

---

## **Data Envelopment Analysis - DEA no setor elétrico brasileiro: uma proposta para validação dos resultados**

Sérgio Luiz da Rocha Fiúza Branco Júnior

Ms. em Administração pela UFMG/CEPEAD. Professor na Fundação Dom Cabral e na Fundação Getúlio Vargas  
sergio@redealumni.com

Ana Lúcia Miranda Lopes

Pós-Doutorado pela Aston Business School, Birmingham, UK. Professora Associada do Departamento de Ciências Administrativas da Faculdade de Ciências Econômicas - FACE/UFMG analopes.ufmg@gmail.com

Bruno de Almeida Vilela

Doutorado sanduíche pela Technische Universität Braunschweig, no Institut für Controlling & Unternehmensrechnung. Doutorando pelo Centro de Pesquisas e Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal de Minas Gerais  
brunoavilela@gmail.com

Reginaldo de Jesus Carvalho Lima

Doutorado em Administração pelo CEPEAD/UFMG. Professor do MPA e coordenador do curso de graduação em Administração da FPL  
reginaldo.lima@fpl.edu.br

Editor Científico: José Edson Lara  
Organização Comitê Científico  
Double Blind Review pelo SEER/OJS  
Recebido em 27.05.2018  
Aprovado em 28.06.2018



Este trabalho foi licenciado com uma Licença Creative Commons - Atribuição – Não Comercial 3.0 Brasil

## Resumo

O presente trabalho buscou identificar o modelo de *Data Envelopment Analysis* (DEA) que melhor reflete a visão dos especialistas do setor de distribuição de energia elétrica brasileira a respeito da eficiência das empresas que nele atuam. DEA tem sido largamente utilizado para fins de regulação neste setor como metodologia de identificação do custo eficiente das empresas de distribuição e transmissão de energia elétrica. Para obtenção dos resultados, foram compiladas opiniões de especialistas do setor, de forma a obter um *ranking* das empresas de distribuição de energia elétrica a ser confrontado com diferentes modelos DEA utilizados na literatura, utilizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, e propostos em audiências públicas. Para a análise, utilizou-se ferramentas estatísticas como correlação de Spearman e o teste *t* de Student. Os resultados apontaram que os modelos que melhor refletem a opinião dos especialistas foram os propostos por Bogetoft e Lopes (2015).

**Palavras-chave:** Data Envelopment Analysis - DEA, regulação de empresas de energia, distribuição de energia elétrica, validação.

## **Data Envelopment Analysis - DEA in the brazilian electricity sector: a proposal for validation of the results**

### **Abstract**

The present work sought to identify the Data Envelopment Analysis (DEA) model that best reflects the view of specialists in the Brazilian electricity distribution sector regarding the efficiency of the companies that operate in it. DEA has been widely used for regulatory purposes in this sector as a methodology for identifying the cost efficiency of electricity distribution and transmission companies. In order to obtain the results, expert opinions were compiled from the sector, in order to obtain a ranking of the electricity distribution companies to be confronted with different DEA models used in the literature, used by the National Electric Energy Agency (ANEEL) and proposed in public hearings. Statistical tools such as Spearman correlation and Student's t-test were used for the analysis. The results showed that the models that best reflect the opinion of the experts were those proposed by Bogetoft and Lopes (2015).

**Keywords:** Data Envelopment Analysis - DEA, regulation of energy companies, distribution of electricity, validation.

## **Data Envelopment Analysis - DEA en el sector eléctrico brasileño: una propuesta para la validación de los resultados**

### **Resumen**

El presente trabajo buscó identificar el modelo de análisis de involucramiento de datos (DEA) que mejor refleja la opinión de especialistas en el sector de distribución de electricidad brasileño con respecto a la eficiencia de las empresas que operan en él. DEA se ha utilizado ampliamente con fines regulatorios en este sector como una metodología para identificar la rentabilidad de las empresas de distribución y transmisión de electricidad. Para obtener los resultados, se recopilaron opiniones de expertos del sector, con el objetivo de obtener un ranking de las empresas distribuidoras de electricidad para enfrentar los diferentes modelos DEA utilizados en la literatura, utilizados por la Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL) y propuestos en audiencias públicas. Las herramientas estadísticas como la correlación de Spearman y la prueba t de Student se usaron para el análisis. Los resultados mostraron que los modelos que mejor reflejan la opinión de los expertos fueron los propuestos por Bogetoft y Lopes (2015).

**Palabras clave:** Data Envelopment Analysis - DEA, regulación de empresas de energía, distribución de electricidad, validación.

### **1 Introdução**

As empresas de distribuição de energia elétrica estão espalhadas por todo o país, com o objetivo de entregar a energia produzida aos consumidores. Elas não se diferenciam apenas pela região de atuação; neste mercado existem empresas privadas, estatais e de economia mista; empresas que atendem a estados inteiros e empresas que atendem a pequenas regiões; empresas de pequeno, médio e grande porte; enfim, empresas que podem ser diferenciadas a partir de inúmeros quesitos (Pires & Piccinini, 1999). Pelos investimentos elevados, necessários à implantação de uma nova empresa, o que impede a entrada de concorrentes, o setor de distribuição de energia elétrica é considerado monopólio natural (Agrell & Bogetoft, 2016). As distribuidoras de energia não podem estabelecer seus próprios preços, pois são signatárias de contratos de concessão e reguladas pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. A Agência tem, como uma de suas responsabilidades, a de fixar as tarifas máximas cobradas do consumidor por cada empresa de distribuição de energia

elétrica brasileira. Desta forma, sobre este setor é instituído o modelo de regulação de preços ou de regulação por incentivos (Salgado & Motta, 2005; Jenkins & Arriaga, 2017).

Com o objetivo de garantir o equilíbrio econômico-financeiro das distribuidoras de energia, a ANEEL - responsável por regular a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica no Brasil - realiza revisões das tarifas de distribuição de energia elétrica periodicamente, conforme previsto na Lei nº 8.987/95, tendo a primeira sido realizada em 2003 e abarcando 17 das 64 distribuidoras (Peano, 2005). Os contratos de concessão utilizam o regime de regulação *price-cap*, através do qual o regulador define uma tarifa inicial e o mecanismo de reajuste anual conforme inflação e ganhos de produtividade (Pessanha, Souza & Laurencel, 2007).

Nas revisões tarifárias periódicas que ocorrem, normalmente, a cada quatro anos, o preço-teto permitido a cada empresa é definido e os custos operacionais das empresas de distribuição são avaliados via técnicas de *benchmarking* de forma a se identificar um valor eficiente. Os resultados são, portanto, utilizados como um componente da definição das tarifas das distribuidoras. A metodologia *Data Envelopment Analysis (DEA)*, proposta por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), vem sendo utilizada pelo regulador brasileiro desde 2010 e visa não apenas comparar os desempenhos de cada concessionária, como também para identificar “*benchmarks* hipotéticos que servem de referência para cada distribuidora”. (Pessanha, Souza & Laurencel, 2007, pg. 1).

No setor elétrico, diferentes modelagens foram propostas por Growitsch, Jamasb e Pollitt (2009), ao estudarem regulação no setor elétrico europeu; por Growitsch, Jamasb e Wetzel (2010), ao avaliarem empresas norueguesas; por Giannakis, Jamasb e Pollitt (2005), ao analisarem variáveis qualitativas em DEA na Inglaterra. Corton, Zimmerman e Phillips (2016) buscaram avaliar o aprimoramento na qualidade dos serviços de distribuição de energia elétrica no Brasil. Rødseth (2017) avaliou a regulação ambiental e eficiência alocativa na substituição de carvão mineral por gás natural no setor de energia elétrica dos Estados Unidos. Bobde e Tanaka (2018) propuseram uma avaliação de DEA com dois estágios e *bootstrapping* da eficiência das empresas de distribuição de energia elétrica na Índia. Cada modelagem afeta os resultados encontrados, podendo inverter as definições de quais empresas são, realmente, eficientes e quais não são (Senra, 2007).

Neste contexto, seria desejável um método estruturado para validar os resultados obtidos pelo regulador em sua análise de eficiência do custo operacional eficiente das distribuidoras de energia elétrica brasileiras, em cada ciclo de revisão tarifária. Existe uma lacuna com relação à validação dos resultados obtidos pela metodologia. Um estudo de Bougnol e Dula (2006) propôs a validação do uso de DEA como ferramenta para produzir um *ranking* de universidades. Neste trabalho, os autores comparam os resultados obtidos por DEA com os de um relatório publicado pela instituição *The Center*, da Universidade da Flórida, que utilizava metodologia distinta para avaliar a mesma base de dados. A comparação apontou para resultados bastante equivalentes, o que segundo os pesquisadores serviu para validar DEA como ferramenta adequada para criação de *rankings* de Universidades.

O uso de publicações de referência como base para a validação de DEA em outros segmentos – vide Bougnol e Dula (2006), no qual propõem comparar DEA com outros *rankings* que classificavam universidades – abriu espaço para questionamentos sobre a ausência de validação dos resultados obtidos em modelos DEA implementados pela ANEEL. Frente a esse cenário, o presente artigo busca identificar, dentre as modelagens propostas por acadêmicos e reguladores para o cálculo dos custos operacionais eficientes utilizando a metodologia DEA no setor de distribuição elétrica, qual delas melhor retrata a real eficiência das concessionárias brasileiras de energia, na visão dos especialistas da área.

Este artigo está dividido em Introdução, na qual se faz uma breve exposição dos fatos que levaram ao estabelecimento dos objetivos do mesmo; referencial teórico onde se revisa o setor elétrico brasileiro, o histórico de regulação e técnicas de benchmarking; metodologia, resultados e conclusões.

## 2 Referencial teórico

### 2.1 Metodologias de benchmarking

As metodologias de *benchmarking* baseadas em fronteira buscam identificar as melhores práticas dentre as empresas analisadas, estimando a fronteira eficiente. As principais metodologias de benchmarking utilizadas por reguladores do setor de energia são: *Data Envelopment Analysis (DEA)*, *Corrected Ordinary Least Square (COLS)*, e *Stochastic Frontier Analysis (SFA)*, sendo o DEA baseado em

programação linear, enquanto o COLS e o SFA são baseados em técnicas estatísticas (ZANINI, 2004).

*Data Envelopment Analysis* (DEA) é largamente utilizada para avaliação da eficiência de empresas brasileiras, não só do setor elétrico. Pode-se destacar o estudo de Mello et al. (2003), que utilizou DEA para avaliar a eficiência e os *benchmarks* dentre as companhias aéreas brasileiras; o estudo de Calôba e Lins (2005), que utilizou DEA para avaliar a eficiência das empresas do setor de distribuição de gás natural no Brasil; os trabalhos de Sollero e Lins (2004) e Saurin, Lopes e Costa Júnior (2010), que avaliam a eficiência de distribuidoras de energia elétrica brasileiras utilizando DEA; a pesquisa de Lopes et al. (2009), que utiliza DEA para selecionar carteiras de ações; Lobo et al. (2016) avaliaram a eficiência de hospitais universitários; Périco, Santana e Rebellato (2017) utilizaram *bootstrap* DEA para avaliar a eficiência dos aeroportos internacionais brasileiros; Pereira e Tavares (2017) analisaram a eficiência das regiões mais produtivas de cana de açúcar no Brasil.

A modelagem CCR, assim chamada por ter sido introduzida por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), define um único score de eficiência para cada *Decision Making Unit* (DMU), resultado este obtido diretamente dos dados sem a necessidade de uma especificação *a priori* de pesos e/ou delimitação explícita da forma funcional presumidas de relações entre entradas e saídas. Em um trabalho posterior, Banker, Charnes e Cooper (1984) abordam a escala de operação como parte da análise, tornando possível separar a eficiência técnica da eficiência de escala. Neste contexto, a ineficiência técnica é identificada como falha para se atingir os melhores níveis de produção possíveis e/ou uso de quantidades excessivas de insumos; enquanto que a ineficiência de escala reflete o fato de uma eventual DMU não estar operando na escala ótima.

