

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS SOCIAIS E APLICADAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS**

CARINA MAX LOPES FONSECA

**Análise da eficiência técnica relativa de empresas brasileiras
distribuidoras de energia elétrica, em 2015 e 2016**

MARIANA

2018

CARINA MAX LOPES FONSECA

**Análise da eficiência técnica relativa de empresas brasileiras
distribuidoras de energia elétrica, em 2015 e 2016**

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Econômicas do Instituto de Ciências Sociais Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientadora: Prof.^a Cristiane Márcia dos Santos

MARIANA

2018

Catálogo na fonte elaborada pelo bibliotecário: Essevalter de Sousa - CRB6a. 1407

F676a Fonseca, Carina Max Lopes
Análise da eficiência técnica relativa de empresas
brasileiras distribuidoras de energia elétrica, em
2015 e 2016 [recurso eletrônico] : Carina Max Lopes
Fonseca.-Mariana, MG, 2018.
1 CD-ROM; (4 3/4 pol.).

TCC (graduação em Economia) - Universidade Federal
de Ouro Preto, Mariana, 2018

1. Energia elétrica - Controle da qualidade - Teses.
2. MEM. 3. Competitividade industrial - Teses. 4.
Monografia. 5. Análise envoltória de dados - Teses.
I.Santos, Cristiane Márcia dos. II.Universidade Federal
de Ouro Preto - Instituto de Ciências Sociais Aplicadas
- Departamento de Ciências Econômicas. III. Título.

CDU: Ed. 2007 -- 005.21
: 15
: 1419839

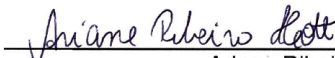
CARINA MAX LOPES FONSECA
Curso de Ciências Econômicas - UFOP

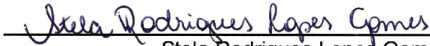
**Análise da eficiência técnica relativa de empresas brasileiras distribuidoras de
energia elétrica, em 2015 e 2016**

Trabalho apresentado ao Curso de Ciências Econômicas do Instituto de Ciências Sociais e Aplicadas (ICSA) da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências Econômicas, sob orientação da Prof^ª. Dr^ª. Cristiane Márcia Santos.

Banca Examinadora:


Prof^ª. Dr^ª. Cristiane Márcia Santos


Ariane Ribeiro Hott
Aluna do Programa de Pós-graduação em Economia Aplicada (PPEA)


Stela Rodrigues Lopes Gomes
Aluna do Programa de Pós-graduação em Economia Aplicada (PPEA)

Mariana, 16 de fevereiro de 2018

Sumário

SUMÁRIO DE TABELAS	IV
LISTA DE SIGLAS	V
RESUMO.....	VI
1- INTRODUÇÃO	1
2- OBJETIVO.....	6
3- PANORAMA.....	7
4- REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
4.1. FUNÇÃO DE PRODUÇÃO E CONCEITO DE EFICIÊNCIA.....	11
5- METODOLOGIA	15
5.1 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA).....	15
5.2 DADOS E VARIÁVEIS	22
6- RESULTADOS.....	25
7- CONCLUSÃO.....	31
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	33

SUMÁRIO DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo por classe, 2012 a 2016 – (GWh)	3
Tabela 2 – Análise de eficiência técnicas das empresas de energia elétrica, 2015-2016.....	25
Tabela 3 – Escore de eficiência das empresas distribuidoras de energia, 2015.....	26
Tabela 4 - Escore de eficiência das empresas distribuidoras de energia, 2016.....	28
Tabela 5 – Benchmarks para as empresas distribuidoras de energia ineficientes, 2015.....	29
Tabela 6 – Benchmarks para as empresas distribuidoras de energia ineficientes, 2016.....	29

LISTA DE SIGLAS

ABRADEE- Associação Brasileira de distribuidores de Energia Elétrica

AME- Amazonas Distribuidora de Energia

ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica

BCC- Banker, Charnes e Cooper

CCR- Charnes, Cooper e Rhodes

CELPA- Centrais Elétricas do Pará

CEMAR- Companhia Energética do Maranhão

CGCE- Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica

CNAEE- Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica

COELCE- Companhia Energética do Ceará

COSERN- Companhia Energética do Rio Grande do Norte

CPFL- Paulista – Companhia Paulista de Força e Luz

CPFL- Piratininga – Companhia Piratininga de Força e Luz

DEA- Análise Envoltória de Dados

DMUs- Decision Making Units

ELETRORBRAS- Centrais Elétricas Brasileiras

EPE- Empresa de Pesquisa Energética

ESCELSA- Espírito Santo Centrais Elétricas

GWh- Gigawatt-horas

MAE- Mercado Atacadista de Energia

PPL- Problema de Programação Linear

PROINFA- Programa de Incentivo as Fontes Alternativas de Energia Elétrica

RGG- Reserva Global de Garantia

RESUMO

A energia elétrica é um dos principais insumos utilizados pela economia brasileira. Sendo utilizada em indústrias, comércios, escritórios, casas, hospitais, entre outros. Vê-se que nos últimos anos ela vem apresentando uma variação em seus preços, que estão se tornando cada vez maiores. O que faz com que as classes consumidoras de energia elétrica, busquem fontes de energia alternativas, ou diminuir, ou utilizar de forma eficiente, a energia elétrica. As empresas estão se tornando cada vez mais eficientes. Esta pesquisa tem como objetivo avaliar se as empresas com melhor desempenho, segundo o Ranking da Anaeel de 2016, foram eficientes no ano de 2015 e 2016. Para isso utilizou com metodologia a Análise Envoltória de Dados, DEA, tendo como variáveis de insumo trabalho, despesas operacionais, empréstimos, e capital próprio; e como variáveis do produto: área de cobertura, número de consumidores, e total de energia fornecida. Das empresas avaliadas cerca da metade são totalmente eficientes, e sem problemas escala. Porém, a maioria das empresas consideradas ineficientes apresentam escores consideráveis, próximos à fronteira de eficiência. Lembrando que algumas das empresas foram consideradas ineficientes apenas no modelo CCR. Comparando os dois anos avaliados, observamos um aumento da eficiência técnica de retornos constantes, modelo CCR, que foi de 0,824 para 0,843. Assim, como na eficiência técnica de retornos variáveis, modelo BCC, que foi de 0,907 para 0,928. Já na eficiência de escala observasse uma redução indo de 0,903 para 0,900. Desta forma as empresas consideradas ineficientes podem se tornar eficientes com base na orientação-produto, ou seja, aumentando sua produção porém mantendo sua quantidade de insumo.

Palavras-chaves: Energia Elétrica, Eficiência, Competitividade, Distribuidoras de Energia Elétrica, Análise Envoltória de Dados.

ABSTRACT:

Electricity is one of the main inputs used by the Brazilian economy. Being used in industries, commerce, offices, houses, hospitals, among others. It is seen that in the last years it has been presenting a variation in its prices, which are becoming increasing. What makes the consumer classes of electric energy, seek alternative energy sources, or decrease or use energy efficiently. Companies are becoming more and more efficient. The objective of this research is to evaluate whether the companies with the best performance, according to the Anaeel Ranking of 2016, were efficient in the year 2015 and 2016. In order to do this, it used the Data Envelopment Analysis (DEA) methodology, based on labor input, operating expenses, loans, and equity; and as product variables: area of coverage, number of consumers, and total energy supplied. Of the companies evaluated about half are fully efficient, and no scale problems. However, the majority of the companies considered to be inefficient present considerable scores close to the efficiency frontier. Recalling that some of the companies were considered inefficient only in the CCR model. Comparing the two evaluated years, we observed an increase in the technical efficiency of constant returns, model CCR, that was of 0.824 to 0.843. Thus, as in the technical efficiency of variable returns, BCC model, which was from 0.907 to 0.928. On the scale efficiency, a reduction from 0.903 to 0.900 was observed. In this way the companies considered inefficient can become efficient based on the orientation-product, that is, increasing its production but maintaining its quantity of input.

Keywords: Electrical Energy, Efficiency, Competitiveness, Electric Power Distributors, Data Envelopment Analysis.

1- Introdução

A eletricidade foi introduzida no Brasil no final do século XIX, simultaneamente nos países desenvolvidos. Segundo Gatto (2010), em 1920, com a industrialização aumentaram o número de usinas hidrelétricas, e participação do governo no setor era limitada a função de conferir autorizações para o seu funcionamento.

Pode-se dizer, que o desenvolvimento da economia cafeeira no Estado de São Paulo, entre o final do século XIX e o começo do século XX, foi fundamental para o nascimento e consolidação da eletricidade no Brasil, visto que deu origem a um complexo conjunto de atividades como ferrovias, expansão urbana, atividades comerciais, entre outras. Esse processo de desenvolvimento foi de grande importância para a ampliação do mercado de energia elétrica no Brasil. (GATTO, 2010)

Em 1954 foi proposta pelo presidente Getúlio Vargas a criação das Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobras). O projeto enfrentou grande oposição sendo aprovado após sete anos de tramitação no Congresso Nacional. Em 25 de abril de 1961, o presidente Jânio Quadros assinou a Lei 3.890-A, autorizando a União a constituir a Eletrobras. A instalação da empresa ocorreu oficialmente no dia 11 de junho de 1962, em sessão solene do Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica (CNAEE).

