

ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DA EFICIÊNCIA DE EMPRESAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Gustavo Naciff de Andrade

Universidade Federal Fluminense

gnaciff@yahoo.com.br

Annibal Parracho Sant'Anna

Universidade Federal Fluminense

annibal.parracho@gmail.com

RESUMO

O presente estudo propõe analisar a evolução da eficiência de empresas de transmissão de energia elétrica entre 2002 e 2008, por meio do uso do índice de Malmquist. Busca-se, dessa forma, abordar a questão da eficiência sob um prisma distinto do implementado pela ANEEL. O modelo empregado contribui para o debate sobre custos operacionais eficientes das empresas do setor levando em conta a evolução do desempenho relativo da empresa. Como variáveis representativas da produção do setor são empregadas: comprimento de rede, capacidade de transformação, quantidade de trafos e quantidade de módulos. Uma das etapas do cálculo do índice de Malmquist-DEA é o cálculo das eficiências com retornos variáveis de escala, cujos resultados para o período referido são também incorporados a esta análise.

Palavras-chave: Eficiência, Transmissão de Energia Elétrica, índice de Malmquist.

1. Introdução

A adoção da regulação por incentivos tem como objetivo principal encontrar meios de produzir incentivos que estimulem os agentes regulados a reduzir os custos e implementar inovações tecnológicas, de forma a aumentar a produtividade das empresas.

Neste contexto surge uma das problemáticas a serem resolvidas pelo regulador: para que seja possível estimular a eficiência é necessário antes que sejam definidas métricas de cálculo e análise da eficiência para mensurar como as empresas devem gerir seus ativos e custos operacionais em seus respectivos processos produtivos.

São diversas as técnicas que podem ser utilizadas para medir a eficiência de firmas, bem como desenvolver padrões a serem seguidos para que cada firma atinja a eficiência. Na literatura sobre análise de eficiência há grande diversidade de aplicações de distintas técnicas de *benchmarking*, com o objetivo de, através da comparação de performances, identificar fontes de ineficiência bem como as melhores práticas para que seja possível atingir a chamada fronteira de eficiência.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) na Nota Técnica nº 396/2009 - SRE/ANEEL (ANEEL, (2009)) propôs uma metodologia baseada na Análise Envoltória de Dados (DEA) com retornos não decrescentes em duas fases para estimar eficiência das transmissoras, como parte do processo de definição de custos operacionais eficientes.

O presente estudo objetiva realizar o cálculo da eficiência destas empresas através de uma abordagem tradicional DEA com retorno variável de escala e

posteriormente fazer a análise da evolução das eficiências tendo como base o índice Malmquist-DEA. O emprego de outras metodologias para a realização desta análise é discutido em maior profundidade em Andrade (2010).

A Seção seguinte apresenta os aspectos mais importantes do setor no Brasil e discute a questão da regulação do mesmo. As Seções 3 e 4 apresentam uma breve revisão da DEA e do cálculo do índice de Malmquist-DEA. A Seção 5 apresenta a aplicação da metodologia proposta aos dados do setor. A Seção 6 conclui a análise.

2. O Segmento de Transmissão de Energia Elétrica no Brasil

A principal marca do setor elétrico é a forte interdependência temporal e espacial que existe entre os processos responsáveis por disponibilizar a energia elétrica para o consumo final (Pinto Júnior et al., 2007). Além disso, o que caracteriza o produto eletricidade é a sua não estocabilidade. Assim, a forte interdependência e não estocabilidade são pontos determinantes para compreender o processo produtivo e o produto desta indústria. Destes conceitos emerge o fato que singulariza ainda mais a indústria de energia elétrica: a produção e o consumo do produto se dão concomitantemente, o que exige que haja uma rede interligando o espaço de geração ao espaço de utilização e que qualquer evento que afete um dos elos desta rede irá afetar o fluxo como um todo.

