



**XX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica
SENDI 2012 - 22 a 26 de outubro
Rio de Janeiro - RJ - Brasil**

Sandra de Sousa Xavier	Jose Wanderley Marangon Lima
Universidade Federal de Itajubá	Universidade Federal de Itajubá
sandraxavier@gmail.com	marangon@unifei.edu.br

Qualidade do serviço de distribuição de energia elétrica: uma análise de eficiência das concessionárias brasileiras

Palavras-chave

Análise de eficiência
Qualidade do serviço
Setor de distribuição de energia elétrica

Resumo

A qualidade do serviço de distribuição de energia tem recebido maior destaque desde as reformas implementadas no setor elétrico. Antes, com a regulação pelo custo de serviço, existia excesso nos investimentos realizados, e como resultado, a qualidade oferecida muitas vezes era superior a esperada. Hoje, as concessionárias na busca pela redução de custos, consequência da regulação por incentivos, têm reduzido os níveis de qualidade do serviço. Este artigo analisa a possibilidade de inclusão do aspecto qualidade na análise de eficiência empresarial. Para tanto, foram empregados os métodos: *Data Envelopment Analysis* e *Corrected Ordinary Least Square* para comparar o modelo adotado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e o modelo proposto. Através dos resultados, pode-se concluir que existe diferença entre o *ranking* das empresas eficientes quando a qualidade é incorporada ao método.

1. Introdução

A tarefa principal do sistema de distribuição é transportar eletricidade através das redes de transmissão para os pontos de consumo em condições adequadas de qualidade. Há duas décadas, a forma de regulação da distribuição tem sofrido alterações com o intuito induzir uma maior competitividade entre as concessionárias.

Antes, a forma de regulação adotada era baseada no custo do serviço, mas devido ao excesso de investimentos e altos preços ao consumidor, formas alternativas tem surgido, dentre elas o preço teto (do inglês, *price cap*). Este método originou-se no Reino Unido na década de 80 com o intuito de regular as concessionárias num ambiente em que se pretendia introduzir a competição no setor elétrico. A sua principal motivação é melhorar a capacidade de avaliação do regulador com relação à eficiência do regulado. Com a adoção do preço teto e a permissão de apropriação dos lucros pelas concessionárias, o governo acreditava

que as empresas iriam mostrar as suas verdadeiras capacidades (JAMISON, 2007).

O preço teto tem início com a determinação, pelo regulador, do valor máximo dos preços praticados pelas concessionárias, bem como a forma de atualização do mesmo durante todo o decorrer do período entre revisões tarifárias (geralmente 4 ou 5 anos). Com o preço e as metas de produtividade fixadas, qualquer redução de custos maior do que as metas pode ser apropriada pela concessionária (ARAÚJO, 2001).

Assim, dado que os preços não estão diretamente relacionados com os custos, como na regulação por custo de serviço, as companhias são motivadas a elevar o seu nível de eficiência, ajustando-o ao nível do preço estipulado. O objetivo é incentivar a empresa a se tornar mais lucrativa a partir de uma gestão de custos mais eficiente, contudo alguns aspectos devem ser analisados: o uso da divisão de lucros é uma prática normal para evitar que a concessionária se aproprie de ganhos extraordinários e regulamentos são estabelecidos para garantir a qualidade do serviço, que pode ser prejudicada com a redução de custos (SARAIVA & SILVA & LEÃO, 2002).

Dentro deste contexto, a qualidade do serviço surge como uma questão importante na regulação pelo preço teto. Este aspecto é normalmente negligenciado a favor de custos menores, resultando em um serviço com qualidade inferior. Muitos reguladores têm utilizado *benchmark* para avaliar custos eficientes, mas na maioria deles não se inclui a qualidade do serviço (GIANNAKIS & JAMASB & POLLITT 2005). Aqui no Brasil, a qualidade é monitorada através dos índices de continuidade estabelecidos pelo órgão regulador de forma separada da avaliação da eficiência empresarial.