DEA é utilizado para cumprir dois objetivos principais: construir uma fronteira eficiente a partir de dados empíricos e computar uma medida de eficiência relacionando dados observados com esta fronteira. A partir de pontos observados, que são combinações de insumos e produtos de um conjunto de unidades, estabelece a medida de eficiência como sendo a distância de um ponto à sua projeção na fronteira, como uma generalização das medidas de eficiência de Farrell (1957). Esta fronteira eficiente é usada como referência contra a qual são comparadas as relações

insumo/produto de cada DMU. A fronteira estimada consiste na combinação de atividades de uma ou mais unidades de produção eficientes, formando uma envoltória linear sobre as demais unidades de produção observadas da amostra. As DMUs que possuírem a melhor relação “produto/insumo” serão consideradas eficientes e estarão situadas sobre essa fronteira, enquanto que as não eficientes estarão situadas numa região inferior à fronteira (Charnes, Cooper & Rhodes, 1978).

A análise DEA gera como resultado: (i) uma superfície envoltória que identifica as DMUs eficientes e ineficientes; (ii) uma medida de eficiência relativa para cada DMU; (iii) uma projeção da DMU ineficiente sobre a fronteira, gerando uma meta para a mesma; (iv) um conjunto-referência – *benchmarks* (unidades específicas que podem servir de exemplo para as DMUs ineficientes).

Um dos requisitos para a aplicação de DEA é a homogeneidade das DMUs, isto é, devem ter em comum a utilização dos mesmos *inputs* e *outputs*, realizarem as mesmas tarefas, com os mesmos objetivos, trabalhar nas mesmas condições de mercado e ter autonomia na tomada de decisões (Lins et al., 2007; Cook et al., 2017).

As diferentes em formulações DEA diferem, fundamentalmente: quanto ao tipo de orientação e quanto a suposições sobre o retorno de escala exibido, conforme tecnologia de produção. Com relação a este último item, cada modelagem DEA deve assumir um tipo de retorno de escala que represente o comportamento da operação à medida que os níveis de produção são significativamente alterados para mais ou para menos. Os tipos de retornos de escala geralmente considerados são os retornos constantes de escala (*constant returns to scale* – CRS), retornos não crescentes de escala (*non-increasing returns to scale* - NIRS), retornos variáveis de escala (*variable returns to scale* – VRS) e retornos não decrescentes de escala (*non-decreasing returns to scale* – NDRS).

As modelagens tradicionais de DEA (CCR e BCC) são, obrigatoriamente, orientadas à contração de insumos ou expansão radial de produtos. No modelo orientado a insumos, os escores de eficiência variam entre 0 e 1, sendo 1 o valor obtido pelas DMUs eficientes. As demais DMUs devem reduzir de forma equiproporcional seus insumos, multiplicando-os pelo escore obtido, para se tornarem eficientes, ou seja, produzir as mesmas quantidades de produtos ou serviços consumindo menores quantidades de recursos. No modelo orientado a produtos, os escores são números maiores ou iguais a 1, sendo 1 para as DMUs eficientes. As

demais DMUs devem expandir de forma equiproporcional seus produtos, multiplicando-os pelo score obtido, para se tornarem eficientes, ou seja, produzir mais mantendo o mesmo consumo de recursos. Ao somar-se as folgas de insumos e produtos obtém-se a eficiência de Pareto (Charnes et al., 1985)

O paper pioneiro de DEA, publicado em 1978 (Charnes, Cooper & Rhodes, 1978), propõe uma avaliação da eficiência relativa de *Decision Making Units (DMUs)* que operem globalmente sob retornos constantes à escala (CRS) e está baseado no modelo matemático que segue.

Modelo 1: CCR(CRS) dos multiplicadores orientado à insumo		Modelo 2: CCR(CRS) do envelopamento orientado à insumo	
$\max h_0 = \sum_{j=1}^s u_j y_{j0}$ <p>sujeito a</p> $\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1$ $\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \leq 0, k=1, \dots, n$ $u_j, v_i \geq 0 \quad \forall x, y$	(1)	$\text{Min } h_0$ <p>Sujeito a</p> $\sum_{k=1}^n \lambda_k x_{ik} \leq h_0 x_{i0} \quad i = 1, \dots, s$ $\sum_{k=1}^n \lambda_k y_{jk} \geq y_{j0} \quad j = 1, \dots, m$ $\lambda_k \geq 0 \quad k = 1, \dots, n$	(2)

No Modelo 1 tem-se que  $x_{ik}$  e  $y_{jk}$  são as quantidades consumidas do recurso (*input*)  $i$  e as quantidades produzidas do produto (*output*)  $j$  pela DMU  $k$ . Os pesos  $v_i$  e  $u_j$  são os pesos obtidos pelo modelo de otimização de forma a maximizar  $h_0$ , que corresponde à eficiência da DMU. O modelo deve ser calculado para cada DMU, alterando  $x_0$  e  $y_0$  para se obter  $h_0$  específico (Charnes, Cooper & Rhodes, 1978).

O Modelo 2 representa o dual do Modelo (1),  $x_{ik}$  e  $y_{jk}$  são os inputs e outputs da DMU  $k$ ;  $\lambda_k$  são as contribuições da DMU  $k$  na projeção eficiente da DMU<sub>0</sub>. Por meio da adição de uma restrição em que o somatório dos lambdas seja igual a 1 ( $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ ) ao Modelo 2 ou de uma constante  $\mu_0$  ao Modelo 1. Banker, Charnes e Cooper (1984) expandiram a aplicação da metodologia DEA para utilização em grupos de empresas que operam sob diferentes retornos de escala (crescente, constante e decrescente).



Este modelo foi chamado de VRS (*variable returns to scale*) ou BCC (Banker, Charnes e Cooper).

## 2.2 O Setor Elétrico Brasileiro

O segmento de distribuição é aquele que recebe grande quantidade de energia do sistema de transmissão e a distribui de forma pulverizada para consumidores médios e pequenos (Lugoboni, Zittei & Paulino, 2014). Existem também unidades geradoras de menor porte, normalmente menores do que 30 MW, que injetam sua produção nas redes do sistema de distribuição. No Brasil, o segmento de distribuição é composto por 63 concessionárias, as quais são responsáveis pela administração e operação de linhas de distribuição de menor tensão (abaixo de 230 mil Volts), mas principalmente das redes de média e baixa tensão, como aquelas instaladas nas ruas e avenidas das grandes cidades (Péres, Campos & Liang, 2015). É a empresa distribuidora quem faz com que a energia elétrica chegue às residências e pequenos comércios e indústrias.

As empresas de transmissão e distribuição de energia elétrica Brasileiras tem seus preços regulados pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, que é a agência reguladora do setor. Desse modo, essas empresas não são livres para praticar os preços que desejam, inserindo-se no contexto dos contratos de concessão, que usualmente contam com mecanismos de revisões e reajustes tarifários periódicos, operacionalizados pela própria agência reguladora (Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica<sup>1</sup>).

### 2.2.1 Regulação do Setor de Distribuição de Energia Elétrica e os ciclos tarifários

Como órgão regulador do setor, a ANEEL é responsável por decisões importantes para as empresas de distribuição de energia elétrica. Dentre elas, pode-se destacar o controle das empresas que podem entrar ou sair do setor, fixação dos valores máximos para as tarifas cobradas ao consumidor, metas de qualidade e universalização dos serviços e participação máxima no mercado nacional ou regional.

---

<sup>1</sup> Informação disponível em: <http://www.abradee.com.br/setor-de-distribuicao/a-distribuicao-de-energia>

A distribuição de energia, por suas características físicas e estruturais, constitui um monopólio natural. Dessa forma, qualquer tipo de concorrência nesse mercado é fraco ou inexistente. Estas condições podem prejudicar o consumidor não só pelos preços abusivos, mas pela ausência ou insuficiência no fornecimento de energia para todos os habitantes, principalmente para aqueles situados em áreas de difícil acesso ou distantes de centros urbanos.

Com o objetivo de garantir o equilíbrio econômico-financeiro dos serviços das distribuidoras de energia, o regulador revisa as tarifas permitidas periodicamente, conforme previsto na Lei nº 8.987/95. As revisões tarifárias são processos de reajuste dos valores das tarifas cobradas aos consumidores pelas empresas concessionárias de distribuição de energia. Essas tarifas podem ser aumentadas ou reduzidas de acordo com os resultados provenientes dessas revisões, que irão avaliar as mudanças ocorridas nos custos e no mercado das empresas, na eficiência das mesmas, com o objetivo de garantir tarifas mais justas aos consumidores e retornos adequados aos empresários (LMDM Consultoria, 2013).

O processo de revisão tarifária periódica é composto pelo cálculo da Parcela A, Parcela B e fator X, que, quando unificados compõem a tarifa, além do estabelecimento de metas de qualidade e perdas não técnicas. A parcela A aborda custos não gerenciáveis como compra de energia, encargos setoriais e transporte de energia. São denominados não gerenciáveis por não dependerem diretamente da administração das distribuidoras. (Peano, 2005)

A parcela B compõe os custos gerenciáveis: remuneração de capital, custos operacionais e taxas. O custo operacional, foco do presente artigo, é o custo total empregado pela empresa para o serviço de distribuição de energia, no qual estão incluídos custos de “recursos humanos (administrativo e de operação e manutenção), de infraestrutura física (edificações, móveis, sistema de informática), de materiais e serviços”, conforme a Nota Técnica nº 407/2014 (Agência Nacional De Energia Elétrica, 2014).

Os ciclos tarifários duram entre quatro e cinco anos e, ao fim desse prazo, a ANEEL avalia os dados realizados das concessionárias, dando início a um novo ciclo de revisão tarifária (Siciliano, 2005). O primeiro, segundo, terceiro e quarto ciclos foram iniciados, respectivamente, em 2003, 2007, 2011 e 2015, respectivamente denominados de 1CRTP, 2CRTP, 3CRTP e 4CRTP.

No cálculo da parcela B, é necessário determinar o custo operacional permitido para cada distribuidora. A regulação prevê a identificação do custo operacional eficiente, isto é, o custo que cada distribuidora efetivamente teria para atender seu mercado, caso sua gestão de recursos fosse ótima. Existe uma gama de alternativas possíveis para se medir eficiência e uma série de escolhas que vão desde a ferramenta ou método a ser utilizado até a especificação de parâmetros, forma de construção de variáveis, tratamento dos dados, análise de *outliers* entre outros (Peano, 2005).

O objetivo deste artigo é o de discutir e validar modelos DEA utilizando dados do 4º ciclo tarifário (4CRTP), publicados em 6 de junho de 2014, como parte da Audiência Pública No. 023/2014. Para tal, serão elencadas as principais características relacionadas à avaliação de eficiência dos três ciclos anteriores.

No quarto ciclo de revisão tarifária periódica (4CRTP), iniciado na Consulta Pública nº 23/2014, a ANEEL optou pela utilização de DEA como única metodologia de *benchmarking* para a definição do custo operacional eficiente (Nota Técnica nº 192/2014 – SRE/ANEEL). A variável de insumo utilizada foi o custo operacional, mensurado pelos gastos com pessoal, materiais, serviços de terceiros e outros custos contabilmente associados à operação (Nota Técnica nº 192/2014-SRE/ANEEL). Considerando que o custo da mão de obra no Brasil varia entre as Regiões, o custo de pessoal foi ajustado pelas diferenças salariais de cada região aonde a empresa localiza sua sede.

A Nota Técnica nº 192/2014 – SRE/ANEEL coloca em discussão seis diferentes modelos DEA, enquanto mantém a divisão das empresas em 2 grupos, conforme o 3CRTP. Além disto, propõe que os dados utilizados para o cálculo dos escores de eficiência sejam dados em painel dos anos 2010 a 2012.