A Eletrobras recebeu a atribuição de promover estudos, projetos de construção e operação de usinas geradoras, linhas de transmissão e subestações destinadas ao suprimento de energia elétrica do país. A nova empresa passou a contribuir decisivamente para a expansão da oferta de energia elétrica e o desenvolvimento do país.

Entretanto em meados da década de 70 do século passado o governo já não tinha mais condições de financiar o setor, assim, em meados dos anos 90 inicia-se uma reforma no setor de energia elétrica, na qual tem-se a entrada de capital privado para resolver o problema de subinvestimento levando a privatização de algumas partes, deixando o governo com o papel de fiscalizador, regulador e formulador de políticas. Neste período ocorreu também

mudanças estruturais como a diversificação dos segmentos de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, passando a ser separadas, sendo administradas e operadas por agentes distintos. Além, da criação de novas instituições como a Agencia Nacional de Energia (ANEEL), responsável pela regulação do setor, e o Mercado Atacadista de Energia (MAE) responsável pela comercialização de energia.

A partir de então, o setor de energia elétrica no Brasil passa a se dividido em três segmentos: geração, transporte e comercialização. O segmento geração é responsável por produzir energia elétrica, usinas, e injetá-la no sistema de transporte. Já o transporte, que inclui transmissão e distribuição, sendo que a transmissão é responsável pelo transporte de grande quantidade de energia vinda das usinas geradoras, já a distribuição é responsável pelo transporte de grande quantidade de energia porém vinda da transmissão e a distribui de forma pulverizada para médios e pequenos consumidores. E por ultimo a comercialização, introduzida na reforma dos anos 90, geralmente atua como intermediária entre usinas e consumidores livres.

Gatto (2010) afirma que outra reformulação do setor incluindo a criação de mais instituições, modificações organizacionais, novas regras de comercialização, entre outros. Visando a eficiência da Indústria do Setor Elétrico, ou seja, que o setor possa suprimir a quantidade de energia demandada pelo mercado.

O consumo de energia elétrica no Brasil apresentou um forte crescimento, entre o ano de 1995 e 2011, quase que dobrou, chegando a um aumento de 78% (Empresa de Pesquisa Energética - EPE; 2009). Visto que o consumo de energia residencial vem acompanhando o forte crescimento, ou seja, melhorias na renda, aumento da quantidade de eletroeletrônicos nos domicílios, também como aumento do acesso a energia elétrica nas áreas rurais. A partir de 2014 com o cenário econômico adverso, tarifas mais elevadas, redução do poder aquisitivo houve queda no consumo de energia elétrica (Tabela 1).

Tabela 1 – Consumo por classe, 2012 a 2016 – (GWh)

	2012	2013	2014	2015	2016	$\Delta\%$ 2016/2015	Part.% 2016
Brasil	448,126	463,142	474,823	464,976	460,827	-0,89%	100,00%
Residencial	117,646	124,908	132,302	131,190	132,872	1,28%	26,25%
Industrial	183,425	184,685	179,106	168,856	164,556	-2,55%	40,93%
Comercial	79,226	83,704	89,840	90,768	87,873	-3,19%	17,68%
Outros	67,829	69,846	73,575	74,163	75,526	1,84%	15,14%

Fonte: EPE, 2017.

Observa-se na Tabela 1 que a principal classe consumidora de energia é a industrial, porém esse fato pode mudar, visto que a autoprodução do setor industrial cresce a taxas superiores às da demanda de eletricidade desse setor, o que reduz a pressão da demanda sobre a expansão da oferta na rede do Sistema Elétrico. Seguida da classe residencial, esse pelo contrário, tende aumentar, como já vimos acima, deve-se ressaltar que o consumo de energia da classe residencial *per capita* de um brasileiro, todavia, é muito baixo, quando comparado com outros países do mundo, como Estados Unidos, China e Japão com consumo de 1391000 GWh, 675000 GWh e 285GWh, respectivamente, no ano de 2013 (Ministério de Minas e Energia, 2017).

Segundo Santana (2012), as principais classes consumidoras de energia elétrica são: a classe residencial, na qual seu consumo é baseado na maximização da satisfação do indivíduo, sendo orientada pela teoria do consumidor, sendo que o consumidor define a quantidade de energia consumida a partir de sua utilidade, da satisfação que a energia lhe proporcionara. E as classes comercial e industrial, as quais o consumo de energia esta relacionado à necessidade ao atendimento de determinada produção, assim, buscam custos mínimos na utilização desse fator, sendo orientadas pela teoria da produção, na qual a quantidade de energia consumida se baseia na maximização do seu lucro, e é definido como a receita menos seus custos, como o consumo de energia é um custo para o comércio e para a indústria, então quanto menor seus gastos com energia, menor custo e maior lucro.

Pode-se dizer que as variações no consumo de energia estão relacionadas, tanto na classe residencial quanto comercial e industrial, ao ambiente econômico, pois quanto maior o desenvolvimento, o crescimento, maior será o consumo, as condições ambientais, pois uma elevação ou redução na “matéria prima” afetaria a oferta, que por consequência reflete no consumo, ao rendimento real da população, a taxa de desemprego, oferta de crédito, aumento tecnológico.

Devido a esse aumento no consumo, o planejamento energético no Brasil tem como estratégia para atender a esse crescimento a expansão da oferta, porém essa estratégia apresenta críticas, devido a impacto socioambiental, visto que essa medida leva ao deslocamento de comunidades e alteração no regime hídrico, entre outros, para criação de barragens, além de demandar altos níveis de investimento na criação de novas usinas. (SILVA et al. 2012)

O gerenciamento pelo lado da demanda também vem como alternativa para esse aumento no consumo, ou seja, a adoção de políticas que promovam a conservação de energia por parte dos consumidores, entre as medidas de gestão de demanda, assim, pode-se citar o incentivo ao uso de equipamentos com consumo mais eficiente de energia, a estrutura tarifária com valores crescentes por faixa de consumo e a implantação de redes inteligentes. Mas, adoção de tais medidas, para a conservação de energia, requer conhecimento da estrutura de demanda do consumidor final. Exemplo para avaliar aumento das tarifas para gerar redução da demanda de energia, é necessário saber a reação do consumidor a variação do preço, ou seja, a elasticidade preço e também a elasticidade renda, visto que consumidores com rendas diferentes reagem de formas distintas a variação no preço.

Visando a criação de um ambiente de competição, a indústria de energia elétrica, em boa parte do mundo, vem passando por importantes mudanças, entre tais podemos citar diversificação e limites ao poder de mercado, e a privatização.

O Brasil passa um processo de reestruturação, em que o âmbito competitivo desejado é o MAE. Contudo, como no Brasil a geração de energia é predominantemente hidrelétrica, nesse sistema tem-se uma grande dependência entre as usinas, o que gera dúvidas da eficácia de tal competição.

O consumo de energia é um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico e do nível de vida de qualquer sociedade. Com uma economia voltada para a necessidade de acumulação de capital e a inserção de novas tecnologias. Observa-se a necessidade de uma infraestrutura capaz de suprir as necessidades de insumos básicos para o setor produtivo energético. Assim, esta pesquisa busca analisar a eficiência das empresas distribuidoras do setor elétrico brasileiro.

2- Objetivo

O Objetivo geral desta pesquisa é analisar a eficiência técnica do mercado de distribuição de energia elétrica no Brasil nos anos de 2015 e 2016.

Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral proposto, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- Fazer um panorama do setor elétrico brasileiro;
- Evidenciar os conceitos relacionados à eficiência;
- Compreender os principais aspectos relacionados à Análise e Envoltória de Dados; e
- Descrever e analisar os escores de eficiência obtidos pela Análise Envoltória de Dados.

3- Panorama

No Brasil a eletricidade foi introduzida junto aos países desenvolvidos, por volta de 1889. Na segunda metade do século XIX, o Brasil passou por uma intensa inserção na economia mundial, o que lhe proporcionou possibilidades de investimentos externos. Assim, ocorre a entrada de empresas estrangeiras no setor de energia elétrica, como a Light, canadense, em 1900 e, a Bond and Share, americana, em 1924, que ganharam concessões das principais regiões de consumo. E no final da República Velha, ocorreu uma expansão dessas concessões, através de junções dessas empresas a empresas de menor porte. (RICCI, 2013)

O controle de produção de energia elétrica, que era em grande parte de capitais nacionais, passa a ser, majoritário, de tais empresas estrangeiras. O que levou as indústrias adotar tal fonte de energia, uma vez que aumentou a confiabilidade no domínio tecnológico sobre a geração e distribuição de energia elétrica. Logo com o desenvolvimento industrial, muda-se o dinamismo do mercado de energia elétrica, aumentando a necessidade de serviços públicos, como o transporte e a iluminação pública.

Segundo Ricci (2013), após a revolução de 1930, o setor elétrico no Brasil passa a receber maior atenção a nível nacional, principalmente após 1934, com a promulgação do Código de Águas, que deu a União o poder de conceder o aproveitamento de energia hidráulica, e outras fontes, para efeito de utilização industrial. Assim todos os recursos hídricos foram incorporados ao patrimônio da União, ou seja, traça diretrizes que permitam ao poder público controlar e incentivar o aproveitamento industrial das águas.