O Sistema Interligado Nacional - SIN possui dimensões continentais e pode ser caracterizado como um sistema hidrotérmico com forte predominância hidrelétrica. Desta maneira, tanto pelas dimensões físicas do sistema, como

pelo fato de as usinas hidrelétricas em geral não estarem próximas aos centros de carga, para que fosse possível interligar um sistema de tamanha magnitude desenvolveu-se no país uma extensa malha de linhas de transmissão.

Segundo o Plano Decenal de Energia 2019 (EPE, 2010), para que fosse possível atender a este mercado (caracterizado por grandes distâncias entre os geradores de energia e os centros de carga) foi necessário o desenvolvimento de uma grande variedade de níveis de tensão nas linhas de transmissão. Neste contexto, destaca-se a Rede Básica, que compreende as tensões de 230 kV a 750 kV.

As linhas de transmissão do SIN vêm crescendo ano após ano. Para que se tenha uma ideia da magnitude dessa expansão, segundo dados do ONS, em 1995 as linhas de transmissão da chamada Rede Básica do Sistema totalizavam 61.571 Km. Já em 2009 este valor atingiu a expressiva marca de 96.140 Km, o que representa um incremento de 34.569 Km ao longo dos últimos 14 anos, ou uma média de acréscimo anual da ordem de 2.469 km, ou a uma taxa de incremento anual superior a 3% em termos acumulados,.

Quando a estrutura de custos de produção de um setor faz com que o mercado verifique preços menores quando há apenas uma empresa atuando nele ao invés de várias, há justificativa para o surgimento de um monopólio natural (Train, 1995). Neste caso, ao contrário do verificado nos setores de livre concorrência, é existência de apenas uma empresa que gera o benefício esperado do menor preço ao consumidor.

Surge então a necessidade de regulação econômica, uma vez que os interesses do monopolista e da sociedade são distintos. A regulação

econômica busca garantir os retornos sociais quando a competição não é exeqüível (Benjó, 1999). Assim a função regulatória é maximizar o benefício resultante das concessões garantindo tanto os concessionários (através da definição e estabilidade do marco regulatório) quanto os consumidores (protegendo-os de práticas abusivas e garantindo a modicidade tarifária).

A reforma da indústria de energia elétrica, iniciada na década de 90 e aprofundada no início dos anos 2000, delimitou três básicos segmentos distintos de atuação na indústria. Por um lado, a geração tornou-se um mercado competitivo. De outro lado, os segmentos de transmissão e distribuição foram definidos como monopólios naturais. Os elevados investimentos necessários ao desenvolvimento das estruturas, bem como a necessidade de coordenação das diversas partes do sistema fortalecem a ideia de que esta seria a melhor forma de organização de mercado para estes segmentos.

Como a propriedade das linhas de transmissão era basicamente das empresas públicas que atuavam neste segmento no momento da reforma, definiu-se que essas empresas assinariam contratos de concessão, nos quais seriam as responsáveis por operar estas linhas por um período de 30 anos e receberiam uma Receita Anual Permitida (RAP) por desenvolver essa atividade. Ficou a cargo da ANEEL calcular a RAP a partir dos ativos de cada uma das empresas. A partir de então o governo federal definiria os novos projetos de transmissão necessários ao atendimento da demanda e à expansão do SIN, ficando a cargo da ANEEL organizar leilões públicos desse projeto, em cada um dos quais se sagraria vencedora a empresa ou consórcio que admitisse a menor RAP para

construir e operar tal linha. O período de concessão nestes leilões também seria de 30 anos.

Tanto a distribuição quanto a transmissão adotaram formas de regulação por incentivos. Segundo Jamasb e Pollit (2001), o principal objetivo da regulação por incentivos é promover a eficiência estabelecendo recompensas para uma boa performance da empresa regulada frente a um *benchmark* pré-definido. Os autores atentam ainda para o fato de a regulação por incentivos ter surgido como uma resposta ao descontentamento com os métodos tradicionais como a taxa de retorno ou custo do serviço. Enquanto no segmento de distribuição, a regulação por incentivos utilizou o *price cap*, o *revenue cap* foi o critério adotado pela ANEEL para regular o setor de transmissão de energia elétrica no Brasil.