Com relação aos produtos, o 4CRTP trouxe mudanças significativas propondo, em seus seis modelos, as variáveis de extensão de rede (total ou dividida entre rede alta e rede de distribuição), mercado ponderado ou MVA instalado, número de consumidores (total ou dividido entre urbanos e rurais), todos estes como produtos positivos; perdas não técnicas e qualidade, nesta NT representada por Energia Não Distribuída (ENDIST), estes como produtos negativos.

A Nota Técnica nº 407/2014, publicada após a avaliação das contribuições dos agentes, trouxe a decisão da mudança da utilização de dados em painel pela média dos anos de 2011, 2012 e 2013. Também houveram mudanças nas variáveis de produto. Rede foi pela primeira vez separada em três categorias: rede de alta tensão, rede de distribuição aérea e rede de distribuição subterrânea. Com relação à qualidade, sua forma de cálculo foi alterada, deixando de ser Energia Não Distribuída – ENDIST – e passando a ser Consumidor Hora Interrompido – CHI. Também houve modificações no cálculo de perdas. A Figura 1 apresenta as variáveis constantes na NT 407/2014.

**Figura 1**

Variáveis utilizadas no primeiro estágio de DEA para definição de custos operacionais do 4CRTP

Dimensão	Variável	Unidade
Rede	Rede subterrânea	Km
	Rede de distribuição aérea	
	Rede de alta tensão	
Consumidor	total de consumidores	unid.
Mercado	Mercado ponderado	MWh
Perdas	Perdas não técnicas	MWh
Qualidade	Consumidor Hora interrompido (CHI)	h

Fonte: Nota Técnica nº407/2014

Por fim, a NT 407/2014 deu continuidade ao que foi proposto pela NT 192/2014 no que diz respeito ao uso de restrição aos pesos – nos moldes de *trade-off* entre variáveis – com a adição de restrições para as variáveis Rede Subterrânea e Consumidor Hora interrompido. Com isso, o modelo final apresentou restrições aos pesos envolvendo as seguintes variáveis: opex e rede de distribuição; rede subterrânea e rede convencional; rede aérea e rede convencional; opex e consumidores; opex e potência entregue; opex e perdas não técnicas; opex e interrupções.

Com relação à prática de dividir as empresas em grupos homogêneos conforme o porte, que vigorou no 3º CRTP, a ANEEL optou por considerar um único cluster com todas as distribuidoras. Segundo a ANEEL, o próprio regime de escala NDRS já

controla a presença de economia de escala no setor, dado que DEA já prevê inserir empresas de múltiplos portes em seus modelos, desde que o regime esteja bem definido (Nota Técnica nº 407/2014).

Com relação à amostra utilizada, houve uma definição distinta sobre a forma de se aproveitar os dados das empresas. Com o uso de um único cluster, a configuração utilizando apenas um dado por empresa passou a ser robusta. Desta forma, a ANEEL optou por utilizar como única observação por empresa os registros médios de cada uma no triênio supracitado (Nota Técnica nº 407/2014).

Novamente, a ANEEL manifestou não ter encontrado variáveis adequadas para satisfazer os critérios necessários para justificar a utilização de um segundo estágio em DEA. Para validar os resultados do primeiro estágio, foram utilizadas técnicas de *bootstrap* (Efron & Tibshirani, 1994) e definidos intervalos de confiança para a eficiência de cada empresa. Na sequência, a ANEEL propôs algumas metodologias que poderiam utilizar os intervalos de confiança no cálculo tarifário (Nota Técnica nº 407/2014).

A Nota Técnica nº 66/2015, de 24 de abril de 2015, apresentou a proposta final para a metodologia de custos operacionais, resultado da análise e consolidação das contribuições enviadas pelas distribuidoras ao longo das etapas de debate público.

### 3 Metodologia

Esta pesquisa foi dividida em cinco etapas, de modo a permitir a obtenção e análise dos dados coletados. A primeira etapa envolveu a seleção de modelos (insumos, produtos e retornos de escala) para compor a análise. Primeiramente foram elencados os modelos mais utilizados para avaliação das empresas do setor de distribuição elétrica no Brasil e no mundo. Dessa forma, os modelos implementados pela ANEEL nos dois últimos Ciclos de Revisão Tarifária Periódicos (3CRTP e 4CRTP) foram utilizados, além das modelagens propostas por autores e reguladores internacionais (Finlândia, Dinamarca, entre outros países). Também foram selecionadas algumas modelagens apresentadas por especialistas do setor e especialistas na metodologia DEA, como propostas de melhorias no modelo vigente. Adicionalmente, foram também analisados os modelos desenvolvidos por Bogetoft e Lopes (2015). A segunda etapa consistiu na coleta dos dados necessários referentes a cada concessionária de distribuição de energia no Brasil. Por norma da própria

ANEEL, esses dados são de acesso público e são disponibilizados no site da ANEEL. Foi escolha do autor trabalhar cada modelo com o banco de dados do 4º. Ciclo de Revisão Tarifária Periódica, pois este era o mais atual. Neste trabalho, o escopo da análise se restringiu às concessionárias pertencentes ao Grupo 1 da ANEEL, conforme definido na Nota Técnica nº 294/2011.

A terceira etapa correspondeu à aplicação da metodologia *Data Envelopment Analysis* simulando diferentes modelagens. Cada distribuidora foi analisada por 45 modelos diferentes, gerando 45 escores.

A quarta etapa consistiu em coleta de dados retratando a visão de especialistas sobre a eficiência dos *players* do setor de distribuição de energia. Um total de 15 especialistas da área de distribuição de energia foram selecionados e responderam a um questionário do tipo Likert de 10 pontos. Neste questionário constavam os nomes das empresas a serem avaliadas e um campo para o especialista definir o ranking de eficiência que julgava correto para o setor. Dessa forma, o entrevistado preencheu o valor correspondente ao *ranking* da empresa, onde 1 é dado para a empresa mais ineficiente e 10 para a mais eficiente. A pesquisa foi composta por dois grupos de especialistas. O primeiro deles foi composto por funcionários que formam o corpo técnico das empresas de distribuição de energia elétrica, enquanto o segundo foi composto por profissionais que atuam na área de modelagem e por consultores que não tinham vínculo com nenhuma empresa de distribuição.

Por fim, na quinta etapa, foi utilizada a triangulação metodológica para avaliar a correlação entre os resultados obtidos na aplicação dos diversos modelos DEA e a avaliação dos especialistas quanto à eficiência das empresas. A aplicação dessa técnica, tratada por esta pesquisa como validação convergente, teve o objetivo de avaliar qual dos modelos DEA mais se assemelhou ao resultado obtido pela avaliação dos especialistas do setor de energia elétrica. Nesta etapa também foram analisados: a sensibilidade da conclusão supracitada tendo em vista os diferentes tipos de especialistas analisados; a evolução dos modelos utilizados pela ANEEL ao longo das notas técnicas, na medida em que foram comparadas com a visão dos especialistas e a validação de tendências do uso de insumos, produtos e definições de retorno em escala. Os 45 modelos utilizados para calcular os escores de eficiência das distribuidoras validando-os ou não com a visão dos especialistas são mostrados no Apêndice I.

## 4 Resultados

### 4.1 Resultados das Simulações

A

Tabela 1 apresenta o resultado da aplicação de DEA nos 45 modelos analisados neste trabalho. Os modelos foram ordenados por média dos escores de eficiência, decrescente, da esquerda para a direita. As DMUs foram ordenadas também por média dos escores de eficiência, decrescente, de cima para baixo.

De forma a analisar semelhanças e diferenças entre os modelos, foram realizadas diferentes análises presentes nas Tabelas 2 e 3. A Tabela 2 apresenta a correlação de Spearman entre os resultados dos modelos. Os modelos foram reordenados conforme a média das correlações de cada um com os demais.

**Tabela 1**  
Resultado das aplicações de DEA

Empresas	31	28	3	26	25	27	22	32	33	12	4	24	21	45	44	20	23	43	17	2	8	42	13	30	34	7	9	11	16	18	38	40	6	15	5	1	39	41	37	14	10	19	36	35	29	Média
PRATININGA	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	100	100	96	94	100	100	95	94	97	94	94	94	94	100	100	94	94	95	94	83	82	79	96	96	94	85	94	95	96
RGE	100	99	100	100	100	98	99	100	100	83	100	100	97	100	100	91	94	100	90	94	96	100	93	96	96	94	95	93	95	96	100	100	88	93	90	93	100	100	100	88	87	87	100	88	89	96
COSERN	100	100	100	100	100	96	94	100	100	97	98	100	92	100	92	98	96	92	88	95	95	92	95	93	95	96	96	95	95	88	91	90	95	95	81	95	89	89	88	95	95	93	89	95	82	94
COELCE	98	100	96	100	100	100	96	86	88	88	91	100	89	100	100	89	100	100	62	85	87	100	97	84	87	84	85	89	80	78	99	100	85	84	67	85	97	99	88	99	99	66	89	85	80	90
ELEKTRO	100	100	88	97	93	97	98	93	90	95	88	99	86	95	95	82	91	95	77	86	100	94	86	100	100	87	85	96	84	100	85	84	100	83	86	82	74	73	69	82	82	100	70	79	81	89
CPFL PAUJISTA	95	100	93	97	100	95	100	98	98	80	92	94	83	95	94	89	97	94	86	96	83	95	86	84	83	85	84	81	84	83	93	93	82	81	79	81	83	81	78	88	88	82	76	80	74	88
CELPE	100	100	100	100	99	99	100	93	91	94	98	87	97	93	87	97	79	87	71	77	77	87	82	71	77	78	77	77	70	67	79	78	86	77	79	77	78	78	80	79	79	84	80	77	75	84
BANDBRANTE	91	93	88	88	88	92	88	88	87	93	88	88	88	81	81	88	81	81	85	82	84	82	81	87	84	82	81	82	81	84	77	77	91	82	79	81	78	77	80	81	81	91	75	86	81	84
COELBA	86	100	87	88	87	92	99	74	76	85	77	99	77	100	98	77	86	97	52	94	79	97	86	80	79	79	79	79	69	89	89	77	79	79	79	89	89	87	83	83	67	87	77	79	84	
ABS SUL	94	89	98	94	93	89	89	96	98	73	93	86	88	81	81	86	75	81	87	75	75	81	89	80	74	78	80	75	80	74	81	80	76	75	73	75	79	79	79	73	73	76	81	73	71	82
ESCELSA	92	95	80	84	89	95	84	96	88	97	79	83	84	77	76	76	86	76	73	72	85	71	80	94	85	96	79	76	79	85	74	75	85	72	69	72	80	82	81	77	77	85	75	77	75	82
CEMAR	85	85	83	94	84	84	85	72	75	99	73	100	71	93	92	71	81	87	52	81	81	87	82	84	81	81	88	81	84	74	84	83	74	80	74	81	84	83	78	74	74	57	78	74	80	81
ENE PARÁIBA	93	91	93	100	90	89	91	92	89	67	90	99	86	84	85	87	76	82	77	76	77	82	85	78	73	78	78	76	78	67	77	76	72	76	67	76	76	76	72	69	69	71	72	69	72	80
ELETROPAULO	100	100	100	100	92	83	100	99	91	100	92	100	80	87	87	92	69	87	100	100	69	87	69	54	69	77	69	69	69	69	75	75	69	69	73	69	64	63	61	69	69	69	64	69	58	79
CEMAT	92	98	87	94	95	96	94	85	93	62	83	83	82	82	93	54	82	80	54	80	85	76	80	88	84	80	88	80	88	84	70	70	50	81	77	80	72	72	73	45	45	50	71	50	80	78
LIGHT	76	79	76	69	70	73	75	79	69	100	68	80	64	77	77	68	76	77	75	82	76	78	76	67	76	89	77	94	77	75	62	62	80	77	86	76	71	70	79	76	76	80	70	84	70	76
ENE SERGIPE	97	88	89	93	88	77	85	89	87	82	85	93	73	67	63	85	77	63	87	74	83	60	81	83	83	76	76	76	76	82	56	55	74	74	73	74	55	55	56	76	76	73	56	74	52	75
CELG	100	100	100	97	98	98	100	93	100	86	91	71	87	71	78	71	68	71	70	68	78	69	68	80	77	68	77	68	76	77	66	66	57	69	76	68	66	66	66	49	49	56	66	51	68	75
ENERSUL	69	100	77	100	100	100	77	78	87	63	76	100	72	67	71	60	100	66	61	68	68	66	77	78	55	68	78	71	78	55	73	73	68	69	67	68	70	70	64	74	74	68	63	55	68	74
CEMIG	100	100	67	78	78	99	100	80	72	59	65	71	71	87	79	57	74	78	47	100	98	69	65	98	98	76	65	56	64	98	64	64	51	56	58	56	64	64	64	54	54	49	64	47	56	71
AMPLA	72	63	69	67	66	62	59	62	63	97	64	74	59	74	70	64	67	70	56	66	69	70	66	64	69	69	67	66	64	64	67	66	100	66	67	66	73	71	73	67	66	100	69	70	60	69
CEPSA	100	91	100	99	91	91	89	83	88	61	83	75	83	60	64	73	59	59	92	59	59	59	78	61	52	59	61	60	61	50	53	52	47	59	55	59	53	52	53	46	46	45	53	47	58	66
CEB	100	70	100	88	88	65	67	100	88	100	88	62	63	52	52	88	62	52	100	58	58	52	58	46	58	67	59	59	59	58	53	53	59	58	76	58	46	46	46	62	61	59	50	59	40	65
COPEL	95	93	84	80	83	81	90	76	77	56	72	64	69	71	69	65	73	69	68	73	73	64	59	73	73	52	54	49	54	73	65	65	46	49	54	49	61	61	58	54	54	44	53	50	47	65
CELESC	93	99	96	79	87	88	98	82	84	70	79	58	80	62	62	69	74	62	80	59	53	62	62	57	53	54	54	52	54	53	60	60	48	52	60	52	61	61	57	52	52	48	54	51	52	65
CEAL	83	74	83	73	74	66	65	66	67	94	66	57	63	47	44	66	54	43	78	48	48	44	48	48	48	48	49	49	48	44	41	41	56	48	49	48	41	41	43	53	53	56	43	48	37	55
CELPA	63	60	58	56	56	52	60	57	58	70	56	43	52	59	58	52	43	58	43	43	48	56	43	48	48	43	48	43	47	46	49	48	40	44	47	43	49	48	52	40	40	33	52	42	42	50
AME	100	NA	100	66	66	NA	62	70	68	61	66	38	58	35	35	63	38	35	100	38	42	30	38	42	42	40	38	50	38	42	26	26	42	38	43	38	30	30	37	37	37	42	33	42	30	47
CEEE	87	59	87	64	63	58	58	66	64	64	63	46	56	42	41	60	38	41	78	36	36	41	36	32	36	38	37	36	36	34	38	38	40	36	39	36	38	38	40	37	37	40	40	35	33	47
Média	92	90	89	88	87	86	86	85	84	82	82	81	78	77	77	76	75	75	75	74	74	74	74	74	73	73	72	71	71	71	71	70	70	70	69	69	69	68	68	68	68	67	67	65	75	