Segundo Gomes *et al.* (2002), na década de 40, presenciam-se as primeiras ações na direção de um planejamento econômico estatal inspiradas em modelos estrangeiros. Entre 1942 e 1943, a pedido do governo, formou-se um grupo de cooperação entre técnicos americanos e brasileiros: a Missão Cooke, a qual apontou o setor de energia elétrica como um dos principais obstáculos que restringiam o crescimento industrial do país.

Em 1945 é criada a Companhia Hidrelétrica de São Francisco (CHESF), quando o Estado decide investir diretamente na geração de energia, deixando de ser apenas regulador e fiscalizador.

Em 1946, o governo federal apresentou um Plano Nacional de Eletrificação, que incorporava as recomendações da Missão Cooke.

Segundo Magalhães (2009), na década de 50 o Brasil passa por uma crise de energia, devido a quatro eventos sucessivos, a seca de 1951 a 1956, o crescimento da industrialização, a urbanização dos grandes centros e a insuficiência de investimentos, que levou a um racionamento. Em 1957 o presidente Juscelino Kubtsicheck determina a construção da primeira grande usina hidroelétrica, a de Paulo Afonso.

Em 1961, cria-se a Eletrobrás, e novos mecanismos de financiamento, implementado uma política centralizada de expansão do setor de energia, em que a Eletrobrás funcionaria como empresa *holding* do setor. Sendo ela responsável pelo planejamento, financiamento e operação do sistema elétrico, e a Eletrosul, Eletronorte, Furnas e Chesf, as quatro geradoras que atuavam também no segmento de transmissão.

Com os militares assumindo o poder 1964 consolida-se a presença do Estado no setor elétrico. Neste período foram reforçadas as fontes de recursos extratarifárias, como alíquotas mais elevadas sobre Imposto Único, sobre Energia Elétrica, ampliação do montante arrecadado por empréstimo compulsórios, além da elevação das tarifas acima da inflação do período, isto seria o início de uma política de realidade tarifária.

No segundo governo militar, no final da década de 60, têm início um novo ciclo de expansão da economia e a retomada do investimento do governo e das estatais em obras de infraestrutura. A partir de então, as empresas estatais, investiam no setor hidrelétrico, tanto com geração interna de recursos da própria atividade quanto com empréstimos externos.

Na década de 70, ultrapassada a fase de instalação da indústria de base e de reaparelhamento da infraestrutura. O apoio à iniciativa privada passa a ser de grande importância, principalmente nos projetos da indústria de transformação. Assim tem-se a criação de mecanismos operacionais e fundos especiais, visando beneficiar pequenas e médias empresas, promover o desenvolvimento tecnológico e modernizar a indústria.

Segundo Gomes *et al.* (2002), em 1974, o governo instituiu a equalização tarifária (Decreto-Lei 1.383), que buscou estabelecer tarifas iguais em todo o território nacional, ajustando a remuneração de todas as concessionárias por meio da transferência de recursos excedentes das empresas superavitárias para as deficitárias; era a Reserva Global de Garantia (RGG).

Assim, o setor encontra um padrão de funcionamento para expansão do serviço, baseado em recursos não orçamentário, isso junto a facilidade de concessão de financiamento externo, leva a uma acelerada expansão do sistema elétrico nacional, que trouxe grandes efeitos sobre toda economia. Porém, essa situação de crescimento se reverteu a partir de 1973, com o primeiro choque do petróleo, junto como segundo em 1979, e com a elevação das taxas de juros no mercado externo no início de 1980.

Esse modelo encontrava obstáculos à reestruturação, visto que, havia restrições a capacidade de investimento no âmbito tanto estadual como no federal.

Desta forma, até meados da década 1990 o modelo que vigorou no setor de energia elétrica era baseado em financiamentos federal, o qual buscava recursos no mercado externo, com organismos externos multilaterais, e a forma interna era baseada em reajustes das tarifas. Nesse período todos os segmentos eram propriedades governamentais, sendo as distribuidoras no âmbito estadual e as geradoras no âmbito federal.

Em 1994, tem-se um aquecimento na economia, devido ao Plano real, que teve como consequência um aumento do consumo de energia, que junto ao esgotamento da capacidade de geração das plantas já existentes e a necessidade de expansão da capacidade instalada e de investimentos para manter o sistema, leva a uma grande necessidade de investimento no setor.

Devido a alta demanda de investimento do setor elétrico o Estado opta por deixar de se responsabilizar-se pelo investimento em setores estratégicos. Levando então a privatização das empresas estatais, alegando a necessidade de melhora da eficiência dos serviços prestados ao consumidor e, pagamento da dívida e inserir competitividade no cenário mundial.

A privatização do setor elétrico começou a ser efetivada primeiramente no âmbito federal com o processo de desestatização a partir da venda da

Espirito Santo Centrais Elétricas S.A (ESCELSA). Já no âmbito estadual as privatizações, demoraram um pouco e foram marcadas, por conflitos políticos-institucionais que tiveram que ajustar a estrutura federativa do país. No final o total de empresas privatizadas foram 20, sendo 17 distribuidoras e 3 geradoras.

Em 1996 é criada a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), vinculada ao Ministério das Minas e Energia, que visava regular e fiscalizar a produção (geração), transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, segundo as políticas e diretrizes do governo federal.

Desde então a organização do setor elétrico se encontra praticamente nos panoramas atuais de geração, transmissão e distribuição. Em 2001, tem-se uma crise no setor de energia elétrica, devido a seca, que provocou redução dos reservatórios. Isso levou a criação da Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica (CGCE), como objetivo de propor e implementar medidas emergenciais, para equilibrar a demanda com a oferta. Além de chamar a atenção para a necessidade de novas fontes de energia primárias. Assim em 2002 cria-se o Programa de Incentivo as Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa).

Em 2003 temos o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso de Energia Elétrica, conhecido como luz para todos.

Atualmente o parque de gerador de energia elétrica no Brasil é constituído pelas seguintes fontes de geração de energia elétrica: hidráulica, térmica, eólica e solar, mas ainda a maior parte de geração de energia é hidráulica.

O setor elétrico no período de 1996 a 2000 obteve um crescimento de 26,5% do consumo e de 22,8% da capacidade instalada. E no período de 2000 a 2014 tem-se um aumento ainda maior tanto do consumo, que é de 53,9%, quanto da capacidade instalada, que cresceu 85,2% nesse período (Ministério Minas e Energia, 2015).

4- Referencial teórico

4.1. Função de produção e conceito de eficiência

Pode-se dizer que a energia elétrica atualmente é de grande importância para a economia de um país, pois ela movimenta indústrias, hospitais, comércios, escolas, proporciona conforto em casas, entre outros. Em uma definição literal energia é a capacidade de gerar trabalho, porém nessa abordagem, ela também é vista como um fator de produção, um insumo importante para promover o desenvolvimento econômico de um país.

Segundo Magalhães (2009), a energia elétrica é hoje um insumo de vital importância para o sistema produtivo e por consequência a sua disponibilidade em quantidade suficiente é ponto crucial para a manutenção de crescimento e desenvolvimento econômico e social de uma nação.

Assim, este trabalho baseia-se, ainda, nos princípios da teoria da produção, especificamente no conceito de função de produção, que indica a relação técnica entre a produção máxima obtida em determinada unidade de tempo e os fatores utilizados no processo de produção.

De acordo com Debertin (1986), de forma genérica, uma função de produção pode ser representada, algebricamente, por

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

em que, Y é a variável dependente e indica a quantidade produzida por unidade de tempo; e x_i são as variáveis independentes, que representam os fatores utilizados na produção.

Um aspecto, geralmente, analisado no estudo de função de produção é a natureza dos retornos à escala. Segundo Leftwich (1997), a função pode proporcionar retornos constantes, crescentes ou decrescentes à escala. Uma função apresenta retornos constantes à escala se, ao aumentar os fatores de produção, a produção aumenta na mesma proporção. Há retornos crescentes, quando o aumento na produção for mais do que proporcional ao aumento nos fatores; caso contrário, haverá retornos decrescentes.

Outro aspecto que pode ser analisado por meio da função de produção diz respeito à produtividade e à eficiência.

De acordo com Toresan (1998), o termo produtividade refere-se, genericamente, à relação produto-insumo de um dado processo de transformação. Uma medida de produtividade incorpora efeitos da tecnologia e da eficiência (técnica e alocativa). Diferenciais de produtividade decorrem de diferenças na tecnologia de produção, na eficiência do processo de produção e no de ambiente no qual a produção ocorre.

A medida de eficiência, que incorpora o aspecto global da produção, foi iniciada com os trabalhos de Farrell (1957). Nessa perspectiva, cada unidade de produção é avaliada em relação às outras unidades de um conjunto homogêneo e representativo. Dessa maneira, a medida de eficiência é relativa, sendo que o respectivo valor para uma unidade de produção corresponde ao desvio observado em relação àquelas unidades consideradas eficientes.