Deste modo, o modelo de concessão do serviço público de transmissão de energia elétrica estabelecido tem como objetivo estimular a eficiência na prestação do serviço e a modicidade tarifária, beneficiando os usuários do serviço. Este modelo está baseado em uma receita teto (RAP) que é repassada como pagamento pela operação e disponibilidade da linha de transmissão. Segundo Serrato (2006), para as transmissoras do SIN, a RAP busca fundamentalmente remunerar: os investimentos associados à construção da linha, a depreciação do equipamento e os custos de operação e manutenção, os custos de capital próprio e de terceiros, a estruturação ótima do capital, os tributos e encargos de acordo com a legislação. Cabe ressaltar que a RAP contempla a disponibilidade 100% do tempo da linha. Caso isto não ocorra, a

transmissora é penalizada abatendo-se da RAP um valor a título de penalidade.

No processo regulatório que define a RAP está contemplado um reajuste anual para atualização dos valores monetários a serem repassados, bem como a realização de revisão tarifária, de atribuição da ANEEL como disposto na Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, a ser realizada de quatro em quatro anos.

De acordo com a ANEEL (Nota técnica 371/2008), a revisão tarifária é o instrumento regulatório por meio do qual se garante que os ganhos de eficiência empresarial sejam repassados para o consumidor, garantindo assim a modicidade tarifária.

As tarifas do serviço monopolista de transmissão de energia elétrica possuem dois componentes fundamentais: a remuneração dos ativos necessários à prestação do serviço em questão e os custos operacionais provenientes das atividades de operação e manutenção.

O resultado final das revisões tarifárias deve garantir um reposicionamento tarifário que consiste em calcular uma RAP que contemple tarifas com custos operacionais eficientes e remuneração dos ativos necessários a prestação do serviço nos níveis de qualidade exigidos.

O Reposicionamento Tarifário (RT) é a comparação entre a Receita Requerida para o próximo período e a receita vigente no período anterior deduzindo-se do primeiro termo as receitas originadas da exploração de outras atividades pela concessionária.

Um ponto importante no processo de revisão tarifária é a definição de custos operacionais eficientes. A literatura descreve uma enorme variedade de

métodos para o cálculo desses custos, que comumente podem ser agrupados em dois grupos distintos: modelos normativos (*Bottom up*) e métodos de *benchmarking* (*Top down*).

Os modelos normativos têm como objetivo prescrever os custos ótimos para um determinado nível de operação, a partir da elaboração de uma empresa referência (virtual) para a qual é desenvolvida uma série de padrões de custos, sem se basear nos custos contábeis reais das empresas atuantes no mercado. Já os métodos de benchmarking têm como objetivo comparar a performance de uma determinada empresa às demais que atuam no mesmo seguimento. Em especial os reguladores internacionais tem dado grande ênfase a adoção de métodos de benchmarking que se utilizam da chamada fronteira de eficiência de uma determinada amostra de empresas, que será o benchmarking a partir do qual cada empresa será relativamente comparada.

Algumas das abordagens que levam em consideração a fronteira de eficiência são COLS (Corrected Ordinary Least Square), SFA (Stochastic Frontier Analysis) e DEA (Data Envelopment Analysis), sendo a última a de interesse deste artigo.

De acordo com Haney e Pollit (2009), apenas um pequeno número de reguladores não considera técnicas de benchmarking para analisar eficiência de empresas de setores regulados.

De fato, a abordagem DEA tem sido frequentemente utilizada por reguladores em diversos países como parte do processo de mensuração da eficiência, para uso posterior no processo de revisão tarifária das empresas reguladas. Em

especial são numerosos os estudos nos segmentos de distribuição e geração de energia elétrica.