Observações: (1) Resultados multiplicados por 100; (2) Tonalidade azul ressalta valores próximos de 100; (3) Tonalidade vermelha ressalta valores próximos de 25; (4) Tonalidade branca mostra valores intermediários.



**Tabela 2**  
Correlação entre modelos DEA

Modelos	1	15	13	9	16	38	40	7	42	43	29	44	11	45	36	24	39	23	41	8	5	14	10	35	21	37	2	34	30	18	25	4	26	6	27	33	22	32	20	19	28	12	31	3	17
1	1	0,95	0,98	0,97	0,90	0,89	0,94	0,90	0,89	0,94	0,89	0,96	0,88	0,91	0,91	0,89	0,87	0,88	0,85	0,91	0,87	0,87	0,90	0,78	0,88	0,81	0,83	0,80	0,78	0,74	0,75	0,74	0,83	0,67	0,70	0,64	0,65	0,69	0,77	0,60	0,52	0,26	0,32	0,10	
15		1	0,95	0,98	0,98	0,90	0,89	0,94	0,90	0,89	0,94	0,89	0,96	0,88	0,91	0,91	0,89	0,87	0,88	0,85	0,91	0,87	0,87	0,89	0,78	0,88	0,81	0,83	0,80	0,78	0,73	0,75	0,74	0,82	0,67	0,70	0,64	0,65	0,68	0,77	0,61	0,52	0,26	0,31	0,09
13			1	0,94	0,94	0,90	0,90	0,88	0,88	0,92	0,88	0,90	0,86	0,89	0,92	0,89	0,89	0,88	0,84	0,82	0,86	0,85	0,84	0,83	0,86	0,79	0,80	0,82	0,75	0,79	0,76	0,80	0,76	0,77	0,73	0,71	0,66	0,68	0,69	0,70	0,36	0,31	0,34	0,08	
9				1	1,00	0,89	0,89	0,94	0,88	0,88	0,95	0,90	0,94	0,88	0,91	0,90	0,90	0,89	0,89	0,88	0,89	0,82	0,82	0,83	0,77	0,88	0,81	0,85	0,86	0,81	0,75	0,71	0,75	0,77	0,73	0,71	0,66	0,64	0,59	0,71	0,65	0,45	0,23	0,23	-0,01
16					1	0,88	0,88	0,94	0,86	0,86	0,94	0,89	0,93	0,85	0,89	0,90	0,88	0,88	0,87	0,88	0,89	0,81	0,80	0,82	0,76	0,86	0,81	0,85	0,87	0,82	0,75	0,71	0,75	0,73	0,72	0,66	0,66	0,66	0,58	0,71	0,66	0,42	0,23	0,24	0,03
38						1	1,00	0,84	0,97	0,96	0,91	0,95	0,82	0,95	0,94	0,87	0,96	0,90	0,95	0,82	0,78	0,86	0,86	0,82	0,77	0,90	0,84	0,80	0,78	0,74	0,74	0,69	0,71	0,75	0,72	0,65	0,72	0,59	0,64	0,67	0,67	0,39	0,23	0,24	-0,05
40							1	0,84	0,97	0,96	0,91	0,95	0,81	0,95	0,94	0,87	0,96	0,90	0,95	0,82	0,78	0,86	0,86	0,81	0,78	0,90	0,84	0,80	0,78	0,74	0,74	0,69	0,71	0,75	0,73	0,65	0,72	0,59	0,64	0,66	0,68	0,39	0,24	0,24	-0,05
7								1	0,85	0,86	0,89	0,85	0,93	0,86	0,87	0,86	0,85	0,84	0,85	0,90	0,89	0,85	0,85	0,88	0,72	0,86	0,85	0,89	0,83	0,86	0,66	0,64	0,82	0,66	0,64	0,63	0,70	0,64	0,78	0,60	0,55	0,29	0,19	0,09	
42									1	0,99	0,91	0,98	0,85	0,98	0,93	0,87	0,94	0,84	0,93	0,82	0,81	0,84	0,84	0,83	0,75	0,90	0,88	0,81	0,74	0,75	0,66	0,66	0,66	0,75	0,67	0,59	0,74	0,56	0,64	0,66	0,65	0,44	0,23	0,22	-0,06
43										1	0,91	0,99	0,84	0,99	0,93	0,86	0,94	0,84	0,93	0,86	0,79	0,82	0,81	0,80	0,75	0,90	0,90	0,86	0,79	0,80	0,66	0,64	0,65	0,73	0,71	0,58	0,77	0,56	0,60	0,64	0,68	0,39	0,26	0,18	-0,10
29											1	0,93	0,90	0,89	0,93	0,85	0,93	0,86	0,92	0,84	0,84	0,78	0,78	0,80	0,80	0,92	0,77	0,81	0,84	0,76	0,70	0,65	0,68	0,76	0,76	0,64	0,68	0,55	0,53	0,69	0,66	0,40	0,18	0,21	-0,07
44												1	0,83	0,98	0,92	0,86	0,93	0,84	0,92	0,86	0,79	0,76	0,75	0,75	0,76	0,89	0,89	0,85	0,81	0,79	0,69	0,63	0,69	0,67	0,75	0,61	0,79	0,54	0,53	0,58	0,71	0,34	0,25	0,18	-0,15
11													1	0,82	0,84	0,86	0,83	0,83	0,82	0,82	0,90	0,86	0,86	0,90	0,71	0,84	0,76	0,81	0,77	0,77	0,65	0,67	0,65	0,84	0,62	0,62	0,56	0,61	0,64	0,79	0,55	0,55	0,24	0,28	0,13
45														1	0,93	0,85	0,93	0,83	0,92	0,88	0,76	0,81	0,80	0,79	0,73	0,90	0,91	0,87	0,81	0,80	0,63	0,60	0,64	0,72	0,70	0,54	0,76	0,52	0,58	0,63	0,68	0,39	0,26	0,14	-0,15
36															1	0,82	0,98	0,82	0,98	0,81	0,79	0,83	0,83	0,84	0,75	0,98	0,79	0,80	0,77	0,73	0,63	0,64	0,61	0,77	0,65	0,58	0,63	0,53	0,59	0,68	0,56	0,43	0,17	0,19	-0,11
24																1	0,84	0,87	0,83	0,79	0,78	0,85	0,85	0,79	0,71	0,78	0,83	0,74	0,75	0,68	0,75	0,68	0,82	0,75	0,70	0,64	0,66	0,59	0,64	0,68	0,68	0,41	0,22	0,26	0,04
39																	1	0,87	1,00	0,81	0,75	0,83	0,83	0,82	0,73	0,98	0,79	0,79	0,79	0,72	0,65	0,59	0,61	0,76	0,69	0,55	0,65	0,49	0,54	0,66	0,61	0,38	0,13	0,14	-0,17
23																		1	0,87	0,83	0,77	0,85	0,85	0,76	0,72	0,81	0,80	0,78	0,84	0,75	0,80	0,63	0,72	0,71	0,81	0,66	0,69	0,59	0,52	0,66	0,77	0,31	0,19	0,17	-0,04
41																			1	0,81	0,73	0,83	0,82	0,81	0,73	0,98	0,78	0,79	0,79	0,72	0,65	0,59	0,61	0,75	0,70	0,55	0,65	0,49	0,53	0,65	0,61	0,36	0,14	0,14	-0,18
8																				1	0,78	0,73	0,73	0,73	0,70	0,79	0,88	0,99	0,96	0,97	0,64	0,58	0,62	0,69	0,75	0,59	0,73	0,60	0,49	0,65	0,69	0,33	0,37	0,09	-0,09
5																					1	0,77	0,77	0,83	0,68	0,76	0,76	0,67	0,68	0,76	0,67	0,72	0,64	0,77	0,55	0,67	0,59	0,70	0,65	0,76	0,53	0,61	0,26	0,32	0,19
14																						1	1,00	0,95	0,65	0,80	0,74	0,72	0,67	0,66	0,62	0,64	0,60	0,89	0,53	0,54	0,50	0,57	0,77	0,82	0,49	0,60	0,19	0,25	0,16
10																							1	0,95	0,65	0,80	0,74	0,72	0,66	0,66	0,62	0,64	0,60	0,89	0,53	0,54	0,50	0,57	0,77	0,82	0,49	0,60	0,19	0,25	0,16
35																								1	0,65	0,83	0,72	0,74	0,65	0,69	0,54	0,65	0,53	0,92	0,45	0,52	0,47	0,58	0,79	0,87	0,41	0,68	0,21	0,27	0,23
21																									1	0,70	0,65	0,68	0,70	0,65	0,87	0,90	0,83	0,57	0,85	0,88	0,84	0,79	0,74	0,56	0,81	0,25	0,60	0,61	0,29
37																										1	0,77	0,79	0,77	0,72	0,57	0,56	0,52	0,76	0,62	0,51	0,59	0,46	0,52	0,68	0,54	0,40	0,10	0,11	-0,16
2																											1	0,88	0,78	0,85	0,63	0,58	0,63	0,63	0,69	0,56	0,79	0,60	0,55	0,59	0,73	0,35	0,36	0,16	0,00
34																											1	0,93	0,98	0,59	0,56	0,56	0,69	0,68	0,56	0,72	0,60	0,50	0,65	0,64	0,37	0,40	0,09	-0,08	
30																												1	0,92	0,64	0,52	0,60	0,63	0,80	0,59	0,71	0,53	0,37	0,59	0,72	0,18	0,30	0,03	-0,16	
18																													1	0,57	0,55	0,53	0,64	0,67	0,58	0,70	0,63	0,46	0,62	0,63	0,32	0,42	0,09	-0,01	
25																													1	0,89	0,95	0,46	0,86	0,94	0,80	0,82	0,66	0,44	0,85	0,19	0,56	0,63	0,28		
4																													1	0,88	0,54	0,67	0,95	0,72	0,91	0,87	0,55	0,66	0,35	0,67	0,78	0,53			
26																													1	0,46	0,79	0,89	0,76	0,78	0,68	0,42	0,78	0,20	0,56	0,63	0,28				
6																													1	0,39	0,43	0,34	0,47	0,68	0,97	0,31	0,71	0,09	0,14	0,13					
27																													1	0,75	0,88	0,63	0,42	0,37	0,95	-0,02	0,56	0,44	0,08						
33																													1	0,74	0,92	0,71	0,46	0,74	0,19	0,63	0,70	0,46							
22																													1	0,68	0,52	0,31	0,94	0,08	0,62										

A Tabela 3 apresenta a análise descritiva associada aos dados da Tabela 2.