O artigo analisa a possibilidade de inclusão do aspecto qualidade do serviço na análise de eficiência das concessionárias de energia elétrica no Brasil. Para tanto, o artigo aplica duas metodologias: uma baseada em *Data Envelopment Analysis* (DEA) e outra em *Corrected Ordinary Least Square* (COLS) em uma base composta por dados de 26 concessionárias entre os anos de 2003 a 2009. O modelo *top-down* proposto é comparado com o modelo de empresa de referência (SANHUEZA & RUDNICK & LAGUNAS, 2004). A seção 2 faz uma revisão de literatura sobre análise de eficiência juntamente com o uso dos métodos paramétricos e não paramétricos. A seção 3 apresenta as diferentes dimensões da qualidade do serviço de energia elétrica, assim como métodos de incentivo para o seu aumento. A metodologia proposta neste artigo está reunida na seção 4. Na seção 5, os dados utilizados juntamente com os resultados das simulações são apresentados. Finalmente, na seção 6 está a conclusão do artigo.

2. Desenvolvimento

2 Técnicas de *Benchmarking*

As técnicas de *benchmarking* utilizadas para medir a eficiência relativa das empresas podem ser divididas em técnicas paramétricas (baseadas no conhecimento estatístico) e técnicas não paramétricas (baseadas em programação linear) (JAMASB & POLLITT, 2003). A técnica *Corrected Ordinary Least Square* (COLS) e a *Stochastic Frontier Analysis* (SFA) se enquadram na categoria paramétrica, enquanto a técnica DEA é considerada não paramétrica.

Os métodos COLS e DEA serão discutidos na próxima seção e foram escolhidos por serem os mais utilizados pelos reguladores no setor de energia elétrica (PLAGNET, 2006).

2.1 *Data Envelopment Analysis* (DEA)

DEA é uma técnica não paramétrica que utiliza dados reais para calcular o índice de eficiência das DMUs (*Decision Making Unit*). Este índice varia entre 0 e 1, inclusive, sendo que as empresas eficientes obtêm o *score* 1 e juntas formam a fronteira de eficiência.

Esta análise pode ter orientação para o insumo ou para o produto. Quando a escolha é feita pelo insumo, busca-se uma redução dos insumos, dado certo nível de produto. Inversamente, quando a opção é feita pelo produto, o produto é maximizado dado certo nível de insumos. Geralmente, a orientação para o insumo é considerada apropriada para o setor de distribuição de energia elétrica, já que o objetivo das concessionárias é a redução dos custos, além da mesma possuir pouca influência sobre a demanda. Além da orientação, o DEA pode considerar retorno constante ou variável de escala (KINNUNEN, 2004). No retorno constante de escala, quando ocorre uma expansão ou retração nos insumos por um fator l , os produtos também podem ser expandidos ou retraídos por este mesmo fator. Já no retorno variável de escala esta proporção não é respeitada, ou seja, os produtos são expandidos ou retraídos por um fator diferente de l .

Na literatura existem diversos modelos DEA, mas um se destaca por ser o precursor. O modelo CCR (Charnes, Cooper e Rhodes) com retorno constante de escala, avalia a eficiência total, identifica as DMUs eficientes e ineficientes, além de determinar a que distância da fronteira estão as unidades ineficientes.

Para um maior detalhamento, considere o modelo CCR com orientação para o insumo, onde a eficiência DMU 0 será calculada com base no seguinte Problema de Programação Fracionária - PPF:

$$\text{Max } h_0 = \frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{j0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}}$$

Tal que:

$$\begin{aligned} \frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik}} &\leq 1 \\ u_j, v_i &\geq 0 \quad \forall x, y \end{aligned} \quad (1)$$

Onde:

h_0 = índice de eficiência da DMU em questão;

k = número de DMUs;

j = número de produtos de cada DMU;

i = número de insumos de cada DMU;

u = peso dado aos produtos;

v = peso dado aos insumos.