Em Ramos-Real et al. (2009), por exemplo, a partir da modelagem DEA, são estimadas as mudanças de produtividade no setor de distribuição de energia elétrica de dezoito empresas brasileiras no período compreendido entre 1998 e 2005.

No que tange mais especificamente a transmissão de energia elétrica, o levantamento realizado por Haney e Pollit (2009), indica que reguladores de países como Holanda, Áustria e Bélgica entre outros, assim como o Brasil, adotam algum tipo de modelagem DEA em seus respectivos processos de revisão tarifária.

3. A abordagem DEA e o cálculo de eficiência

A metodologia *Data Envelopment Analysis* (DEA) foi desenvolvida por Charnes, et al. (1978), a partir do conceito de eficiência desenvolvido por Farrell (1957).

A metodologia utiliza-se de técnicas de programação linear para avaliar eficiência produtiva de unidades produtivas, ou empresas genericamente denominadas unidades tomadoras de decisão (*decision making units – DMU*).

Neste contexto as DMUs têm como características processos produtivos semelhantes, que utilizam distintos níveis de insumos (*inputs*) para produzir diferentes quantidades de produtos (*outputs*). A análise DEA é sempre uma comparação entre o universo de unidades produtivas analisadas.

A fronteira de eficiência obtida a partir da modelagem DEA é comumente conhecida como fronteira de eficiência revelada, pois se trata da fronteira a que

se chega com os dados utilizados. A inserção de mais uma unidade na análise pode mudar a fronteira revelada contanto que a nova unidade se revele eficiente.

Há, portanto, uma fronteira de eficiência efetiva que só seria revelada caso se avaliassem todas as possíveis DMUs para aquela curva de produção, trata-se então de uma curva teórica que envolve a curva de eficiência revelada.

Embora haja diversas formas de se determinar as fronteiras da DEA, existem duas que são consideradas clássicas: CCR (ou Constant Returns to Scale – CRS) e BCC (ou Variable Returns to Scale -VRS).

O modelo CCR, desenvolvido por Charnes et al. (1978) é o marco inicial da modelagem DEA e tido como o modelo mais básico. Nele é construída uma superfície não linear por partes, não paramétrica que envolve os dados das unidades produtivas. O fator caracterizador deste modelo é assumir retornos constantes de escala, ou seja, supõe que variações no nível das entradas têm como efeito variações proporcionais na saída.

A eficiência, na DEA, é calculada como o quociente entre soma ponderada dos *outputs* e soma ponderada dos *inputs*, onde os pesos são dados por um problema de programação linear (PPL) de forma mais benevolente para cada DMU, com a condição de os pesos aplicados às outras DMUs não ocasionarem uma razão superior a 1. A eficiência de cada unidade é calculada resolvendo um problema de programação próprio da unidade.

Já o modelo de retorno variável de escala o modelo VRS (*variable returns to scale*) foi desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper (1984). Portanto a

principal diferença entre o CRS e o VRS é que o último assume a existência de retornos variáveis de escala.

Em problemas de programação linear é muito utilizado o conceito de dualidade, que é o tratamento de maneiras distintas de um mesmo problema. Assim surge o conceito de problemas Primal e Dual, que são um par de modelos de programação linear caracterizados por possuírem funções objetivas simétricas. Como o modelo VRS baseia-se na resolução de problemas de programação linear (PPL) para cada unidade analisada, pode-se extrair tanto da resolução do problema primal quanto do dual dados úteis para interpretação da eficiência.