**Tabela 3**  
Análise Descritiva das Correlações entre os Modelos

Modelos	Correlação Média	DesvPad Correlações	Correlação Mínima	Modelos	Correlação Média	DesvPad Correlações	Correlação Mínima
1	0,80	0,19	0,10	35	0,72	0,19	0,21
15	0,79	0,19	0,09	21	0,72	0,13	0,25
13	0,79	0,18	0,08	37	0,72	0,25	-0,16
9	0,78	0,21	-0,01	2	0,72	0,19	0,00
16	0,78	0,20	0,03	34	0,72	0,21	-0,08
38	0,77	0,21	-0,05	30	0,69	0,23	-0,16
40	0,77	0,21	-0,05	18	0,68	0,20	-0,01
7	0,77	0,19	0,09	25	0,68	0,16	0,19
42	0,77	0,22	-0,06	4	0,68	0,13	0,35
43	0,77	0,22	-0,10	26	0,66	0,15	0,20
29	0,76	0,22	-0,07	6	0,66	0,21	0,09
44	0,76	0,23	-0,15	27	0,65	0,19	-0,02
11	0,76	0,19	0,13	33	0,65	0,15	0,19
45	0,75	0,23	-0,15	22	0,64	0,18	0,08
36	0,75	0,23	-0,11	32	0,63	0,13	0,34
24	0,75	0,19	0,04	20	0,62	0,12	0,37
39	0,75	0,24	-0,17	19	0,62	0,19	0,12
23	0,74	0,21	-0,04	28	0,62	0,19	-0,02
41	0,74	0,24	-0,18	12	0,39	0,20	-0,02
8	0,73	0,22	-0,09	31	0,35	0,22	0,05
5	0,73	0,16	0,19	3	0,33	0,24	0,03
14	0,73	0,19	0,16	17	0,13	0,27	-0,18
10	0,73	0,19	0,16				

A Tabela 3 sugere que há grande semelhança entre muitos dos modelos, com as poucas exceções sendo os modelos 3, 12, 17 e 31. Exceções à parte, em termos de correlação, há indícios de que os escores variam no mesmo sentido, ou seja, os modelos classificam as empresas comparativamente de forma semelhante. Isso reforça a robustez do método DEA como importante ferramenta de *benchmarking*. Contudo, não se pode concluir que dois modelos com alta correlação sejam equivalentes. A

Tabela 1 revela um dos principais pontos de disparidade entre os modelos. Enquanto alguns deles atribuem às empresas uma eficiência elevada, como o modelo 28; outros atribuem às mesmas empresas uma eficiência baixa, como o modelo 29.

Cabe ressaltar que a correlação entre estes dois modelos é de 0,66, conforme a Tabela 2. Alguns pesquisadores apontam correlações superiores a 0,50 como moderadas - Mukaka (2012) - ou fortes Cohen (1992). O que chama a atenção neste caso é que um modelo pode ser avaliado (i) pelo ordenamento das DMUs em termos de eficiência, (ii) pela distância relativa entre as DMUs em termos de eficiência e (iii)

pela média de eficiência das empresas do setor. Embora a análise de correlação seja rica para avaliar os itens (i) e (ii), o (iii) talvez seja o de maior relevância prática para as DMUs, especialmente em se tratando de regulação em um setor econômico que movimentava grandes cifras.

Foi utilizado o Teste-*t* pareado, que avalia a hipótese nula de que duas amostras tenham como origem duas populações com a mesma média. Esse teste comparou apenas o modelo da NT nº 407/2014 da ANEEL (modelo 42) com os modelos estudados de Bogetoft e Lopes (2015) (modelos 43, 44 e 45). Os resultados se encontram na Tabela 4.

**Tabela 4**

Resultado do teste-*t*

<b>Modelo 1</b>	<b>Modelo 2</b>	<b>p-valor</b>
<b>Aneel NT 407/2014</b>	Bogetoft e Lopes* Modelo B	0,0187
<b>Aneel NT 407/2014</b>	Bogetoft e Lopes* Modelo C	0,0024
<b>Aneel NT 407/2014</b>	Bogetoft e Lopes* Modelo D	0,0003

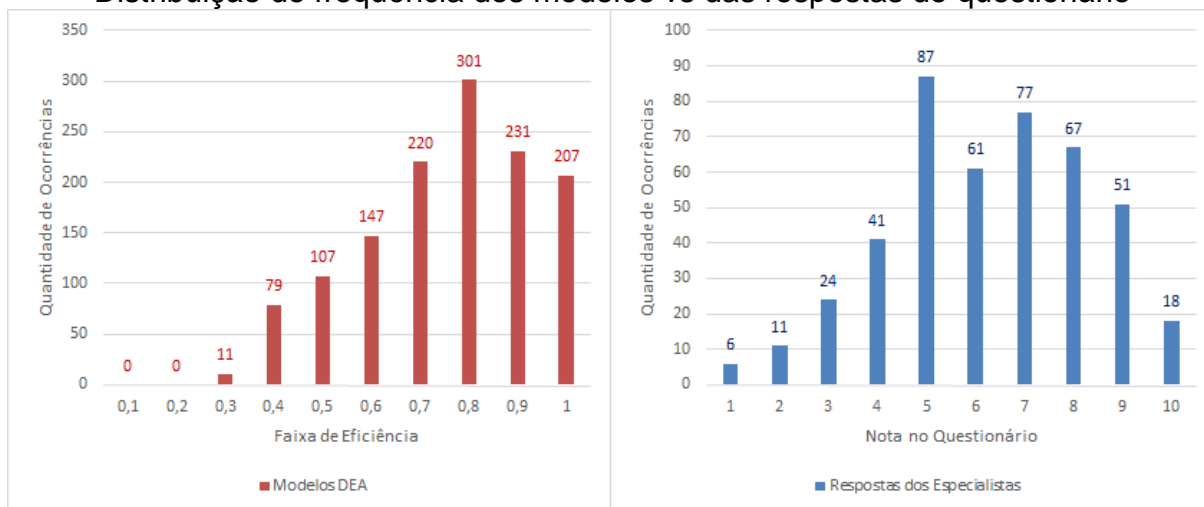
Fonte: Bogetoft e Lopes (2015)

Todos os testes-*t* aplicados tiveram p-valores inferiores ao limite de 0,05 (5%), definido como limite crítico para validar a hipótese nula, o que a rejeita. Assim sendo, para cada caso, as duas populações em questão não tem como origem populações com mesma média. Em outras palavras, por mais que possa haver forte correlação entre os modelos, os valores médios de eficiência atribuídos para as DMUs demonstram que as análises da ANEEL e a proposta em Bogetoft e Lopes (2015) tem entendimento diferente no que diz respeito à real eficiência do setor como um todo. Em geral, a média do modelo sugerido em Bogetoft e Lopes (2015) é superior à média do modelo proposto pela Aneel na Nota Técnica 407/2014.

## 4.2 Resultados da pesquisa com especialistas

A Figura mostra a distribuição de frequência dos resultados dos Modelos DEA, em contraste com a das respostas dos especialistas para as DMUs em escala comparável.

**Figura 2**  
Distribuição de frequência dos modelos vs das respostas do questionário



Observações: (1) Resultados arredondados para 1 casa decimal. (2) Contagem de ocorrências na população, portanto valores são absolutos.

Por se tratar de 15 especialistas e 45 modelos, as amplitudes das séries dos gráficos da Figura não podem ser comparadas entre si. Entretanto, o formato das curvas revela que os especialistas tendem a espalhar as respostas ao longo das possibilidades, atribuindo valores muito baixos às empresas menos eficientes, e conferindo apenas às mais eficientes de uma forma global os valores mais altos. A modelagem DEA, por outro lado, tenta atribuir a cada DMU um conjunto de pesos que maximize seu resultado, o que torna relativamente frequente encontrar DMUs eficientes e raro encontrar DMUs com escore inferior a 0,2. A Tabela 5 mostra o resultado da pesquisa com os especialistas.

**Tabela 5**  
Resultado da Pesquisa com Especialistas

Código	Nome	Média Especialistas	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Média Distribuidoras	Média Consultores	Dif Distrib. e Consult.
D62	RGE	8,36	2,06	25%	8,22	8,60	-0,38
D36	CPFL PAULISTA	8,33	1,23	15%	8,13	8,75	-0,63
D35	PIRATININGA	7,85	2,34	30%	7,63	8,20	-0,57
D30	COELCE	7,77	1,88	24%	7,44	8,50	-1,06
D45	ELEKTRO	7,54	1,13	15%	7,75	7,20	0,55
D29	COELBA	7,40	2,03	27%	7,00	8,20	-1,20
D16	CEMAR	7,27	2,31	32%	6,70	8,40	-1,70
D01	AES SUL	7,13	1,19	17%	6,90	7,60	-0,70
D04	BANDEIRANTE	7,07	1,14	16%	7,00	7,25	-0,25
D18	CEMIG	7,00	1,20	17%	7,20	6,60	0,60
D48	ELETROPAULO	7,00	1,31	19%	7,00	7,00	0,00
D33	COSERN	7,00	2,09	30%	6,88	7,25	-0,38
D50	EMG (ENERGIA DE MINAS GERAIS)	6,86	2,14	31%	6,78	7,00	-0,22
D15	CELTINS	6,85	1,95	29%	6,56	7,50	-0,94
D03	AMPLIA	6,54	1,56	24%	6,56	6,50	0,06
D60	LIGHT	6,46	1,61	25%	6,89	5,50	1,39
D51	ENERSUL	6,38	1,19	19%	6,11	7,00	-0,89
D14	CELPE	6,38	2,18	34%	6,00	7,25	-1,25
D54	ESCELSA	6,38	2,18	34%	6,00	7,25	-1,25
D53	ENE. PARAÍBA	6,33	2,31	36%	6,38	6,25	0,13
D55	ENE. SERGIPE	6,25	2,34	37%	6,25	6,25	0,00
D32	COPEL	6,14	0,77	13%	6,10	6,25	-0,15
D17	CEMAT	5,77	1,74	30%	5,56	6,25	-0,69
D11	CELESC	5,36	1,55	29%	5,00	6,25	-1,25
D19	CEPISA	5,00	1,22	24%	5,00	5,00	0,00
D10	CEEE	4,93	1,73	35%	4,60	5,75	-1,15
D13	CELPA	4,92	1,12	23%	4,88	5,00	-0,13
D20	CERON	4,85	1,72	36%	4,89	4,75	0,14
D09	CEB	4,80	1,32	28%	5,00	4,40	0,60
D12	CELG	4,71	1,59	34%	4,60	5,00	-0,40
D08	CEAL	4,31	1,11	26%	4,33	4,25	0,08
D46	ELETROACRE	4,09	1,97	48%	4,00	4,25	-0,25
D02	AME	3,64	1,45	40%	3,44	4,00	-0,56

As colunas Média Especialistas, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação consolidam as respostas de todos os especialistas, enquanto que a coluna Média Distribuidoras consolida as respostas de funcionários que formam o corpo técnico das empresas de distribuição. A coluna Média Consultores consolida as respostas de profissionais sem vínculo com empresas de distribuição. A coluna Dif Distrib. e Consult. consolida a diferença entre a coluna Média Distribuidoras e a coluna Média Consultores.