As propriedades admitidas são: convexidade, livre descarte, retorno constante de escala e ainda, a restrição de que nenhuma saída possa ser produzida sem utilizar entradas.

O problema consiste em achar valores para os pesos (u e v) que maximize a soma ponderada dos produtos dividida pela soma ponderada dos insumos, ou seja, o índice de eficiência da empresa. Contudo, como restrições temos que a eficiência de cada empresa deve estar entre 0 e 1.

Dentre as vantagens do método destaca-se que o índice de eficiência é obtido de forma direta, sem a necessidade de especificar *a priori* os pesos das variáveis ou a função produção, além do método lidar diretamente com múltiplos produtos e insumos. Outro aspecto positivo deste método é que a programação fracionária pode ser transformada em uma programação linear equivalente, facilitando a implementação e permitindo a interpretação de uma variedade de relações de dualidade (BANKER & CHARNES & COOPER, 1984).

No entanto, sabe-se que este método não funciona satisfatoriamente quando o número de variáveis aumenta, pois aumenta também o número de empresas que são consideradas eficientes, ou seja, existe um *trade off* entre a escolha das variáveis e o poder discriminatório da ferramenta (KINNUNEN, 2004).

2.2 Corrected Ordinary Least Square (COLS)

O método COLS é uma técnica paramétrica que usa uma equação de regressão para calcular a fronteira de eficiência. Os coeficientes desta equação são estimados via *Ordinary Least Square* (OLS) e depois a fronteira de eficiência é movida para a empresa que alcançou o melhor desempenho. Desta forma, a equação corrigida passa a corresponder à fronteira de eficiência, de modo que as empresas passam a ser comparadas com os valores da fronteira.

Este método necessita que a função custo ou produção seja definida *a priori*, portanto suposições são feitas com relação às propriedades tecnológicas do processo de produção da empresa. Duas funções são geralmente usadas, a função Cobb-Douglas e a Translog. Neste artigo a função Cobb-Douglas será detalhada por ser amplamente utilizada no setor de energia elétrica.

A função Cobb-Douglas faz a relação, originalmente, entre o produto (Y) e as entradas, capital e trabalho (K e L) e possui o seguinte formato:

$$Y = \beta_0 K^{\beta_1} L^{\beta_2} \quad (2)$$

Onde β_0 , β_1 e β_2 são constantes positivas determinadas pela tecnologia. Se $\beta_1 + \beta_2 = 1$, a função de produção tem retornos constantes de escala. Se $\beta_1 + \beta_2$ é menor que 1, os retornos de escala estão diminuindo, e se forem maiores que 1, os retornos de escala estão aumentando (PINDYCK & RUBINFELD, 2008).

A equação acima mostra claramente que a relação entre a produção e os insumos não é linear. Portanto, para facilitar a sua aplicação, usa-se logaritmo natural em ambos os lados da Equação (2):

$$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \ln K + \beta_2 \ln L \quad (3)$$

β_1 é a elasticidade (parcial) do produto em relação ao capital e β_2 é a elasticidade (parcial) do produto em relação a mão de obra.

Os coeficientes da Equação (3) são estimados via OLS. A constante da função (β_0) é ajustado pela subtração do maior valor positivo do resíduo de todas as DMUs. Este ajuste garante que a função passa pela unidade mais eficiente e limite as outras unidades. As medidas de distância das unidades não eficientes são calculadas com o quadrado dos seus resíduos corrigidos.

Dentre as vantagens, tem-se que o método mostra o grau do impacto das variáveis de entrada na variável de saída. Contudo, muitos dados são necessários durante a análise de regressão para garantir que os resultados sejam confiáveis. O resultado da regressão também é muito sensível a forma funcional e a presença de *outliers*. Assim como o DEA, o método COLS assume também que todos os desvios da fronteira são devidos à ineficiência, ou seja, não permite a presença de erros estocásticos.