O primal na modelagem DEA é também conhecido como modelo dos multiplicadores e determina o conjunto ótimo dos pesos (*tradeoffs*). O número de restrições do modelo primal é igual ao número de DMUs acrescido de uma unidade e o número de variáveis é a soma da quantidade de *inputs* e *outputs*. Este modelo pode ser expresso pela formulação a seguir:

Modelo Primal	Modelo Dual
$\text{Min } \theta$ <p>Sujeito a</p> $\theta x_{i0} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0, \quad i = 1, \dots, r$ $-y_{j0} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \geq 0, \quad j = 1, \dots, s$ $\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1$ $\lambda_k \geq 0$	$\text{Max } h_0 = \sum_{j=1}^s u_j y_{j0} - u_s$ <p>Sujeito a</p> $\sum_{i=1}^r v_i x_{i0} = 1$ $\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} - u_s \leq 0, \quad k = 1, 2, \dots, n$ $u_j \text{ e } v_i \geq 0 \forall j, i$

4. O índice de Malmquist DEA

O Índice de Malmquist foi inicialmente concebido por Malmquist (1953), para análise de comportamento do consumidor. No entanto Caves et al. (1982) propuseram a utilização do índice de produtividade baseado nas ideias de funções de distância desenvolvidas por Malmquist (1953).

O índice de produtividade de Malmquist é construído a partir das distâncias radiais dos vetores de input e output em dois ou mais períodos distintos. Essas funções de distância são representações de tecnologia e para serem estimadas necessita-se apenas de dados sobre quantidades de inputs e de outputs.

O índice de Malmquist-DEA, conforme desenvolvido por Fare et al. (1994), é constituído de algoritmos de programação linear, típicos de DEA. O conceito fundamental envolve o cálculo da razão das distâncias até a fronteira de pontos representando os valores observados de produção de dois períodos distintos de uma mesma unidade.

As considerações sobre distância que agora serão apresentadas estão em grande parte baseadas em Marques e Silva (2005). A tecnologia de produção (S^t) engloba o conjunto de combinações possíveis de inputs e outputs.

$$S^t = \{(x^t, y^t): x^t \text{ pode produzir } y^t\}, t = 1, 2, \dots, T \text{ (falta vírgula antes do T)}$$

Este conjunto satisfaz as propriedades necessárias para caracterizar a função distancia de *inputs* que pode ser definida, para a *i*-ésima DMU com vetores de *inputs* e *outputs* dados por x_t e y_t como:

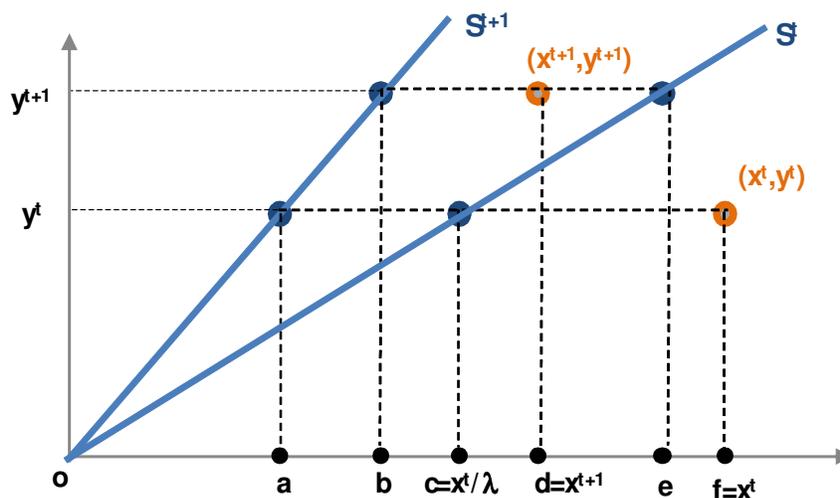
$$D_i^t = \sup\{\lambda: (x^t/\lambda, y^t) \in S^t\}, t = 1, 2, \dots, T \text{ (falta vírgula antes do T)}$$

Esta função caracteriza a tecnologia e pode ser definida como a contração máxima proporcional (radial) do vetor de inputs x^t , dado o vetor de outputs y^t , compatível com a tecnologia de produção S^t .

Observa-se então que se o par ordenado pertence a S^t então $D_1^t(x^t, y^t) \geq 1$, sendo que somente as unidades eficientes terão $D_1^t(x^t, y^t) = 1$, estando, portanto, sobre a fronteira tecnológica de produção. Já as demais unidades apresentam $D_1^t(x^t, y^t) > 1$, o que significa que poderiam reduzir a utilização de *inputs* dado seus *outputs*.

