FORÇA E LUZ URUSSANGA LTDA	Sul
DMU43	ELEKTRO	ELEKTRO ELETRICIDADE E SERVIÇOS S.A	Sudeste
DMU44	ELETOACRE	COMPANHIA DE ELETRICIDADE DO ACRE	Norte
DMU45	ELETOCAR	CENTRAIS ELÉTRICAS DE CARAZINHO S.A	Sul
DMU46	ELETROPAULO	ELETROPAULO METROPOLITANA ELETRICIDADE DE SÃO PAULO S.A	Sudeste
DMU47	ELFSM	EMPRESA LUZ E FORÇA SANTA MARIA S.A	Sudeste
DMU48	EMG (CFCL)	ENERGISA MINAS GERAIS - DISTRIBUIDORA DE ENERGIA S.A	Sudeste
DMU49	EMS (ENERSUL)	ENERGISA MATO GROSSO DO SUL	Centro Oeste
DMU50	ENF (CENF)	ENERGISA NOVA FRIBURGO - DISTRIBUIDORA DE ENERGIA S.A	Sudeste
DMU51	EPB (SAELPA)	ENERGISA PARAIBA - DISTRIBUIDORA DE ENERGIA	Nordeste
DMU52	ESCELSA	ESPÍRITO SANTO CENTRAIS ELÉTRICA S.A	Sudeste
DMU53	ESE (ENERGIPE)	ENERGISA SERGIPE - DISTRIBUIDORADE ENERGIA S.A	Nordeste
DMU54	FORCEL	FORÇA E LUZ CORONEL VIVIDA LTDA	Sul
DMU55	HIDROPAN	HIDROELÉTRICA PANAMBI S.A	Sul
DMU56	IENERGIA	IGUAÇU DISTRIBUIDORA DE ENERGIA ELÉTRICA LTDA	Sul
DMU57	LIGHT	LIGHT SERVIÇOS DE ELETRICIDADE S.A	Sudeste
DMU58	MUXENERGIA	MUXFELDT MARIN & CIA	Sul
DMU59	RGE	RIO GRANDE ENERGIA S.A	Sul
DMU60	SULGIPE	COMPANHIA SUL SERGIPANA DE ELETRICIDADE	Nordeste
DMU61	UHENPAL	USINA HIDROELÉTRICA NOVA PALMA	Sul