3. Regulação da Qualidade do Serviço

A qualidade do serviço de fornecimento de energia elétrica possui diferentes dimensões que podem ser reunidas em: qualidade comercial, qualidade da tensão e continuidade do suprimento (CEER, 2001).

A qualidade comercial está relacionada com os acordos individuais feitos entre a concessionária e os clientes. Conexão de novos clientes, cobrança de serviços, resposta às reclamações e instalação de equipamentos de medição, são alguns exemplos de acordo individual.

A qualidade da tensão é definida pela forma da onda de tensão normalmente identificada através dos índices de conformidade. Os principais parâmetros deste aspecto são variações na frequência, flutuações na magnitude de tensão, variações de tensão de curta e longa duração, harmônicos, dentre outros.

Já a continuidade do suprimento é caracterizada pelo número e pela duração das interrupções, que normalmente são medidas através dos índices de Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) e Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC).

O DEC mede o intervalo de tempo em que, em média, no período de observação, em cada unidade consumidora do conjunto considerado, ocorreu descontinuidade na distribuição de energia elétrica (ANEEL, 2000):

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^k C a_i * t_i}{C c} \quad (4)$$

Onde:

k = número máximo de eventos no período considerado;

Cai = número de unidades consumidoras interrompidas em um evento (i) no período de apuração;

ti = duração de cada evento (i) no período de apuração;

Cc = número total de unidades consumidoras, do conjunto considerado, no final do período de apuração.

O FEC indica o número de interrupções ocorridas, em média, no período de observação, em cada unidade consumidora do conjunto considerado:

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^k Ca_i}{Cc} \quad (5)$$

A concessionária de distribuição deverá apurar os indicadores de continuidade considerando as interrupções com duração maior ou igual a 3 minutos. Apesar da multa atualmente incidir apenas sobre os índices individuais, o DEC e FEC continuam a ser a referência para todos os índices de continuidade.

López, Glachant e Pérez (2008) discutem o impacto da qualidade em diferentes esquemas de regulação. A regulação pelo custo de serviço se apresenta satisfatória quando o principal problema do sistema é a falta de investimento. A tendência natural neste esquema é o fornecimento do serviço com uma qualidade superior ao ótimo, devido ao efeito Averch-Johnson, onde a taxa de retorno definida pelo regulador é superior ao custo de capital da concessionária.

Na regulação por incentivos, a redução de custos geralmente é alcançada através do efeito adverso de queda da qualidade. Se a concessionária consegue atender os consumidores com uma qualidade que é repassada pela tarifa, investimentos são feitos; caso contrário, os gestores sacrificam a qualidade em favor dos lucros.

Existem diferentes métodos para incentivar a qualidade nas concessionárias de distribuição: (a) recompensa ou penalidade marginal, (b) multa absoluta e (c) qualidade inclusa no *benchmark*. No primeiro método as empresas recebem uma recompensa marginal por melhorar a sua qualidade por unidade e de forma contrária, as empresas pagam uma multa marginal por piorar a sua qualidade por unidade. Nas multas absolutas, quando a qualidade da concessionária se localiza abaixo de um limite determinado pelo regulador, a empresa deve pagar uma multa pré-determinada, que geralmente é um valor alto. Na prática pode existir a combinação entre estes dois métodos citados. Finalmente, o método baseado em *benchmark* utiliza os mesmos princípios da recompensa ou penalidade marginal (FRONTIER ECONOMICS, 2003).

Como exposto anteriormente, as concessionárias enfrentam a escolha entre a redução dos custos e a melhoria da qualidade. O regulador, através de suas políticas, incentiva os custos eficientes, contudo, na busca por esta redução, a qualidade pode ser comprometida. Para os gestores das concessionárias fica a responsabilidade de decidir entre o melhor *trade off* entre custos e qualidade.