Segundo Coelli *et al.* (1998), a definição de eficiência leva em conta a distinção entre eficiência técnica e eficiência alocativa. A eficiência técnica refere-se à habilidade da unidade de produção obter o máximo nível de produção, dado um conjunto de insumos ou, a partir de determinado nível de produto, conseguir produzir com a menor combinação de insumos. Uma produção é tecnicamente eficiente se não existir outro processo, ou combinação de processos, que consiga produzir o mesmo nível de produto, utilizando menores quantidades de insumos. A eficiência alocativa indica a habilidade de uma unidade de produção utilizar os insumos em proporções ótimas, dados os seus respectivos preços, e obter determinado nível de produção, a menor custo, ou, dado determinado nível de custos, obter a máxima quantidade de produtos. A combinação dessas duas medidas de eficiência resulta na eficiência econômica.

Os conceitos de eficiência técnica e alocativa são ilustrados na Figura 1, considerando-se unidades de produção, que utilizam a combinação de insumos (X) para produzir produtos (Y). A eficiência pode ser definida pela orientação-insumo ou, alternativamente, por orientação-produto. Do ponto de vista de orientação-insumo, a eficiência é analisada pela combinação ótima de insumos para atingir certo nível de produto, enquanto, em orientação-produto, ela refere-se à quantidade ótima de produtos que podem ser produzidos com

determinado nível de insumo. Na Figura 1a, observam-se unidades de produção, que produzem certo nível de produto (Y), representado pela isoquanta II' , usando uma combinação de insumos definida pelo ponto D. Pode-se verificar que o mesmo nível de produto poderia ser atingido por contração radial do uso de ambos os insumos até atingir o ponto C, que se situa sobre a isoquanta, que, por sua vez, representa o nível mínimo de insumos requerido para produzir (Y). A medida de eficiência, neste caso, com orientação-insumo é definida por OC/OD . Entretanto, o mínimo custo para produzir (Y) é dado pelo ponto C' , em que a taxa marginal de substituição técnica é igual à razão dos preços dos insumos. Para alcançar o mesmo nível de custo, os insumos devem ser contraídos até o ponto B. Então, a eficiência alocativa é definida por OB/OC , enquanto a eficiência econômica, é definida por OB/OD .

A fronteira de possibilidade de produção para certa quantidade de insumo é ilustrada na Figura 1b (orientação-produto), para unidades de produção que utilizam insumo (X) para produzir (Y_1 e Y_2). Se o insumo for eficientemente utilizado na unidade de produção, os produtos da unidade de produção, que produz no ponto D, poderão ser expandidos radialmente até o ponto C. Então, a medida de eficiência com orientação-produto pode ser definida pela razão OD/OC . O ponto C é dito tecnicamente eficiente pelo fato de se encontrar na fronteira de produção. Entretanto, maior receita pode ser alcançada pela produção no ponto C' . Neste caso, para que isso seja possível, devem ser produzidas maiores quantidades do produto Y_1 e menos de Y_2 . Para alcançar um mesmo nível de receita, que é possível ao produzir no ponto C' , utilizando-se a mesma combinação de insumo e produto, o produto deve ser expandido para o ponto B. Então, a eficiência alocativa será definida pela razão OC/OB (Figura 1b).

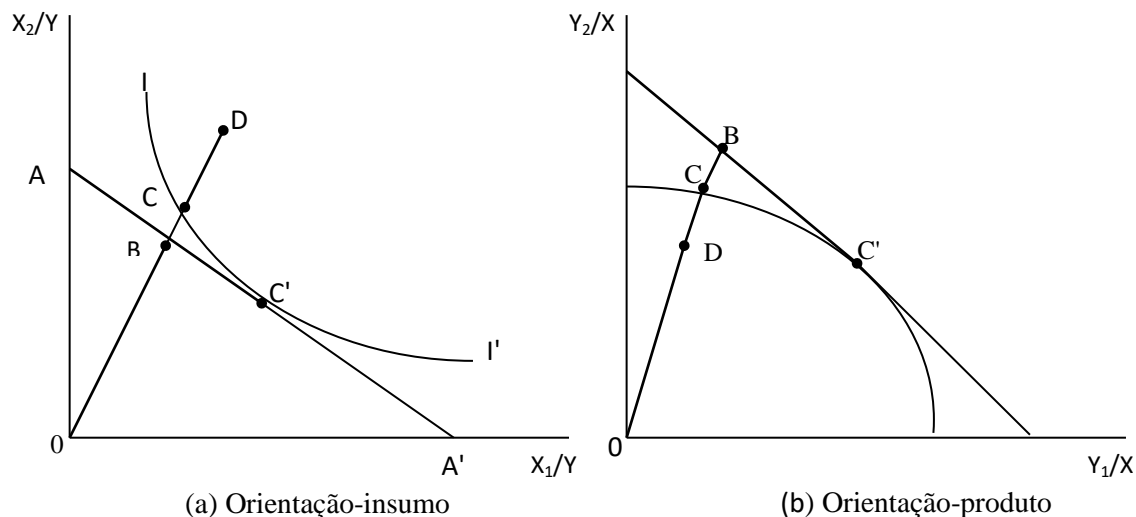


Figura 1 - Ilustração das medidas de eficiência técnica e alocativa, orientação-insumo (a), orientação-produto (b).

Fonte: Coelli et al. (1998).

O nível de eficiência técnica de uma unidade de produção é caracterizado pela relação entre produção observada e produção potencial. A medida de eficiência das unidades baseia-se nos desvios da produção observada, em relação à fronteira de produção. Quanto mais próximo da fronteira, melhor será a eficiência relativa das unidades; se estiver em cima da fronteira, será eficiente e caso contrário, ineficiente.

5- Metodologia

5.1 Análise envoltória de dados (DEA)

A Análise Envoltória de Dados, DEA (Data Envelopment Analysis) é uma abordagem não-paramétrica que surgiu como uma alternativa objetiva de analisar eficiência relativa entre unidades de produção homogêneas, utilizando um mínimo de pressuposições sobre a tecnologia de produção. Ao longo do tempo, esta técnica vem despertando grande interesse entre os acadêmicos. Evidência disso pode ser constatada pelo número crescente de seu uso em artigos publicados em periódicos científicos, congressos e seminários das mais diversas áreas do conhecimento.

Desde 1978, com a publicação do trabalho seminal de Charnes, Cooper e Rhodes, a DEA tem se tornado uma ferramenta importante na análise do desempenho de unidades de produção.

As duas abordagens mais utilizadas na análise de eficiência relativa de unidades de produção podem ser classificadas em paramétricas e não-paramétricas. A paramétrica utiliza a econometria, especificamente, na estimação das funções de produção e fronteira de produção estocástica. Esta abordagem requer que sejam especificadas formas funcionais que relacionam os insumos e os produtos e utiliza medidas de tendência central para analisar a eficiência das unidades de produção em relação à unidade "média". A não-paramétrica, utiliza a programação matemática, especificamente, na programação linear. A partir dos dados disponíveis sobre as unidades de produção, é construída uma fronteira linear por partes e, utilizando-se medidas radiais e de função de distância, analisa-se a eficiência das unidades de produção em relação à distância da fronteira construída com as "melhores" unidades de produção (as mais eficientes).

De acordo com CHARNES et al. (1994), o pressuposto inicial é que, se uma unidade de produção "£" for dita eficiente, utilizando-se certa quantidade de insumo, e conseguir produzir certa quantidade de produto, espera-se que qualquer outra unidade, utilizando-se a mesma quantidade de insumo, possa produzir o mesmo nível de produto que "£", se estas também operarem eficientemente. A ideia central dessa técnica é encontrar a melhor unidade

"virtual" para cada unidade real. Se a unidade "virtual", que pode ser uma combinação convexa de outras unidades reais, conseguir produzir maiores quantidades de produtos, utilizando-se a mesma ou menor quantidade de insumos, então a unidade de produção real será ineficiente. Esta abordagem, não obstante ser determinística, possui inúmeras virtudes em relação à abordagem paramétrica, e seu uso se encontra generalizado nos trabalhos empíricos de análise de eficiência relativa das unidades de produção (LINS e MEZA, 2000; GOMES e BAPTISTA, 2004).

Embora a análise da função de produção e eficiência pela abordagem de programação matemática já tenha começado bem antes dos anos 70, foi o trabalho de CHARNES et al. (1978) que introduziu na literatura o termo *Data Envelopment Analysis* (DEA), técnica não-paramétrica que utiliza a programação matemática para analisar a eficiência relativa das unidades de produção (DMUs)¹.

Segundo CHARNES et al. (1994), para estimar e analisar a eficiência relativa das DMUs, a DEA utiliza a definição de ótimo de Pareto, segundo o qual nenhum produto pode ter sua produção aumentada sem que sejam aumentados os seus insumos ou diminuída a produção de outro produto, e, de forma alternativa, quando nenhum insumo pode ser diminuído sem ter que diminuir a produção de algum produto. A eficiência é analisada, relativamente, entre as unidades.

CHARNES et al. (1978) generalizaram o trabalho de FARRELL (1957), para incorporar a natureza "multiproduto" e "multiinsumo" da produção, propondo a técnica DEA para a análise das diferentes unidades, quanto à eficiência relativa.