A Tabela 5 revela que algumas DMUs despertam percepções muito diversificadas no público de especialistas como um todo. É o caso da AME (coeficiente de variação igual a 40%) e da ELETROACRE (48%) Mas, de uma forma geral, os desvios relativos à média atingiram 27% do valor desta, o que pode ser considerado aceitável.

A análise da Tabela 5 também revela que algumas DMUs são consideradas mais eficientes por técnicos das empresas do setor do que por profissionais externos. O maior exemplo disso é a LIGHT. Já em outras empresas, como a CEMAR, ocorre o oposto. As diferenças, que não são tão significativas em termos absolutos, também

não são significativas em termos comparativos. A correlação de Spearman entre as ordens das médias de técnicos e profissionais externos é de 0,88.

**Tabela 6**

Ordenamento das DMUs conforme pesquisa com especialistas

Pos	Ordenação por Especialistas	Média Esp.	Ordenação por Distribuidoras	Média Dis.	Ordenação por Consultores	Média Con.
1	RGE	8,4	RGE	8,2	CPFL PAULISTA	8,8
2	CPFL PAULISTA	8,3	CPFL PAULISTA	8,1	RGE	8,6
3	PIRATININGA	7,8	ELEKTRO	7,8	COELCE	8,5
4	COELCE	7,8	PIRATININGA	7,6	CEMAR	8,4
5	ELEKTRO	7,5	COELCE	7,4	COELBA	8,2
6	COELBA	7,4	CEMIG	7,2	PIRATININGA	8,2
7	CEMAR	7,3	COELBA	7,0	AES SUL	7,6
8	AES SUL	7,1	BANDEIRANTE	7,0	CELTINS	7,5
9	BANDEIRANTE	7,1	ELETROPAULO	7,0	BANDEIRANTE	7,3
10	CEMIG	7,0	AES SUL	6,9	CELPE	7,3
11	ELETROPAULO	7,0	LIGHT	6,9	COSERN	7,3
12	COSERN	7,0	COSERN	6,9	ESCELSA	7,3
13	EMG (ENERGIA DE MINAS GERAIS)	6,9	EMG (ENERGIA DE MINAS GERAIS)	6,8	ELEKTRO	7,2
14	CELTINS	6,8	CEMAR	6,7	ELETROPAULO	7,0
15	AMPLA	6,5	CELTINS	6,6	EMG (ENERGIA DE MINAS GERAIS)	7,0
16	LIGHT	6,5	AMPLA	6,6	ENERSUL	7,0
17	ENERSUL	6,4	ENE. PARAÍBA	6,4	CEMIG	6,6
18	CELPE	6,4	ENE. SERGIPE	6,3	AMPLA	6,5
19	ESCELSA	6,4	ENERSUL	6,1	CELESC	6,3
20	ENE. PARAÍBA	6,3	COPEL	6,1	CEMAT	6,3
21	ENE. SERGIPE	6,3	CELPE	6,0	COPEL	6,3
22	COPEL	6,1	ESCELSA	6,0	ENE. PARAÍBA	6,3
23	CEMAT	5,8	CEMAT	5,6	ENE. SERGIPE	6,3
24	CELESC	5,4	CELESC	5,0	CEEE	5,8
25	CEPISA	5,0	CEPISA	5,0	LIGHT	5,5
26	CEEE	4,9	CEB	5,0	CELG	5,0
27	CELPA	4,9	CERON	4,9	CELPA	5,0
28	CERON	4,8	CELPA	4,9	CEPISA	5,0
29	CEB	4,8	CEEE	4,6	CERON	4,8
30	CELG	4,7	CELG	4,6	CEB	4,4
31	CEAL	4,3	CEAL	4,3	CEAL	4,3
32	ELETROACRE	4,1	ELETROACRE	4,0	ELETROACRE	4,3
33	AME	3,6	AME	3,4	AME	4,0

\*Obs.: Pos = posição das DMUs, em ordem decrescente de eficiência conforme os especialistas.

A Tabela 6 comprova a alta correlação supracitada: os ordenamentos produzidos pelos dois segmentos de especialistas se assemelham, assim como a distância entre média de eficiência de duas DMUs quaisquer tem quase o mesmo valor nominal em ambos os ordenamentos, o que consolida a coleta e sugere que, de um modo geral, técnicos do setor e profissionais externos têm uma visão muito parecida sobre a eficiência das companhias.

O ordenamento apresentado na coluna Ordenação de Especialistas é um parâmetro a ser seguido pelos modelos que busquem representar a eficiência do setor. Assim sendo, modelos DEA com este objetivo devem ter alta correlação com os dados do resultado da pesquisa com especialistas.

### 4.3 Resultados da triangulação

A triangulação foi utilizada para identificar se os modelos DEA propostos refletem a visão dos especialistas no setor. A Tabela 7 apresenta os primeiros resultados nesse sentido.

**Tabela 7**

Análise de correlação de Spearman dos modelos DEA com os resultados da Pesquisa com Especialistas

Modelo	Correl. Especialistas	Correl. Distribuidoras	Correl. Consultores	Modelo	Correl. Especialistas	Correl. Distribuidoras	Correl. Consultores
1	0,802	0,787	0,751	24	0,832	0,813	0,790
2	0,869	0,885	0,755	25	0,538	0,494	0,577
3	0,057	0,018	0,125	26	0,536	0,500	0,556
4	0,509	0,488	0,505	27	0,567	0,517	0,606
5	0,697	0,713	0,596	28	0,535	0,494	0,561
6	0,748	0,751	0,670	29	0,798	0,762	0,791
7	0,807	0,813	0,717	30	0,748	0,740	0,695
8	0,805	0,821	0,699	31	0,156	0,156	0,147
9	0,790	0,769	0,751	32	0,467	0,479	0,406
10	0,844	0,828	0,793	33	0,454	0,428	0,466
11	0,755	0,761	0,668	34	0,796	0,814	0,689
12	0,336	0,351	0,271	35	0,800	0,795	0,726
13	0,806	0,784	0,772	36	0,850	0,810	0,843
14	0,846	0,830	0,793	37	0,832	0,794	0,822
15	0,801	0,787	0,748	38	0,913	0,872	0,907
16	0,781	0,766	0,731	39	0,873	0,828	0,878
17	-0,054	-0,021	-0,116	40	0,912	0,870	0,907
18	0,762	0,791	0,635	41	0,862	0,814	0,874
19	0,675	0,697	0,569	42	0,909	0,886	0,867
20	0,551	0,542	0,513	43	0,913	0,891	0,868
21	0,595	0,552	0,625	44	0,870	0,843	0,838
22	0,615	0,589	0,615	45	0,906	0,884	0,863
23	0,826	0,798	0,807				

Observações: (1) A nomenclatura das colunas é análoga à utilizada na Tabela 8. (2) A seta indica o modelo com a maior correlação. (3) Foram usadas 3 casas decimais excepcionalmente, para ser possível diferenciar melhor a performance de cada modelo.

A Tabela 7 aponta o Modelo 43, proposto por Bogetoft e Lopes (2015) como contribuição à Nota Técnica nº 407/2014 da ANEEL, como o modelo que melhor exprime a visão dos especialistas como um todo. Esse modelo também se destaca como o que melhor exprime a visão dos técnicos das distribuidoras, e tem bom desempenho no objetivo de exprimir a visão dos profissionais externos. Entretanto, o modelo mais assertivo para representar os consultores é o Modelo 40, que corresponde a um dos modelos propostos pela ANEEL na Nota Técnica nº 192/2014. Esses modelos têm características em comum, como a inserção de variáveis que exprimem qualidade como produtos negativos; o uso de rede, mercado ponderado e

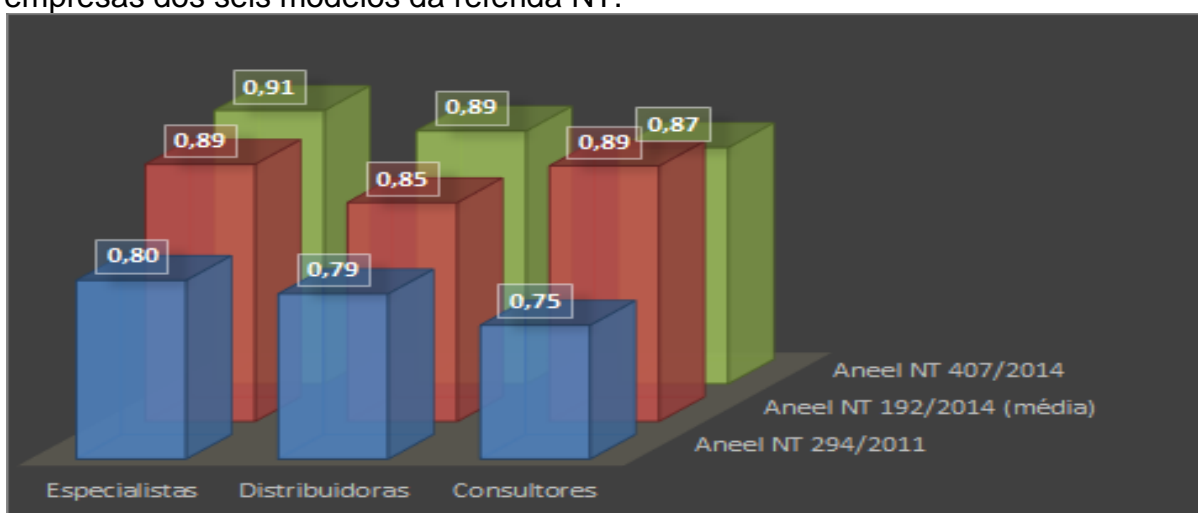
consumidores como produtos – ainda que segregados de formas diferentes – e a utilização de OPEX com correção de salários como insumo único. Aparentemente, essas características vão se consolidando como a melhor opção para retratar o setor elétrico nacional.

### 4.3.1 Evolução dos modelos da ANEEL

Foram analisados os modelos da ANEEL presentes nas Notas Técnicas nº 294/2011, nº 192/2014 e nº 407/2014. O objetivo dessa análise foi comparar os escores produzidos pelos modelos dessas notas técnicas com os resultados da pesquisa com especialistas.

**Figura 3**

Correlação da visão dos especialistas com a média dos escores de eficiência das empresas dos seis modelos da referida NT.



A Figura revela que, a cada nova Nota Técnica, a ANEEL tem obtido maior êxito em refletir a visão dos especialistas em geral. A Correlação de Spearman entre a visão dos especialistas e os modelos da ANEEL saltou de 0,8 a 0,91.

O mesmo fenômeno pode ser observado quando se analisa apenas a visão dos técnicos das distribuidoras. Contudo, ao analisar a visão do segmento de profissionais externos, a NT nº 407/2014 representou um retrocesso para a nossa análise com relação à NT nº 192/2014 como um todo. Ressalta-se que a NT nº 192/2014 apresentou seis modelos, enquanto a NT nº 407/2014 apresentou apenas um como solução.