4. Metodologia proposta

As metodologias do tipo *top-down* aplicadas na avaliação da eficiência das distribuidoras são baseadas em vários modelos, ou seja, em diferentes combinações de insumos e de produtos com o intuito de solucionar o problema de robustez apontado em Plagnet (2006).

Assim, neste artigo são considerados 7 modelos diferentes, como mostra a Tabela 1: os modelos de 1 a 5 são baseados na técnica DEA com a orientação para o insumo e retornos não decrescente de escala, já os modelos 6 e 7 são baseados na técnica COLS. Para o cálculo foram utilizados os programas EMS versão 1.3.0 (SCHEEL, 2000) e Excel, respectivamente.

A Tabela 1 reúne os modelos aplicados, as variáveis Opex e Totex estão relacionadas com os custos operacionais e os custos totais, respectivamente. Já a variável Rede mede o tamanho, em quilômetros, das redes em baixa, média e alta tensão de propriedade das distribuidoras. A variável Mercado mede o mercado faturado em MWh, agregado em baixa, média e alta tensão, levando-se em conta o peso de cada um nos custos operacionais. A variável Consumidores mede o número de unidades consumidoras faturadas.

Tabela 1- Resumo dos modelos avaliados

Modelos	1	2	3	4	5	6	7
Variáveis							
Insumo							
Opex	X	X		X		X	
Totex			X		X		X
Produto							
Rede	X	X	X	X	X	X	X
Mercado	X					X	
Consumidores	X	X	X	X	X	X	X
FEC				X	X		X

O FEC indica o número de interrupções ocorridas, em média, no período de observação, em cada unidade consumidora do conjunto considerado. Ressalta-se que a melhoria da continuidade implica em minimizar os níveis médios do indicador FEC. Os índices DEC e FEC apresentam uma correlação alta ($r = 0,900$), portanto optou-se por utilizar o FEC devido a maior correlação com os insumos.

Os modelos DEA admitem que a tecnologia é monotônica e convexa, isso quer dizer que um aumento na quantidade de algum insumo não deve resultar em reduções nas quantidades dos produtos. Portanto, a variável de qualidade teve o seu valor invertido ao ser implementada no DEA para evitar a inconsistência de que uma empresa eficiente é aquela que possui maior valor de FEC. Este procedimento foi também adotado no trabalho (TANURE & TAHAN & LIMA, 2006).

O modelo 1, proposto pela ANEEL no 3º ciclo de revisões tarifárias, possui como insumo apenas os custos operacionais e como produtos, a extensão da rede, o número de consumidores e o mercado faturado. Neste modelo as concessionárias não são avaliadas de acordo com a qualidade (ANEEL, 2011).

O modelo *top down* proposto é o modelo 5, nele são contemplados os aspectos de custo total e qualidade do serviço. Este modelo servirá de base para comparar se existe diferença significativa entre a análise de custo pura e a análise de custo combinada com qualidade.

Analisando a qualidade, quando o setor é passível de competição, o próprio mercado irá buscar um

equilíbrio entre o preço e qualidade, sendo este último reflexo das preferências do consumidor. Mas, em setores onde não é possível a instauração da competição, a qualidade deve ser controlada.

Como exposto anteriormente, quando existe o movimento a partir do custo do serviço para o sistema por incentivos, é esperado que o nível da qualidade da energia fornecida sofra uma queda. Assim, explica-se a importância de avaliar a eficiência das concessionárias considerando os aspectos de qualidade.

5. Resultados

Nesta seção são apresentados os dados utilizados, os resultados dos modelos de eficiência apresentados na Tabela 1 e a análise de correlação entre estes resultados. O modelo 1 é o modelo proposto pela ANEEL para o 3º ciclo de revisões tarifárias no Brasil.

5.1 Dados do setor elétrico brasileiro

Neste artigo avalia-se a eficiência das 26 maiores concessionárias de distribuição de energia do Brasil entre os anos de 2003 a 2009. As concessionárias possuem a seguinte localização: 1 na Região Norte, 7 na Região Nordeste, 4 na Região Centro-Oeste, 9 na Região Sudeste e 5 na Região Sul. Os dados foram coletados a partir de notas técnicas e bancos de dados da ANEEL.