Geralmente, a DEA pode ser formulada pela abordagem com orientação-insumo ou orientação-produto. Na formulação com orientação-insumo, o objetivo é procurar minimizar o máximo possível os insumos, mantendo o mesmo nível de produto. A medida de eficiência para cada DMU é obtida pela razão entre a soma ponderada dos produtos e a soma ponderada dos insumos. Para a i -ésima DMU, tem-se

¹ DMUs (Decision Making Units) é um termo utilizado na técnica DEA para referenciar unidades homogêneas que utilizam insumos semelhantes para produzir produtos semelhantes e têm autonomia para tomar decisões.

$$\text{Eficiência da DMU } i = \frac{\mu y_i}{v x_i} = \frac{\mu_1 y_{1i} + \mu_2 y_{2i} + \dots + \mu_m y_{mi}}{v_1 x_{1i} + v_2 x_{2i} + \dots + v_k x_{ki}}, \quad (2)$$

em que μ é um vetor ($m \times 1$) de pesos associados aos produtos e v é um vetor ($k \times 1$) de pesos associados aos insumos; y refere-se aos produtos; e x , aos insumos utilizados na i -ésima DMU.

O modelo DEA com orientação-produto, de acordo com CHARNES et al. (1994) e ESTELLITA LINS e MEZA (2000), pode ser representado, algebricamente, por

$$\text{Eficiência da DMU}_i = \frac{v x_i}{\mu y_i}, \quad (3)$$

em que μ é um vetor ($m \times 1$) de pesos associados aos produtos; v é um vetor ($k \times 1$) de pesos associados aos insumos; y refere-se aos produtos; e x , aos insumos utilizados na i -ésima DMU. Entretanto, tendo em vista as dificuldades que surgem devido à aleatoriedade na ponderação nos insumos e produtos por parte das DMUs, sendo que *a priori* se requer que esses conjuntos de pesos sejam iguais para todas as DMUs, torna-se necessário estabelecer um problema que permita que cada DMU adote o conjunto de pesos que lhe for mais favorável, em relação às demais. Para tanto, CHARNES et al. (1978) introduziram o modelo CCR² da análise envoltória de dados, formulando um Problema de Programação Fracionária, cujas variáveis representam os pesos mais favoráveis para a i -ésima DMU sob análise. Algebricamente, o problema é o seguinte:

$$\min_{\mu, v} = \frac{v x_i}{\mu y_i}, \quad (4)$$

$$\text{s.a. } \frac{v x_j}{\mu y_j} \geq 1, \quad j = 1, 2, \dots, N.$$

$$\mu, v \geq 0,$$

² CCR corresponde às iniciais de Charnes, Cooper e Rhodes.

em que N é o número de DMUs a serem analisados; y é vetor de produtos; x é vetor de insumos; μ , vetor de pesos associados aos produtos; e v , vetor de pesos associados aos insumos.

O problema envolve a determinação dos pesos μ e v , de tal forma que a razão entre a soma ponderada dos insumos e a soma ponderada dos produtos, da i -ésima DMU sob análise, seja minimizada e sujeita à restrição de que a razão entre a soma ponderada dos insumos e a soma ponderada dos produtos, de todas as DMUs, não seja menor que um. Desse modo, caso a eficiência estimada para a i -ésima DMU seja igual a 1, ela será eficiente em relação às demais; caso contrário, será ineficiente, pois existem DMUs que combinam, de forma mais eficiente, os seus insumos e produtos, razão por que são mais eficientes.

Entretanto, tendo em vista que o Problema de Programação Fracionária (4) tem infinitas soluções e, com vistas em transformar o Problema de Programação Fracionária em um Problema de Programação Linear (PPL), CHARNES e COOPER (1962) propuseram a seguinte transformação:

$$\begin{aligned}
 \min_{\mu, v} &= vx_i \\
 \text{s.a. } &\mu y_i = 1, \\
 &-\mu y_j + vx_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, N. \\
 &\mu, v \geq 0.
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Pela dualidade implícita nos Problemas de Programação Linear, CHARNES et al. (1994) e ESTELLITA LINS e MEZA (2000) apresentaram a formulação dual do problema (5), que é o modelo de envoltória, e procuraram maximizar o aumento proporcional nos níveis de produto, mantendo fixa a quantidade de insumos. Este modelo pode ser representado, algebricamente, por:

$$\begin{aligned}
& \max_{\phi, \lambda} \phi, \\
& \text{s.a.} \quad \phi y_i - Y\lambda \leq 0, \\
& \quad -x_i + X\lambda \leq 0, \\
& \quad -\lambda \leq 0,
\end{aligned} \tag{6}$$

em que y_i é um vetor ($m \times 1$) de quantidades de produto da i -ésima DMU; x_i é um vetor ($k \times 1$) de quantidades de insumo da i -ésima DMU; Y é uma matriz ($n \times m$) de produtos das n DMUs; X é uma matriz ($n \times k$) de insumos das n DMUs; λ é um vetor ($n \times 1$) de pesos; e ϕ é uma escalar que tem valores iguais ou maiores do que 1 e indica o escore de eficiência das DMUs, em que um valor igual a um indica eficiência técnica relativa da i -ésima DMU, em relação às demais, e um valor maior do que um evidencia a presença de ineficiência técnica relativa. O $(\phi-1)$ indica o aumento proporcional nos produtos que a i -ésima DMU pode alcançar, mantendo constante a quantidade de insumo. Nota-se, também, que $1/\phi$ é o escore de eficiência técnica da i -ésima DMU e varia de 0 a 1. O problema apresentado em (5) é resolvido n vezes - uma vez para cada DMU, e, como resultado, apresenta os valores de ϕ e λ , sendo ϕ o escore de eficiência da DMU sob análise e λ fornece os *peers* (as DMUs eficientes que servem de referência ou *Benchmark* para a i -ésima DMU ineficiente).

Com vistas em incorporar a possibilidade de retornos variáveis à escala, BANKER et al. (1984) propuseram o modelo BCC³ da análise envoltória de dados, introduzindo uma restrição de convexidade no modelo CCR, apresentado no PPL (6). O modelo BCC, apresentado no PPL (7), é menos restritivo⁴ do que o modelo CCR e permite, de acordo com BANKER e THRALL (1992), decompor a eficiência técnica em eficiência de escala e “pura” eficiência técnica (ver equação 8). Para analisar a eficiência de escala, torna-se necessário estimar a eficiência das DMUs, utilizando-se tanto o modelo CCR (6) como o BCC (7). A ineficiência de escala é evidenciada quando existem diferenças no escore desses dois modelos.

O modelo BCC, que pressupõe retornos variáveis à escala, pode ser representado pela seguinte notação algébrica:

³ BCC corresponde às iniciais de Banker, Charnes e Cooper.

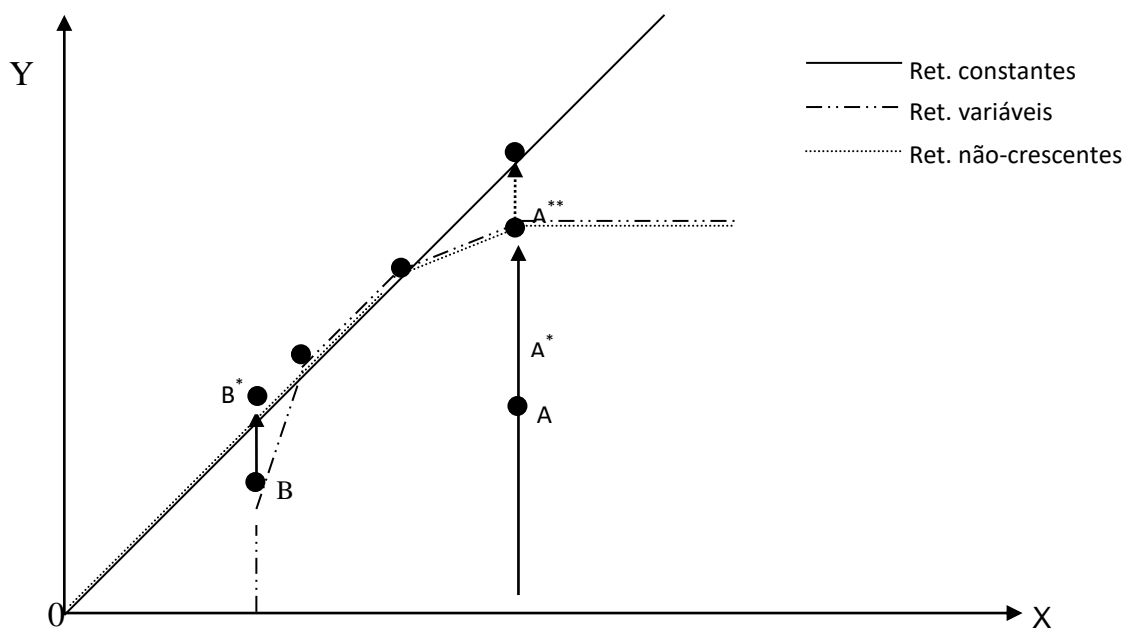
⁴ Porque permite menor discriminação das diferenças entre as DMUs.

$$\begin{aligned}
& \max_{\phi, \lambda} \phi, \\
& \text{s.a.} \quad \phi y_i - Y\lambda \leq 0, \\
& \quad - x_i + X\lambda \leq 0, \\
& \quad N1'\lambda = 1, \\
& \quad - \lambda \leq 0,
\end{aligned} \tag{7}$$

em que N1 é um vetor (nx1) de números uns. As demais variáveis foram anteriormente descritas.