Também foi realizado o mesmo tipo de análise com as contribuições de Banker (2011) à Audiência Pública 040/2010 e de Bogetoft e Lopes (2015) à Audiência Pública 023/2015. O resultado está descrito na 8.

### Tabela 8

Análise das Contribuições de Banker (2011), Bogetoft e Lopes (2015) e Notas Técnicas da ANEEL que as precederam

Modelos	Especialistas	Distribuidoras	Consultores
Aneel NT 294/2011	0,802	0,787	0,751
Banker	0,869	0,885	0,755
Aneel NT 407/2014	0,909	0,886	0,867
Bogetoft & Lopes Modelo B	0,913	0,891	0,868
Bogetoft & Lopes Modelo C	0,870	0,843	0,838
Bogetoft & Lopes Modelo D	0,906	0,884	0,863

Conforme a Tabela 8, é possível perceber que os modelos propostos por Banker (2011) e Bogetoft e Lopes (2015) têm trazido avanços nos esforços para se refletir a realidade do setor de distribuição. Assim como o modelo proposto por Banker (2011) apresentou resultados com maior correlação com a pesquisa com especialistas em todos os segmentos possíveis, em comparação com a NT nº 294/2011, o mesmo ocorreu com o modelo B proposto por Bogetoft e Lopes (2015), desta vez tendo a NT nº 407/2014 como comparação.

## 5 Conclusões

Neste artigo buscou-se identificar as modelagens DEA para o setor da distribuição de energia elétrica brasileira que melhor representam a visão de especialistas sobre a eficiência das empresas do setor.

A execução da pesquisa deste trabalho forneceu insumos para se concluir que a metodologia proposta se apresenta como um rico caminho para validar resultados obtidos através do uso de técnicas de benchmarking, sobretudo *Data Envelopment Analysis- DEA*. Por meio desta validação, concluiu-se que a visão de especialistas que estudam o setor de distribuição ou nele trabalham sobre a eficiência das

empresas do setor pode ser refletida com sucesso utilizando-se alguns modelos estudados.

A visão dos técnicos que trabalham nas empresas do setor de distribuição sobre a eficiência destas é muito próxima da visão dos profissionais que estudam o setor, sendo eles pesquisadores de DEA ou consultores que atuam no setor. Abordando os especialistas como um todo, conclui-se que a base do modelo DEA proposto pela ANEEL para identificar a eficiência das empresas do setor de distribuição – representada pela seleção de OPEX como insumo; rede, mercado e consumidores como produtos; NDRS como regime de escala – é uma base sólida e está no caminho certo.

A ANEEL vem progressivamente aprimorando seus modelos em torno da base supracitada e obtendo resultados mais apurados para representar a eficiência do setor de distribuição brasileiro. As contribuições de Banker (2011) e Bogetoft e Lopes (2015), realizadas através do Núcleo de Eficiência, Sustentabilidade e Produtividade (NESP) da Faculdade de Ciências Econômicas da UFMG, em geral, oferecem soluções ainda mais robustas para refletir a visão dos especialistas, contribuindo para o desenvolvimento da regulação no Brasil.

## Referências

- Associação Brasileira de Distribuidoras de Energia Elétrica. *A distribuição de energia*. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/setor-de-distribuicao/a-distribuicao-de-energia>>. Acesso em 26 de Abril de 2018.
- Agência Nacional de Energia Elétrica (2011). *Nota Técnica nº 294/2011–SRE/ANEEL*. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. [Acesso em: 26 de Abril de 2018.](#)
- Agência Nacional de Energia Elétrica (2014). *Nota Técnica nº 192/2014–SRE/ANEEL*. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. [Acesso em: 26 de Abril de 2018.](#)
- Agência Nacional de Energia Elétrica (2014). *Nota Técnica nº 407/2014–SRE/ANEEL*. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. [Acesso em: 26 de Abril de 2018.](#)
- Agência Nacional de Energia Elétrica (2015). *Nota Técnica nº 66/2015–SRE/ANEEL*. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. [Acesso em: 26 de Abril de 2018.](#)
- Agrell, P. J., & Bogetoft, P. (2016). Regulatory benchmarking: Models, analyses and applications. *DEA J (forthcoming)*.

- Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management science*, 30(9), 1078-1092.
- Banker, R. (2011). *Report on ANEEL's Proposal for Electricity Distribution Tariff Regulation Technical Note No. 101/2011*. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2010/040/contribuicao/raji\\_v\\_banker\\_and\\_ana\\_lopes\\_report.pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2010/040/contribuicao/raji_v_banker_and_ana_lopes_report.pdf)>. [Acesso em: 26 de Abril de 2018.](#)
- Bobde, S. M., & Tanaka, M. (2018). Efficiency evaluation of electricity distribution utilities in India: A two-stage DEA with bootstrap estimation. *Journal of the Operational Research Society*, 1-12.
- Bogetoft, P., & Lopes, A.L.M. (2015). *Comments on the Brazilian benchmarking model for energy distribution regulation fourth cycle of tariff review—Technical Note 407/2014*. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. [Acesso em: 26 de Abril de 2018.](#)
- Bougnol, M., & Dula, J. H. (2006). Validating DEA as a ranking tool: An application of DEA to assess performance in higher education. *Annals of Operations Research*, 145(1), 339-365.
- Calôba, G. M., & Lins, M. P. E. (2005). Análise da Eficiência das Distribuidoras de Gás Natural Brasileiras Utilizando Análise Envoltória de Dados. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL*, 37, Gramado.
- Charnes, A., Cooper, W. W., Golany, B., Seiford, L., & Stutz, J. (1985). Foundations of data envelopment analysis for Pareto-Koopmans efficient empirical production functions. *Journal of econometrics*, 30(1-2), 91-107.
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978) Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, 2(6), 429-444.
- Cohen, J. (1992). Statistical power analysis. *Current Directions in Psychological Science*, 1(3), 98-101.
- Cook, W. D., Ruiz, J. L., Sirvent, I., & Zhu, J. (2017). Within-group common benchmarking using DEA. *European Journal of Operational Research*, 256(3), 901-910.
- Corton, M. L., Zimmermann, A., & Phillips, M. A. (2016). The low cost of quality improvements in the electricity distribution sector of Brazil. *Energy Policy*, 97, 485-493.
- Efron, B., & Tibshirani, R. J. (1994). *An introduction to the bootstrap*. CRC press.
- Farrel, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)*, 120(3), 253-290.

- Giannakis, D., Jamasb, T., & Pollitt, M. (2005). Benchmarking and incentive regulation of quality of service: an application to the UK electricity distribution networks. *Energy Policy*, 33(17), 2256-2271.
- Growitsch, C., Jamasb, T., & Pollitt, M. (2009). Quality of service, efficiency and scale in network industries: an analysis of European electricity distribution. *Applied Economics*, 41(20), 2555-2570.
- Growitsch, C., Jamasb, T., & Wetzel, H. (2010). *Efficiency effects of quality of service and environmental factors: experience from Norwegian electricity distribution* (No. 10/03). EWI Working Paper.
- Jenkins, J. D., & Pérez-Arriaga, I. J. (2017). Improved regulatory approaches for the remuneration of electricity distribution utilities with high penetrations of distributed energy resources. *The Energy Journal*, 38(3).
- Lins, M. E., Lobo, M. S. D. C., Silva, A. C. M. D., Fiszman, R., & Ribeiro, V. J. D. P. (2007). O uso da Análise Envoltória de Dados (DEA) para avaliação de hospitais universitários brasileiros. *Ciência & saúde coletiva*, 12, 985-998.
- LMDM Consultoria. *Contribuições CP 011/2013*. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta\\_publica/documentos/LMDM%20CONSULTORIA%20CP%20011\\_2013.pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta_publica/documentos/LMDM%20CONSULTORIA%20CP%20011_2013.pdf)>. [Acesso em: 26 de Abril de 2018.](#)
- Lobo, M. S. D. C., Rodrigues, H. D. C., André, E. C. G., Azeredo, J. A. D., & Lins, M. P. E. (2016). Dynamic network data envelopment analysis for university hospitals evaluation. *Revista de saúde pública*, 50.
- Lugoboni, L. F., de Toledo Paulino, A., Zittei, M. V. M., & da Silva Pereira, R. (2015). Importância da sustentabilidade para as empresas do setor de energia elétrica: utilização de relatório de sustentabilidade com base no GRI. *Revista Metropolitana de Sustentabilidade (ISSN 2318-3233)*, 5(3), 04-25.
- Mello, J. C. C. B. S., Meza, L. A., Gomes, E. G., Serapião, B. P., & Lins, M. P. E. (2003). Análise de envoltória de dados no estudo da eficiência e dos benchmarks para companhias aéreas brasileiras. *Pesquisa Operacional*, 23(2), 325-345.
- Mukaka, M. M. (2012). A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. *Malawi Medical Journal*, 24(3), 69-71.
- Peano, C. R. (2005). Regulação tarifária do setor de distribuição de energia elétrica no Brasil: uma análise da metodologia de revisão tarifária adotada pela Aneel. São Paulo.
- Pereira, N. A., & Tavares, M. (2017). Efficiency of major producing regions of sugar cane through Data Envelopment Analysis (DEA). *CEP*, 38, 100.
- Péres, V. M., Campos, M. V., & Liang, T. L. S. (2015). Smart Grid: A Chance for Brazilian Electric Distribution. *Journal INNOVER*, 1(4), 106-118.

- Périco, A. E., Santana, N. B., & Rebelatto, D. A. D. N. (2017). Efficiency of Brazilian international airports: applying the bootstrap data envelopment analysis. *Gestão & Produção*, 24(2), 370-381.
- Pessanha, J. F. M., Souza, R. C., & Laurencel, L. D. C. (2007). Um modelo de análise envoltória de dados para o estabelecimento de metas de continuidade do fornecimento de energia elétrica. *Pesquisa Operacional*, 27(1), 51-83.
- Pires, J. C., & Piccinini, M. S. (1999). A regulação dos setores de infra-estrutura no Brasil. *A economia brasileira nos anos 90*, 217-260.
- Rødseth, K. L. (2017). Environmental regulations and allocative efficiency: application to coal-to-gas substitution in the US electricity sector. *Journal of Productivity Analysis*, 47(2), 129-142.
- Salgado, L. H., & Motta, R. S. (2005). Marcos regulatórios no Brasil: o que foi feito e o que falta fazer. Rio de Janeiro: Ipea.
- Saurin, V., Lopes, A. L. M., & da Costa Júnior, N. C. (2010). Eficiência e valor: uma abordagem com base na análise envoltória de dados (DEA) aplicada às empresas do setor elétrico no Brasil. *Revista de Economia e Administração*, 9(2).
- Senra, L. F. A. D. C., Nanci, L. C., Mello, J. C. C. B. S., & Meza, L. A. (2007). Estudo sobre métodos de seleção de variáveis em DEA. *Pesquisa Operacional*, 27(2), 191-207.
- Siciliano, A. (2005). Regulação incentivada: simplificação ou complicação na supervisão das concessionárias de eletricidade. *Revista do BNDES*, 12(23), 243-266.
- Sollero, M. K. V., & Lins, M. P. E. (2004). Avaliação de eficiência de distribuidoras de energia elétrica através da análise envoltória de dados com restrições aos pesos. *XXXVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, São João del Rei*.
- Zanini, A. (2004). Regulação econômica no setor elétrico brasileiro: uma metodologia para definição de fronteiras de eficiência e cálculo do fator X para empresas distribuidoras de energia elétrica. *Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro*.