Optou-se por coletar os dados em um período de 6 anos para ampliar o tamanho da amostra e evitar problemas relacionados à dimensão, assim a análise será baseada em 182 observações. Uma empresa no ano de 2003 pode ser comparada com outra empresa no ano de 2008. Ainda, a própria empresa em um ano qualquer pode ser comparada a ela mesma em outro ano.

5.2 Resultados

Os resultados de eficiência de cada modelo foram resumidos nas Tabelas 2 e 3. De uma forma geral, pode-se observar dos resultados da Tabela 3 que o índice de eficiência varia de acordo com o modelo adotado.

No modelo 1, onde são considerados como insumo os custos operacionais e como produto, rede, mercado e consumidores, a média de eficiência entre as concessionárias é de aproximadamente 71%, como um desvio padrão de 16,05%. A variabilidade dos *scores* é considerável, com valores entre um mínimo de 42% e o máximo de 100%. A empresa que alcançou o pior resultado é a Ceb no ano de 2003 e 2004. Neste modelo, são 11 o número de concessionárias que compõem a fronteira de eficiência, dentre estas 4 *scores* são pertencentes a Cosern em anos diferentes (2004, 2005, 2008 e 2009). Outra empresa que obteve destaque nesse modelo foi a RGE, servindo como *benchmarking* no ano de 2003 e 2009.

Tabela 2 - Estatística descritiva dos resultados dos modelos

Modelo	Média	Desvio Padrão	Mínimo
1	70,84	16,05	42
2	64,30	17,04	34
3	73,12	15,86	42
4	66,01	17,75	34

5	64,91	22,19	10
6	62,23	16,97	31
7	64,53	15,12	40

Tabela 3 - Concessionárias eficientes

Modelo	DMUs eficientes	DMUs
1	11	Cemar 2007; Coelba (2008, 2009); Cosern (2004, 2005, 2008, 2009); CPFL Piratininga (2008, 2009); Rge (2003, 2009)
2	8	Cemar 2007; Coelba (2008, 2009); Cosern (2004, 2005, 2008, 2009); RGE 2003
3	8	Celg 2003; Celpe 2009; Cepisa (2003, 2004, 2007, 2008); Coelba 2009; Cosern 2009
4	10	Cemar 2007; Coelba (2008, 2009); Cosern (2004, 2005, 2008, 2009); Eletropaulo 2004; RGE (2003, 2009)
5	11	Cepisa (2003, 2004, 2007, 2008); Cosern (2003, 2004, 2008, 2009); CPFL Piratininga (2003, 2009); Escelsa 2009
6	1	RGE 2003
7	1	Coelce 2005

No modelo 2, onde são considerados como insumo os custos operacionais e como produto, rede e consumidores, as empresas alcançaram um *score* médio de eficiência menor e uma variabilidade maior do que no modelo 1. A empresa com menor pontuação obteve aproximadamente 34% e a fronteira é composta por 8 empresas, com destaque para Cosern e Coelba, que foram consideradas eficientes o maior número de vezes durante o período.

O modelo 3 difere do modelo 2 com relação ao insumo, o modelo 3 considera os custos totais e não somente os operacionais. A média de *scores* foi de aproximadamente 73%, superior aos modelos 1 e 2, e 8 empresas compõem a fronteira, destaque para Cepisa.

O modelo 4, onde são considerados como insumo os custos operacionais e como produto, rede, consumidores e FEC, as empresas alcançaram o resultado médio de aproximadamente 66%, superior ao modelo 2, onde a qualidade não é considerada.

O modelo 5, modelo proposto, apresenta uma eficiência média de aproximadamente 65%, inferior ao modelo 3, onde a qualidade não é considerada.