Para ilustrar tais conceitos o Gráfico 1 apresenta um modelo de produção com um input, um output em um modelo de rendimentos constantes de escala (CCR).

Gráfico 1– Função de distância de inputs



Fonte: Elaboração própria a partir de Marques e Silva (2005)

Assim no período t a tecnologia de produção é representada por S^t , de maneira que o mínimo nível de input admissível para y^t corresponde ao ponto c do gráfico que pode ser expresso por x^t/λ . Graficamente é possível constatar ainda que o valor da função distância é of/oc .

É importante notar que a função distância, no caso de modelos orientados a inputs, é o inverso da medida de eficiência técnica de Farrell. Assim, enquanto $D_i^t(x^t, y^t)$ é geometricamente representada por of/oc , o valor da eficiência técnica é oc/of .

Para cálculo de índices de produtividade de Malmquist é necessário a definição de quatro funções de distância, a saber: $D_i^t(x^t, y^t)$, $D_i^t(x^{t+1}, y^{t+1})$, $D_i^{t+1}(x^t, y^t)$ e $D_i^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})$. Nesta série de 4 valores, os dois valores intermediários medem, respectivamente, a distância à fronteira de produção do instante t do vetor de produção observado na i -ésima DMU no instante $t+1$ e a distância à fronteira de produção do instante $t+1$ do vetor de produção observado na i -ésima DMU no instante t .

Caso o interesse fosse em definir o período t como referência, o índice poderia ser definido como:

$$M_i^t = \frac{D_i^t(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_i^t(x_t, y_t)}$$

Também é possível definir o índice tendo como referencia o período $t+1$, que pode ser calculado por:

$$M_i^{t+1} = \frac{D_i^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_i^{t+1}(x_t, y_t)}$$

Como M_i^t e M_i^{t+1} refletem valores distintos quando a tecnologia de produção é distinta nos dois períodos, a adoção de uma das duas abordagens seria

arbitrária. Assim, o modelo proposto por Fare et al.(1994) representa a média geométrica dos dois índices e pode ser representado por:

$$M_0(x_{t+1}, y_{t+1}, x_t, y_t) = \left(\frac{d_0^t(x_{t+1}, y_{t+1})}{d_0^t(x_t, y_t)} \cdot \frac{d_0^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}{d_0^{t+1}(x_t, y_t)} \right)^{1/2}$$

5. Análise de dados

As variáveis utilizadas para cálculo são as mesmas propostas por ANEEL (2009). A primeira variável (custo total atualizado) é considerada como insumo, e as quatro restantes são os produtos: Comprimento de rede (km), Capacidade de Transformação (MVA), Quantidade de Transformadores e Quantidade de Módulos.

O custo total atualizado, aqui entendido como o custo de operação e manutenção (OPEX), é a variável utilizada como insumo. Em certa medida é razoável supor que esta medida possibilita asseverar que a eficiência calculada a partir deste é a chamada eficiência econômica.

Vale ressaltar aqui uma característica singular do segmento de transmissão de energia elétrica, no qual, a receita das instalações não está diretamente relacionada ao fluxo de potência ou energia associada, mas sim à disponibilidade das instalações. Desta forma, para se caracterizar o produto deve-se identificar as variáveis representativas desta disponibilidade e não apenas associá-la a fluxo de potência ou energia transportada.

Assim, as quatro variáveis propostas em ANEEL(2009) para serem utilizadas como outputs na modelagem DEA, representam três diferentes produtos (linhas de transmissão, módulos de manobra e módulo de equipamentos) que em

última instância caracterizam as instalações típicas do segmento de transmissão.