## APÊNDICE I – CONFIGURAÇÕES DOS MODELOS DEA AVALIADOS

MODELO	INSUMOS	PRODUTOS	RETORNO DE ESCALA	QTD DE VARIÁVEIS	QTD DE DMUS	FONTE
1	OPEX	MERCADO PONDERADO, NÚMERO DE CONSUMIDORES, REDE TOTAL	NDRS	4	203	ANEEL, NT 294/2011
2	OPEX	MERCADO PONDERADO, NÚMERO DE CONSUMIDORES, REDE TOTAL	VRS	4	203	BANKER, LOPES, CONTRIBUIÇÃO 2011
3	OPEX, CAPEX	MERCADO PONDERADO, NÚMERO DE CONSUMIDORES, REDE TOTAL	NDRS	5	203	DESMEMBRAMENTO MODELO 1
4	TOTEX	MERCADO PONDERADO, NÚMERO DE CONSUMIDORES, REDE TOTAL	NDRS	4	203	HÍBRIDO GROWITSCH (2009) E ANEEL
5	OPEX AJUSTADO SALÁRIO	MERCADO PONDERADO, NÚMERO DE CONSUMIDORES, REDE TOTAL	NDRS	4	203	SUGESTÃO DO NESP
6	OPEX	MERCADO PONDERADO, NÚMERO DE CONSUMIDORES, REDE URBANA, REDE RURAL	NDRS	5	203	DESMEMBRAMENTO MODELO 1
7	OPEX	MERCADO ALTA TENSÃO - AT, MERCADO MÉDIA TENSÃO - MT, MERCADO BAIXA TENSÃO - BT, NÚMERO DE CONSUMIDORES, REDE TOTAL	NDRS	6	203	DESMEMBRAMENTO MODELO 1
8	OPEX	MERCADO PONDERADO, NÚMERO DE CONSUMIDORES, REDE TOTAL, NÚMERO DE TRANSFORMADORES	NDRS	5	203	SUGESTÃO DO NESP
9	OPEX	MERCADO PONDERADO, NÚMERO DE CONSUMIDORES, EXTENSÃO DE REDE AT, MT, BT	NDRS	6	203	DESMEMBRAMENTO MODELO 1
10	OPEX + ENERGIA NÃO SUPRIDA (ENCARGOS DO USO DA DISTRIBUIÇÃO * Nº DE CONSUMIDORES * SOMA DAS HORAS INDISPONÍVEIS), TEMPO TOTAL DAS INTERRUPÇÕES (DEC*NUC (Nº DE CONSUMIDORES))	MERCADO PONDERADO, NÚMERO DE CONSUMIDORES	NDRS	4	203	GROWITSCH (2010)
11	OPEX	MERCADO PONDERADO, NÚMERO DE CONSUMIDORES, REDE TOTAL, TEMPO MÉDIO DE DESLOCAMENTO – TMD (DISTANCIA)	NDRS	5	203	SUGESTÃO DO NESP
12	EXTENSÃO DE REDE AT, EXTENSÃO DE REDE MT, EXTENSÃO DE REDE BT, NÚMERO DE TRANSFORMADORES, PESSOAL, TERCEIROS, MATERIAIS, OUTRAS DESPESAS	MERCADO PONDERADO, NÚMERO DE CONSUMIDORES	NDRS	10	203	SUGESTÃO DO NESP

13	OPEX, CUSTO DE COMPENSAÇÃO	MERCADO PONDERADO, NÚMERO DE CONSUMIDORES, REDE TOTAL	NDRS	5	203	SUGESTÃO DO NESP
14	OPEX, TEMPO TOTAL DAS INTERRUPÇÕES	MERCADO PONDERADO, NÚMERO DE CONSUMIDORES	NDRS	4	203	GROWITSCH (2009)
15	OPEX SEM TRIBUTOS	MERCADO PONDERADO, NÚMERO DE CONSUMIDORES, REDE TOTAL	NDRS	4	203	RELATÓRIO PARA ABRADDEE, MERCADOS / PSR
16	OPEX	MERCADO PONDERADO, EXTENSÃO DE REDE AT, MT, BT	NDRS	5	203	ELABORADO PELO AUTOR
17	OPEX, CAPEX	MERCADO PONDERADO	NDRS	3	203	ELABORADO PELO AUTOR
18	OPEX	MERCADO PONDERADO, NÚMERO DE TRANSFORMADORES	NDRS	3	203	ELABORADO PELO AUTOR
19	OPEX	MERCADO PONDERADO, REDE URBANA, REDE RURAL	NDRS	4	203	ELABORADO PELO AUTOR
20	TOTEX	MERCADO PONDERADO, NÚMERO DE CONSUMIDORES	NDRS	3	203	GROWITSCH (2009)
21	TOTEX	ENERGIA ENTREGUE(MWH), NÚMERO DE CONSUMIDORES, REDE TOTAL	CRS	4	203	JAMASB, POLLITT(2003) GIANNAKIS ET ALL (2005), ENERGY POLICY, DEA-2VRS
22	TOTEX	ENERGIA ENTREGUE(MWH), NÚMERO DE CONSUMIDORES, REDE TOTAL	VRS	4	203	JAMASB, POLLITT(2003) GIANNAKIS ET AL (2005), ENERGY POLICY, DEA-1VRS
23	OPEX, TEMPO TOTAL DAS INTERRUPÇÕES	ENERGIA FATURADA(MWH), NÚMERO DE CONSUMIDORES, REDE TOTAL	NRDS	5	203	PSR/MERCADOS, RELATÓRIO 4 - ABRADDEE
24	OPEX, ENERGIA NÃO SUPRIDA	ENERGIA FATURADA(MWH), NÚMERO DE CONSUMIDORES, REDE TOTAL	NDRS	5	203	PSR/MERCADOS, RELATÓRIO 4 - ABRADDEE
25	TOTEX, TEMPO TOTAL DAS INTERRUPÇÕES	ENERGIA FATURADA(MWH), NÚMERO DE CONSUMIDORES, REDE TOTAL	NRDS	5	203	PSR/MERCADOS, RELATÓRIO 4 - ABRADDEE
26	TOTEX, ENERGIA NÃO SUPRIDA	ENERGIA FATURADA(MWH), NÚMERO DE CONSUMIDORES, REDE TOTAL	NDRS	5	203	PSR/MERCADOS, RELATÓRIO 4 - ABRADDEE
27	TOTEX, NÚMERO DE INTERRUPÇÕES (FEC*NUC), TEMPO TOTAL DAS INTERRUPÇÕES	UNIDADES DE ENERGIA ENTREGUE, NÚMERO DE CONSUMIDORES, REDE TOTAL	CRS	6	203	GIANNAKIS ET ALL/ENERGY POLICY, 2005
28	TOTEX, NÚMERO DE INTERRUPÇÕES , TEMPO TOTAL DAS INTERRUPÇÕES	UNIDADES DE ENERGIA ENTREGUE, NÚMERO DE CONSUMIDORES, REDE TOTAL	VRS	6	203	GIANNAKIS ET ALL/ENERGY POLICY, 2005
29	OPEX	UNIDADES DE ENERGIA ENTREGUE, NÚMERO DE CONSUMIDORES, REDE TOTAL	CRS	4	203	GIANNAKIS ET ALL/ENERGY POLICY, 2005, REGULADOR FINLÂNDIA
30	OPEX	ENERGIA DISTRIBUÍDA, EXTENSÃO DE REDE SEGREGADA EM MÉDIA E BAIXA VOLTAGEM E EM SUBTERRÂNEO OU NÃO, NÚMERO DE TRANSFORMADORES	NDRS	4	203	REGULADOR DINAMARCA

31	OPEX, CAPEX	MERCADO PONDERADO, NÚMERO DE TRANSFORMADORES, NÚMERO DE CONSUMIDORES	NDRS	5	203	ELABORADO PELO AUTOR
32	TOTEX	MERCADO AT MT BT, REDE TOTAL	NDRS	3	203	ELABORADO PELO AUTOR
33	TOTEX	MERCADO PONDERADO, REDE AT MT BT	NDRS	2	203	ELABORADO PELO AUTOR
34	OPEX	MERCADO PONDERADO, NÚMERO DE CONSUMIDORES, NÚMERO DE TRANSFORMADORES	NDRS	4	203	ELABORADO PELO AUTOR
35	OPEX	MERCADO PONDERADO, NÚMERO DE CONSUMIDORES, POTÊNCIA MVA TRANSFORMADORES	NDRS	4	203	ELABORADO PELO AUTOR
36	OPEX COM CORREÇÃO DE SALÁRIOS	MERCADO PONDERADO, NÚMERO DE CONSUMIDORES, REDE TOTAL	NDRS	4	124	ANEEL, NT 192/2014, MODELO 1
37	OPEX COM CORREÇÃO DE SALÁRIOS	MVA INSTALADO, NÚMERO DE CONSUMIDORES, REDE TOTAL	NDRS	4	124	ANEEL, NT 192/2014, MODELO 2
38	OPEX COM CORREÇÃO DE SALÁRIOS	MERCADO PONDERADO, NÚMERO DE CONSUMIDORES, REDE TOTAL, PERDAS NÃO TÉCNICAS (PNT) - NEGATIVO, ENDIST - NEGATIVO	NDRS	6	124	ANEEL, NT 192/2014, MODELO 3
39	OPEX COM CORREÇÃO DE SALÁRIOS	MVA INSTALADO, NÚMERO DE CONSUMIDORES, REDE TOTAL, PERDAS NÃO TÉCNICAS (PNT) - NEGATIVO, ENDIST - NEGATIVO	NDRS	6	124	ANEEL, NT 192/2014, MODELO 4
40	OPEX COM CORREÇÃO DE SALÁRIOS	REDE ALTA E REDE DIST., MERCADO PONDERADO, CONSUMIDORES RURAIS E URBANOS, PERDAS NÃO TÉCNICAS (PNT) - NEGATIVO, ENDIST - NEGATIVO	NDRS	6	124	ANEEL, NT 192/2014, MODELO 5
41	OPEX COM CORREÇÃO DE SALÁRIOS	REDE ALTA E REDE DIST., MVA INSTALADO, CONSUMIDORES RURAIS E URBANOS, PERDAS NÃO TÉCNICAS (PNT) - NEGATIVO, ENDIST - NEGATIVO	NDRS	6	124	ANEEL, NT 192/2014, MODELO 6
42	OPEX COM CORREÇÃO DE SALÁRIOS	REDE AT (A3, A2 E A1), REDE DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA (A3A, A4 E BT), REDE DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEA (AS), MERCADO PONDERADO, NÚMERO DE CONSUMIDORES, PERDAS NÃO TÉCNICAS (PNT) - NEGATIVO, ENDIST - NEGATIVO	NDRS	8	61	ANEEL, NT 407/2014
43	OPEX COM CORREÇÃO DE SALÁRIOS	REDE AT (A3, A2 E A1), REDE DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA (A3A, A4 E BT), REDE DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEA (AS), MERCADO PONDERADO, NÚMERO DE CONSUMIDORES, PERDAS NÃO TÉCNICAS (PNT) - NEGATIVO, ENDIST - NEGATIVO, NÚMERO DE TRANSFORMADORES	NDRS	9	61	BOGETOFT , LOPES (2015), MODELO B, NESP - OFICIAL
44	OPEX COM CORREÇÃO DE SALÁRIOS	REDE AT (A3, A2 E A1), REDE DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA (A3A, A4 E BT), REDE DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEA (AS), MERCADO PONDERADO, NÚMERO DE CONSUMIDORES, PERDAS NÃO TÉCNICAS (PNT) - NEGATIVO, ENDIST - NEGATIVO, NÚMERO DE TRANSFORMADORES	NDRS	9	61	BOGETOFT , LOPES (2015), MODELO C, NESP - OFICIAL



45	OPEX COM CORREÇÃO DE SALÁRIOS	REDE AT (A3, A2 E A1), REDE DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA (A3A, A4 E BT), REDE DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEA (AS), MERCADO PONDERADO, NÚMERO DE CONSUMIDORES, PERDAS NÃO TÉCNICAS (PNT) - NEGATIVO, ENDIST - NEGATIVO, NÚMERO DE TRANSFORMADORES	NDRS	9	61	BOGETOFT , LOPES (2015), MODELO D, NESP - OFICIAL
----	-------------------------------	--	------	---	----	---