No modelo 6, baseado no método COLS, o *score* médio foi aproximadamente 62% e apenas 1 empresa foi considerada eficiente, RGE 2003.

O modelo 7, que considera como insumo os custos totais e como produto, rede, consumidores e FEC, apenas 1 empresa foi considerada eficiente, Coelce 2005.

Analisando os possíveis *benchmarkings* do período, tem-se que 3 concessionárias se destacam por serem consideradas eficientes o maior número de vezes: a Cosern, que foi pontuada como eficiente 17 vezes, a Cepisa 8 vezes e a Coelba que foi considerada *benchmarking* 7 vezes. Nenhuma empresa foi considerada eficiente de forma unânime, ou seja, apontada como eficiente pelos 7 modelos.

A análise de correlação dos *scores* de eficiência visa avaliar se a inclusão da qualidade altera o *ranking* das empresas eficientes, a Tabela 4 reúne estas informações:

Tabela 4 – Análise de correlação dos resultados

Correlação	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	Modelo 7
Modelo 1	1	0,889	0,479	0,889	0,203	0,789	0,532
Modelo 2		1	0,679	0,978	0,267	0,653	0,640
Modelo 3			1	0,595	0,648	0,426	0,805
Modelo 4				1	0,181	0,643	0,589
Modelo 5					1	0,317	0,442
Modelo 6						1	0,590
Modelo 7							1

Esta análise foi feita para mostrar como os resultados dos diferentes modelos se relacionam. O modelo proposto (5), que combina custos totais e qualidade em uma abordagem DEA, apresenta uma correlação maior com o modelo 3, sendo a principal diferença entre os modelos a consideração da variável de qualidade. Já comparando o modelo proposto com o modelo da ANEEL (1), a correlação é baixa ($r = 0,203$), mostrando que os modelos não consideram como eficientes as mesmas empresas, ou seja, a inclusão da variável qualidade na análise altera o *ranking* das empresas eficientes.

Comparando o modelo 1 e 2, percebe-se um grau de correlação elevado, isto representa que a variável mercado faturado não está agregando informação nova ao modelo, e que em uma análise inicial, esta deve ser retirada. Esta decisão também pode ser tomada com base na correlação existente entre o número de consumidores e o mercado faturado ($r = 0,914$).

O modelo 6 apresenta uma correlação alta com o modelo 1 ($r = 0,789$), contrariando o resultado esperado, pois de acordo com Cubbin & Tzanidakis (1998) a correlação deveria ser baixa, em outras palavras, os métodos DEA e COLS deveriam mostrar diferentes *scores* de eficiência para um mesmo conjunto de dados.

3. Conclusões

Neste artigo foi avaliada a eficiência das 26 maiores concessionárias de distribuição de energia elétrica do Brasil de acordo com o método DEA e COLS. Ao utilizar o método DEA, a orientação para o insumo e o retorno não decrescente de escala foram escolhidos. Já quanto ao COLS, a função de produção utilizada foi a Cobb-Douglas.

Pelos resultados das simulações, notou-se que a eficiência da concessionária varia de acordo com a técnica de *benchmark* e de acordo com a escolha dos insumos e produtos. Mas, mesmo com a presença desta variabilidade, as empresas, segundo esta técnica, têm espaço para melhorar a sua eficiência, ou seja, ainda há condição para redução dos custos das concessionárias.

Durante a análise de correlação dos *scores* obtidos, percebeu-se que o modelo em vigor pela ANEEL difere do modelo proposto, que contempla a qualidade, ou seja, com a inclusão da qualidade há um reposicionamento entre as empresas no que se refere à eficiência. Uma empresa no modelo ANEEL pode ser considerada eficiente por possuir custos operacionais baixos, apesar de possuir índices de qualidade elevados. Assim, a sugestão refere-se à inclusão de uma variável de saída que contemple a qualidade na análise de eficiência, para tanto sugere-se o índice FEC, que apresenta uma maior correlação com as demais variáveis. Na realidade o FEC relaciona-se mais com os investimentos na rede ao passo que o DEC com os investimentos em operação como aumento das equipes, veículos, redes de comunicação, etc. Entretanto, na metodologia DEA, a incorporação de muitas variáveis de entrada e saída faz com que se perca a sensibilidade quanto ao posicionamento das empresas (KINNUNEN, 2004).