A Figura 2 ilustra exemplos de envoltória com as pressuposições de retornos constantes, variáveis e não-crescentes à escala, com orientação-produto.

Na Figura 2, nota-se que a unidade de produção indicada em A é considerada ineficiente. A sua projeção na fronteira de eficiência com retornos variáveis e não-crescentes é representada pelo ponto A*, e a sua projeção na fronteira de eficiência com retornos constantes é representada pelo ponto A**. Ao verificar a unidade de produção indicado pelo ponto B, nota-se que ela é eficiente ao considerar a fronteira de eficiência com retornos variáveis. Entretanto, ela não é eficiente em relação à fronteira com pressuposição de retornos constantes ou não-crescentes. A sua projeção na fronteira de retornos constantes é representada pelo ponto B*.



Fonte: Baseado em FRIED et al. (1993).

Figura 2 - Ilustração dos retornos à escala com orientação-produto.

Mesmo que seja evidenciada a existência de ineficiência de escala, ainda não se sabe qual a natureza dessa ineficiência, isto é, se ela se deve a retornos crescentes ou a retornos decrescentes à escala. Para que seja contornada esta situação, torna-se necessário estimar a eficiência das DMUs utilizando-se uma restrição que pressupõe a existência de retornos não-crescentes à escala, o que resulta na substituição da restrição $N1'\lambda = 1$ pela restrição $N1'\lambda \leq 1$, no modelo apresentado no PPL (7). A natureza dos retornos à escala é analisada quando se compara o resultado do modelo CCR, BCC e o BCC com retornos não-crescentes. Se o coeficiente de eficiência do modelo CCR for igual ao do modelo BCC, haverá eficiência de escala; caso contrário, analisando-se os coeficientes de eficiência do modelo BCC com retornos não-crescentes e o modelo CCR, se forem iguais, haverá ineficiência de escala, que será devida à presença de retornos crescentes à escala. Caso contrário, isto é, se o coeficiente do modelo BCC com retornos não-crescentes for maior do que o do modelo CCR, a ineficiência será devida à presença de retornos

decrecentes à escala. Dessa forma, de acordo com BANKER (1984), é possível determinar a escala ótima de cada unidade de produção.

A eficiência técnica é definida por

$$\text{Eficiência técnica} = \text{Eficiência de escala} \times \text{“Pura” eficiência técnica.} \quad (8)$$

Alguns trabalhos recentes que aplicaram o modelo DEA, no setor elétrico brasileiro são: com foco na qualidade tem-se PINHEIRO (2012) Regulação por Incentivo a Qualidade: Comparação de Eficiência entre Distribuidoras de Energia Elétrica no Brasil, e SALES (2011) Proposta de um modelo utilizando Análise Envoltória de Dados – DEA na definição das metas dos indicadores de qualidade comercial das distribuidoras de Energia Elétrica – DER e FER.

Com foco nos custos operacionais tem-se RESENDE, S. M. et al(2014) Avaliação cruzada das distribuidoras de energia elétrica; GALVÃO(2008) Análise envoltória de dados aplicada ao setor brasileiro de distribuição de energia elétrica; GOULART (2013) Avaliação de Índice de Eficiência e Produtividade de Distribuidoras de Energia Elétrica no Brasil Aplicando Análise Envoltória de dados (DEA); e SOUZA (2008) Uma abordagem bayesiana para o cálculo dos custos operacionais eficientes das distribuidoras de energia elétrica.

5.2 Dados e variáveis

Os dados utilizados foram retirados da base de dados da Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE) e dos sites das empresas observadas. Neste trabalho foi avaliada a eficiência das 16 melhores empresas de distribuição de energia elétrica, de acordo com o Ranking da Continuidade do Serviço da ANEEL em 2016. O Ranking da Continuidade visa comparar o desempenho de uma distribuidora em relação às demais empresas do país. O indicador permite avaliar o nível da continuidade da distribuidora (valores apurados de duração e frequência de interrupções) em relação aos

limites estabelecidos para a sua área de concessão (limites determinados pelas resoluções autorizativas da ANEEL). Desde 2013, o ranking é utilizado para definição das tarifas de energia elétrica. As empresas são incentivadas a melhorar a qualidade e são compensadas por meio de ajuste em suas tarifas. Da mesma forma, as distribuidoras que pioram o seu desempenho têm suas tarifas reduzidas. O ranking da continuidade do serviço é publicado anualmente pela ANEEL.

As variáveis que foram utilizadas para análise como insumos são trabalho, despesas operacionais, empréstimos, e capital próprio. E os produtos foram área de cobertura, número de consumidores, e total de energia fornecida.

Sendo o insumo trabalho, o número de funcionários relatados pelas demonstrações contábeis e gerenciais da empresa; o insumo capital próprio, que é o valor contabilizado como capital social, registrado na conta do passivo do balanço; o insumo empréstimos, composto por todos os empréstimos e financiamentos registrados no passivo do balanço patrimonial; e o insumo despesas operacionais, são gastos com serviço, produção e salários, engloba todas as despesas operacionais registradas na demonstração de resultado.

O produto área de cobertura é a área de concessão, a extensão em quilômetros quadrados da área de atuação da distribuidora; o produto número de consumidores é a quantidade de consumidores cativos atendidos pelas empresas; o produto total de energia fornecida é a quantidade de energia comercializada em Gigawatt-hora (GWh).

E as empresas utilizadas como DMU's foram as seguintes: Companhia Energética do Maranhão (Cemar), Companhia Energética do Ceará (Coelce), Energisa Paraíba - Distribuidora de Energia, Energisa Mato Grosso do Sul - Distribuidora de Energia S.A, Elektro Eletricidade e Serviços S.A.(Elektro), Espírito Santo Centrais Elétricas S.A. (Escelsa), Energisa Sergipe - Distribuidora de Energia S.A., Energisa Mato Grosso - Distribuidora de Energia S.A., Energisa Minas Gerais – Distribuidora de Energia S.A., Amazonas Distribuidora de Energia S.A (Ame), Companhia Paulista de Força E Luz (Cpfl-Paulista), Bandeirante Energia S.A. (Bandeirantes), CEMIG Distribuição S.A (Cemig), Centrais Elétricas do Pará S.A. (Celpa), Companhia Energética do Rio

Grande do Norte (Cosern) e Companhia Piratininga de Força E Luz (Cpfl-Piratininga). Para fazer a análise dos resultados foi utilizado o programa DEAP.

6- Resultados

Como visto a metodologia utilizada foi a DEA, que mede retornos constantes e retornos variáveis. Com o modelo CCR obtêm-se retornos constantes de escala, em que qualquer variação no produto, leva a uma variação proporcional no insumo. E com modelo BCC observam-se retornos variáveis de escala, qualquer variação no produto não leva a uma variação proporcional no insumo. A eficiência de escala é a divisão da eficiência técnica com retornos constantes (CCR) pela eficiência técnica com retornos variáveis (BCC). Para todos os indicadores calculados (retornos constantes, retornos variáveis, e eficiência de escala), valores iguais a um indicam eficiência, e menores que um indicam ineficiência, e quanto mais próximo de zero, maior sua ineficiência. Lembrando que a formulação utilizada foi a orientação-produto.

Assim, utilizando os dados para 2015 verificou-se que apenas 7 das 16 empresas avaliadas foram consideradas eficientes, ou seja, 44% das empresas foram eficientes. E em 2016, observou-se o aumento de apenas 1 empresa, ou seja, passou para 8, 50%, o numero de empresas consideradas eficientes (Tabela 2).

Tabela 2 – Análise de eficiência técnicas das empresas de energia elétrica, 2015-2016

Classe de eficiência	Modelo CCR		Modelo BCC		Eficiência de Escala	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016
0,0<E<0,4	1	2	0	0	0	1
0,4<E<0,6	2	1	2	1	1	0
0,6<E<0,8	3	2	1	2	1	1
0,8<E<1	3	3	3	1	7	6
E=1	7	8	10	12	7	8
Média	0,824	0,843	0,907	0,928	0,903	0,900

Fonte: Resultados da pesquisa.

No ano de 2016 em relação a 2015 houve um aumento da média do modelo CCR de aproximadamente 2%, que era de 0,824, em 2015, passou para 0,843. Observou-se também um aumento no modelo BCC que era de 0,907, em 2015, passado para 0,928, em 2016. Já a eficiência de escala verificou-se uma redução de 0,903 em 2015 para 0,900 em 2016. Este resultado indica que a empresas podem aumentar a sua produção em aproximadamente 11%⁵.

As empresas consideradas eficientes em ambos os modelos, em 2015, e sem problema de escala, nos dois anos avaliados, são: Bandeirantes, Cemig, Celpa, Cpfl Piratininga, Energisa Mato Grosso, Ame, Coelsa (Tabela 3). São as únicas empresas, que utilizam de forma ótima seus insumos e em proporções adequadas, em relação aos produtos totais. Essas empresas consideradas eficientes pelo modelo BCC, são *benchmarks*, referência, para as empresas consideradas ineficientes pelo modelo.