Nenhuma empresa foi considerada eficiente simultaneamente por todos os modelos. Ademais, a medida que se varia a combinação de variáveis e a técnica de *benchmarking*, o *ranking* de empresas eficientes também se modifica.

4. Referências bibliográficas

ANEEL. Resolução nº 024 de 2000. Disponível em: [HTTP://www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br)

ANEEL. Resolução Normativa nº 294 de 2011. Disponível em: [HTTP://www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br)

ARAÚJO, J. L. R. H. *Modelos de formação de preços na regulação de monopólios*. Econômica, v3, n. 1,

2001.

AVERCH, H.; JOHNSON, L. L. "Behavior of the firm under regulatory constraint". *The American Economic Review*, v. 52, n. 5, 1962.

Banker, R.D.; R.F. Charnes; W.W. Cooper. "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis". *Management Science*, v. 30, 1984.

CEER, Council of European Energy Regulators. "Quality of Electricity Supply: Initial Benchmarking on Actual Levels, Standards and Regulatory Strategies", 2001.

CUBBIN, J.; TZANIDAKIS, G. "Regression versus data envelopment analysis for efficiency measurement: an application to the England and Wales regulated water industry". *Utilities Policy*, v. 7, 1998.

FRONTIER ECONOMICS. "Developing monopoly price controls, Workstream B, Balancing incentives". A final report prepared for OFGEM, Standard project document, 2003.

Giannakis, D.; Jamasb, T.; Pollitt, M.G. "[Benchmarking and incentive regulation of quality of service: an application to the UK electricity distribution utilities](#)," *Cambridge Working Papers in Economics* 0408, 2004.

Jamasb, T.; Pollitt, M. "International benchmarking and regulation: an application to European electricity distribution utilities". *Energy Policy*, v. 31, n. 15, 2003.

JAMISON, M. A. *Regulation: Price Cap and Revenue Cap*. Encyclopedia of energy engineering and technology. New York: CRC Press, 2007.

KINNUNEN, K. "Pricing of electricity distribution: an empirical efficiency study in Finland, Norway and Sweden". *Utilities Policy*, v. 13, 2004.

LÓPEZ, R.; GLACHANT, J.-M.; PÉREZ, Y. "A framework for Quality Regulation in Electricity Distribution", 5th International Conference on the European Electricity Market, 2008.

PLAGNET, M. A. "Use of Benchmarking Methods in Europe in the Electricity Distribution Sector". Conference on Applied Infrastructure Research, 2006.

Sanhueza, R.; Rudnick, H.; Lagunas, H. "DEA Efficiency for the Determination of the Electric Power Distribution Added Value". *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 19, n. 2, 2004.

Sanhueza, R.; Rudnick, H.; Lagunas, H. "DEA Efficiency for the Determination of the Electric Power Distribution Added Value". *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 19, n. 2, 2004.

SARAIVA, J. P. T.; SILVA, J. L. P.; LEÃO, M. T. P. *Mercados de Electricidade - Regulação e Tarificação de Uso das Redes*. FEUP Edições, 2002.

SCHEEL, H. EMS: "Efficiency measurement system users' the annual". Operations Research und Wirtschaftsinformatik. University of Dortmund, Germany. 2000.

TANURE, E.S.; TAHAN, M.O.; LIMA, J. J.W. "Establishing Quality Performance of Distribution Companies based on Yardstick Regulation", *IEEE Transaction on PWRS*, v. 21, n. 3, 2006.

PINDYCK, R. S.; RUBINFELD, D. L. *Microeconomics*. 6th Edition. Prentice Hall, 2008.