Tabela 3 – Escore de eficiência das empresas distribuidoras de energia, 2015

Empresas	Modelo CCR	Modelo BCC	Eficiência de Escala
Cemar	0,709	0,744	0,953
Bandeirantes	1	1	1
Escelsa	0,772	0,937	0,824
Cemig	1	1	1
Cosern	0,964	1	0,964
Cpfl Paulista	0,8	1	0,8
Celpa	1	1	1
Cpfl Piratininga	1	1	1
Energisa Minas Gerais	0,513	1	0,513
Energisa Mato Grosso Sul	0,801	0,97	0,825
Energisa Mato Grosso	1	1	1
Energisa Paraíba	0,492	0,599	0,821
Energisa Sergipe	0,338	0,441	0,767
Elektro	0,796	0,814	0,978
Ame	1	1	1
Coelse	1	1	1

Fonte: Resultados da pesquisa.

⁵ Para calcular o aumento do produto é usada a seguinte equação $(\frac{1}{0} - 1)$.

Pode-se observar pelos resultados que no ano de 2015 as empresas Cemar, Escelsa, Energisa Mato Grosso Sul, Energisa Paraíba, Energisa Sergipe, e Elektro são consideradas ineficientes em ambos os modelos, CCR e BCC, e com problemas de escala. Já a Cosern, Cpfl Paulista e a Energisa Minas Gerais foram consideradas ineficientes apenas pelo modelo CRR, e com problemas de escala. No entanto a Cosern se encontra próxima a fronteira de eficiência, diferente da Energisa Minas Gerais. Sendo a Energisa Minas e a Energisa Sergipe as que apresentaram o pior desempenho na eficiência de escala. Tais empresas podem se tornar mais eficientes, aumentando sua produção e mantendo a quantidade de insumo. A Energisa Sergipe foi a empresa que apresentou o pior desempenho, sendo que no modelo CCR ela poderia aumentar o seu produto em aproximadamente 196% já no modelo BCC ela poderia crescer a sua produção em 126% sem alterar os seus insumos.

Já na Tabela 4, referente ao ano de 2016, observa-se que o grupo empresas consideradas eficientes em ambos os modelos e sem problema de escala, continua sendo Bandeirantes, Cemig, Celpa, Cpfl Piratininga, Energisa Mato Grosso, Ame, Coelse, acrescentando apenas a Cosern. E as empresas Cemar, Escelsa, Energisa Paraíba e Energisa Sergipe foram consideradas ineficientes por ambos os modelos e com problemas de escala. E as empresas Cpfl Paulista, Energisa Minas Gerais, Energisa Mato Grosso Sul e Elektro, foram consideradas ineficientes apenas pelo modelo CCR, e com problemas de escala, observa-se que em relação ao ano anterior tais empresas se tornaram eficientes pelo modelo BCC. Como no ano anterior a Energisa Minas Gerais e Energisa Sergipe apresentaram os menores escores no modelo CCR.

Tabela 4 - Escore de eficiência das empresas distribuidoras de energia, 2016

Empresas	Modelo CCR	Modelo BCC	Eficiência de Escala
Cemar	0,689	0,713	0,966
Bandeirantes	1	1	1
Escelsa	0,769	0,951	0,809
Cemig	1	1	1
Cosern	1	1	1
Cpfl Paulista	0,95	1	0,95
Celpa	1	1	1
Cpfl Piratininga	1	1	1
Energisa Minas Gerais	0,356	1	0,356
Energisa Mato Grosso Sul	0,864	1	0,864
Energisa Mato Grosso	1	1	1
Energisa Paraíba	0,505	0,613	0,825
Energisa Sergipe	0,386	0,572	0,675
Elektro	0,962	1	0,962
Ame	1	1	1
Coelse	1	1	1

Fonte: Resultados da pesquisa.

A ineficiência dessas empresas esta associada a problemas de alocação dos insumos, ou seja, estas empresas podem melhorar seu desempenho seguindo as empresas de referência. Assim para que essas empresas atuem na fronteira de eficiência, com receitas semelhantes, devem avaliar e reorganizar sua forma de produção.

Comparando as médias dos anos 2015 e 2016, do modelo BCC observamos que em 2015, o modelo indica que as empresas devem aumentar sua produção em aproximadamente em 10,25%, já no ano de 2016 em aproximadamente 7,75%. Indicando assim uma melhora na eficiência técnica com retornos variáveis. E comparando as médias do modelo CCR, observa-se, que houve também uma melhora da eficiência técnica de retornos constantes. Visto que o modelo CCR propõe um crescimento da produção de aproximadamente de 21,35% em 2015, de 18,62% em 2016. Observando uma piora apenas na eficiência de escala, que indicava um crescimento de aproximadamente, 10,74% da produção das empresas, em 2015, passou a indicar, em 2016, um aumento de 11,11% da produção das empresas.

Sabendo que as empresas *Benchmarks*, são as consideradas eficientes pelo modelo BCC, ela pode ser considerada uma empresa referência para as empresas ineficientes.

Observa-se na Tabela 5 quais são as *benchmarks* indicados para cada empresa.

Tabela 5 – Benchmarks para as empresas distribuidoras de energia ineficientes, 2015

Empresas	<i>benchmarks</i>
Cemar	Cemig, Cosern, Celpa, Coelse,
Escelsa	Bandeirantes, Energisa Minas Gerais, Coelse
Energisa Mato Grosso Sul	Bandeirantes, Energisa Minas Gerais, Energisa Mato Grosso, Eletrobrás, Coelse
Energisa Paraíba	Cemig, Energisa Minas Gerais, Coelse
Energisa Sergipe	Cemig, Energisa Minas Gerais, Energisa Mato Grosso, Coelse
Elektro	Cemig, Energisa Minas Gerais, Coelse

Fonte: Resultados da pesquisa.

Sabendo que as empresas benchmarks, não são apenas aquelas que melhor utilizam seus insumos em relação aos seus produtos, mas também aquela que melhor se assemelha a empresa ineficiente, ou seja, a que possui quantidade de insumos ou produtos parecidos e que apresentam resultados que possam ser alcançado por tal empresa. Vê-se que as empresas mais utilizadas como referência no ano de 2015 são: Cemig, Energisa Minas Gerais e Coelse.

Tabela 6 – Benchmarks para as empresas distribuidoras de energia ineficientes, 2016

Empresas	<i>benchmarks</i>
Cemar	Cemig, Cosern, Celpa, Energisa Minas Gerais
Escelsa	Bandeirantes, Energisa Minas Gerais, Coelse
Energisa Paraíba	Cemig, Cosern, Energisa Minas Gerais, Coelse
Energisa Sergipe	Cemig, Cosern, Energisa Minas Gerais, Elektro

Fonte: Resultados da pesquisa.

Já no ano de 2016 vê-se que a Cemig, a Energisa Minas Gerais e a Coelse, continuam sendo as mais indicadas como referência, juntamente com a Cosern que se tornou eficiente em ambos os modelos e acabou com seu problema de escala. Em relação a 2015, como as empresas Energisa Mato Grosso Sul e Elektro, se tornaram eficientes no modelo BCC, não se encontram mais na tabela.

Enfim, observa-se que cerca da metade das empresas avaliadas são eficientes, em ambos os modelos e não apresentam problemas de escala. E que as consideradas ineficientes em algum dos modelos e com problemas de escala, podem melhorar suas eficiência se seguir os moldes das empresas dadas como referência, e realocar seus insumos em relação aos seus produtos, ou seja, reduzir os gastos com produção, lhes ajudará a produzir de forma eficiente.

7- Conclusão

Como a energia elétrica é um dos principais setores da economia promotores de desenvolvimento do país. Esse trabalho buscou avaliar a eficiência das empresas distribuidoras de energia elétrica do país. Para alcançar os resultados utilizou-se o DEA.

Os resultados encontrados indicam que cerca de 50% das empresas distribuidoras de eletricidade avaliadas vem operando com problemas de escala. Comparando o ano de 2015 ao de 2016, verifica-se que apenas uma das empresas ineficientes se tornou totalmente eficiente, mas outras se tornaram eficientes no modelo BCC. Observasse que apenas duas das empresas não se encontra próxima a fronteira de eficiência.

O modelo de retornos constantes de escala apresenta escores médios de eficiência menor que 0,900, porém maior que 0,800. Enquanto o modelo de retornos variáveis de escala mostram escores médios de eficiência 0,90 – e 0,928, nos anos de 2015 e 2016 respectivamente. Demonstra-se certo grau de homogeneidade entre as empresas, com a necessidade de reduções nos gastos com fatores de produção para que possam produzir de forma eficiente, ou seja, revejam a alocação dos seus insumos em relação aos seus produtos. Pois o modelo CCR propõe um crescimento da produção de aproximadamente de 21,35% em 2015, de 18,62% em 2016. O modelo BCC propõe um crescimento, aproximado, da produção de 10,25% e 7,75%, nos anos 2015 e 2016, respectivamente. E a Eficiência de Escala propõe que a empresas aumentem sua produção em 10,74% em 2015, e em 2016, 11,11%, aproximadamente. As empresas distribuidoras de eletricidade tem incentivos para aumentarem sua eficiências. Como ranking da ANAEEL, em que as empresas que melhoram a qualidade são compensadas por meio de ajuste em suas tarifas, e as que pioram tem como “punição” a redução das tarifas.

Assim percebe-se que das empresas avaliadas a maioria são eficientes de alguma forma, ou se encontram próximos a fronteira de eficiência. E as empresas ineficientes e com problemas de escala, devem realocar ou reorganizar seus insumos em relação ao seu produto, de forma que acabe com

seu problema na produção, e passe a produzir de forma eficiente, e assim melhorar sua competitividade.

Desta forma, recomenda-se para trabalhos posteriores que ampliem o período estudado, e faça uma comparação, da forma como essas empresas vêm se comportando ao longo do período. E aumentar também a quantidade de empresas analisadas.

Referência Bibliográfica

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Ranking da Continuidade do Serviço 2016 da ANEEL**. Acesso em: 24/08/17. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/qualidade-do-fornecimento-de-energia-eletrica-melhora-em-2016/656877?inheritRedirect=false

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA. **Banco de Bados**. Acesso em: 24/08/17. Disponível em: <http://www.abradee.com.br/setor-de-distribuicao/banco-de-dados/banco-de-dados>

ALTOÉ, A.V. **Estudo da influência de variáveis relacionadas às decisões de financiamento na eficiência técnica das distribuidoras de energia elétrica brasileiras no período de 2006 a 2009**. 2012. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2012.

BRAGA, Ministro Eduardo. **Panorama Geral do Setor Elétrico 2015**

BRIGATTE, HENRIQUE; GOMES, MARÍLIA. F. M; SANTOS, MAURINHO. L; COSTA, ALEXANDRE. A. **Análise de eficiência relativa das distribuidoras de energia elétrica brasileiras das regiões Sudeste/Nordeste 2011**. Acesso em: 26/10/17. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/rpe/article/view/7387/5360>

CARVALHO, FRANCISCO P. L. **Eficiência econômica-financeira do setor de energia elétrica brasileiro nos anos de 2010 e 2011**. 2012. Acesso em: 08/11/17. Disponível em: https://monografias.ufrn.br/jspui/bitstream/1/295/1/FranciscoPLC_Monografia.pdf

CHARNES, A.; COOPER W.W., Programming with linear fractional functionals, **Naval Research Logistics Quarterly** 9, 181-185, 1962. fractional functionals, **Naval Research Logistics Quarterly** 9, 181-185.

CHARNES, A., COOPER, W.W., RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, p. 429-444, 1978.

CHARNES, A., COOPER, W.W., LEWIN, A.Y., SEIFORD, L.M. **Data envelopment analysis: theory, methodology, and application**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1994.

COELLI, T.J., RAO, P., BATTESE, G.E. **An introduction to efficiency and productivity analysis**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1998. 275p.

DEBERTIN, D.L. **Agricultural production economics**. New York: New York, 1986, Macmillon Publishing Company, 366p.

Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário estatístico de energia elétrica** 2011.

FARREL, M.J. **The measurement of productive efficiency**. Journal of the Royal Statistical Society, Series A, part III, p. 253-290, 1957.

FARRELL, M.J. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 120, p. 252-290, 1957.

FRIED, H.O., LOVELL, C.A.K., SCHMIDT, S.S. (Eds.). **The measurement of productive efficiency: techniques and applications**. Oxford: Oxford University, 1993. 425 p.

GALVÃO, PAULO J. L. N. **DEA como ferramenta de gestão regulatória da eficiência de transmissoras de energia Brasileiras** 2016. Acesso em: 15/11/17. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876412/Especializa%C3%A7%C3%A3o+Paulo+Galv%C3%A3o+2016.pdf/bf02f0ab-9ec6-4f27-82fa-c6483be7ea30>

GALVÃO, P. J. L. N. **Análise envoltória de dados aplicada ao setor brasileiro de distribuição de energia elétrica**. Rio de Janeiro: Faculdades lbmec, 2008.

GATTO, BRUNO BATISTA; **Panorama do setor elétrico brasileiro e maior inserção de formação de energia no país**. 2010. Acesso em: 18/11/17. Disponível em: file:///C:/Users/Onofre/Downloads/Gatto_Bruno_Batista.pdf

GOMES, ANTÔNIO. C.S.; ABARCA, CARLOS. D. G.; FARIA, ELÍADA. A.S.; FERNANDES, HELOÍSA. H. O. **O Setor Elétrico**. 2002. Acesso em : 20/03/2017. Disponível em: https://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/livro_setorial/setorial14.pdf.

GOMES, A. P., BAPTISTA, A. J. M.S., **Análise Envoltória de Dados**. In: SANTOS, M. L., VIEIRA, W.C., (ed.) **Métodos quantitativos em economia**. Editora da UFV. Viçosa. 2004.

GOULART, Diego Dorneles **Avaliação de Índices de Eficiência e de Produtividade de Distribuidoras de Energia Elétrica no Brasil Aplicando Análise Envoltória de Dados (DEA)**. 2013. XX f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica - Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Alegrete-RS. 2013.

(Ipea) Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada 2011 **Série Eixos do Desenvolvimento Brasileiro Sustentabilidade Ambiental no Brasil: biodiversidade, economia e bem-estar humano**. 2011

JACOB, FABRÍCIO. E. **Avaliação das demonstrações contábeis das distribuidoras de energia elétrica para estudo da eficiência comparativa**

utilizando Análise Envolvória de Dados (DEA) Ipea 2016. Acesso em: 30/06/17 Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876412/Disserta%C3%A7%C3%A3o+Fabricio+Jacob+2016.pdf/2dff5419-037f-4c7c-a8a0-63ae5857c4b9>

LEFTWICH, R.H. **O sistema de preços e a alocação de recursos**. São Paulo Pioneira, 1997. 452p.

LINS, M.P.E, MEZA, L.A. **Análise envoltória de dados e perspectivas de integração no ambiente de apoio à tomada de decisão**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2000.

MACHADO, MAURICIO. M. **Economias de Escala e Eficiência na Geração de Energia Elétrica no Brasil**. 2014

MINISTÉRIO MINAS E ENERGIA, **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro**.2015

MINISTÉRIO MINAS E ENERGIA, **Ranking Mundial de Energia e Socioeconomia** (anos 2012/13/14). Acesso em 20/11/17. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1139093/Ranking+Mundial+de+Energia+2015.pdf/f088fe16-e0d2-49ad-b72c-8376f749c661>

PINHEIRO, T. M. M. **Regulação por Incentivo à Qualidade: comparação de Eficiência entre Distribuidoras de Energia Elétrica no Brasil**. Tese de Mestrado em Engenharia Elétrica-UnB. 2012.

PIRES, ADRIANO, **Panorama do Mercado de Combustíveis e de Energia Elétrica**. 2016. Acesso em: 10/03/17. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-setoriais/acucar-e-alcool/anos-anteriores/panorama-mercadologico-cbie>

POMPERMAYER, FABIANO MEZADRE; NEGRI, FERNANDA; CAVALCANTE, LUIZ RICARDO. **Inovação tecnológica no setor elétrico brasileiro: uma avaliação do panorama de P&D regulado pela Aneel**. Ipea 2011. Acesso em: 15/03/17. Disponível em: http://ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/livros/livros/livro_inovacatecnologica.pdf

REZENDE, S. M. et al. **Avaliação cruzada das distribuidoras de energia elétrica**. Acesso em: 06/05/17. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-65132014000400008&script=sci_abstract&tlng=es .

RICCI, FABRICIO .**Origens e expansão da utilização da energia elétrica no vale do Paraíba no Estado de São Paulo**. 2013. Acesso em: 18/05/17. Disponível em: <http://www.ub.edu/geocrit/II Simp-Eletr-SaoPaulo/FabioRicci.pdf>

SALES, Gustavo Mangueira de Andrade. **Proposta de um modelo utilizando análise envoltória de dados - DEA na definição das metas dos indicadores da**

qualidade comercial das distribuidoras de energia elétrica - DER e FER. 2011. 91. Dissertação de Mestrado em Regulação – Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

SANTANA, EDUARDO ALVES ; OLIVEIRA, CARLOS AUGUSTO. C.N.V. **Análise da indústria de energia elétrica do Brasil: abordagem através da economia dos custos de transporte.** Acesso em: 20/06/2017. Disponível em: <http://ppe.ipea.gov.br/index.php/ppe/article/viewFile/189/123>

SILVA, NIÁGARA; FÉRES, JOSÉ; LÍRIO, VIVIANE. **Análise da Estrutura da Demanda de Energia Elétrica Residencial Segundo os Quantins de Consumo.** IPEA 2012. Acesso em: 20/09/17. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/radar/121114_radar22_cap6.pdf

SOUZA, M. V. P. **Uma abordagem bayesiana para o cálculo dos custos operacionais eficientes das distribuidoras de energia elétrica.** Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica - Pontifícia Católica do Rio de Janeiro, 2008.

TALMOSQUIM, MAURICIO. T. **Perspectivas e planejamento do setor energético brasileiro.** Acesso em: 30/09/17. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142012000100017

TORESAN,L. **Sustentabilidade e desempenho produtivo na agricultura - Uma abordagem multidimensional aplicada a Empresas Agrícolas.** Florianópolis: UFSC, 1998. Tese (Doutorado em Engenharia da Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina,1998.