A ANEEL, no cálculo dos custos de referência para mensurar a base de remuneração, modulariza o segmento de transmissão em Unidades Modulares de Linhas de Transmissão e Unidades Modulares de Subestações. Estas últimas incluem três tipos de módulos: Geral, composto pelo conjunto de infraestrutura inerente a subestação; de Manobra e de Equipamentos, constituído de transformadores, reatores, capacitadores entre outros.

As variáveis capacidade de transformação e quantidade de transformadores representam a capacidade da empresa de transformar a energia transportada para os diferentes níveis de tensão e são representativas do produto Módulo de Equipamentos.

A variável comprimento de rede é representada em termos de extensão a magnitude do ativo a ser administrado, bem como traduz de forma fidedigna o produto linhas de transmissão.

A quantidade de módulos representa o produto Módulo de Manobra, e é a soma das variáveis Entrada de Linha (EL), Conexão de Transformadores (CT) e Interligação de Barramentos (IB).

A diferença no tratamento, aqui proposta, em relação ao adotado em ANEEL(2009) é a utilização do retorno variável de escala ao invés do retorno não decrescente de escala, e da proposição da utilização do índice de Malmquist para avaliar a evolução da eficiência ao invés da inserção de uma segunda fase baseada em regressão múltipla para inserir variáveis ditas ambientais.

As empresas analisadas são as mesmas analisadas na Nota Técnica da ANEEL 394/2009, e guardam entre si a semelhança de serem empresas representativas do segmento de transmissão no Brasil. Assim, são objetos de análise as seguintes empresas: FURNAS, CTEEP, CHESF, ELETRONORTE, ELETROSUL, CEMIG, COPEL e CEEE.

O horizonte de análise compreende dados anuais no período compreendido entre 2002 e 2008.

Os dados utilizados estão expressos na tabela a seguir.

Tabela 1 – Dados de entrada do modelo

Empresa	Ano	Custo Total Anualizado (Milhões R\$)	Comprimento de rede (km)	Capacidade de Transformação (MVA)	Quantidade de trafos	Quantidade de módulos
CEEE	2008	128,32	6.307	7.525	178	966
CEMIG	2008	139,22	5.969	14.644	126	573
CHESF	2008	522,25	20.141	32.149	411	1.813
COPEL	2008	-	-	-	-	-
CTEEP	2008	264,82	18.609	53.225	649	2.204
ELETRONORTE	2008	516,14	7.875	16.089	182	635
ELETROSUL	2008	274,30	10.945	23.560	169	643
FURNAS	2008	722,68	19.121	73.805	346	801
CEEE	2007	126,10	6.289	7.093	172	950
CEMIG	2007	134,45	5.958	14.644	126	544
CHESF	2007	490,90	20.141	30.899	398	1.773
COPEL	2007	103,12	7.251	20.268	302	1.118
CTEEP	2007	336,98	18.578	51.887	626	2.144
ELETRONORTE	2007	391,73	7.875	15.249	172	606
ELETROSUL	2007	270,25	10.776	22.438	162	582
FURNAS	2007	747,76	19.121	73.805	346	787
CEEE	2006	112,18	6.283	7.068	171	939
CEMIG	2006	163,17	5.946	14.644	126	541
CHESF	2006	367,49	20.141	30.339	391	1.746
COPEL	2006	124,93	7.172	19.818	299	1.103
CTEEP	2006	679,53	18.534	49.203	596	2.070
ELETRONORTE	2006	343,41	7.795	14.409	161	591
ELETROSUL	2006	257,73	10.719	20.848	149	559

FURNAS	2006	665,66	19.121	72.305	345	779
CEEE	2005	104,30	6.271	6.993	169	922
CEMIG	2005	148,41	5.946	14.644	126	529
CHESF	2005	418,62	20.141	29.089	383	1.702
COPEL	2005	125,95	7.170	19.068	295	1.088
CTEEP	2005	669,99	18.301	46.509	568	1.972
ELETRONORTE	2005	340,91	7.795	14.409	161	582
ELETROSUL	2005	215,90	10.703	18.070	135	528
FURNAS	2005	598,22	19.121	70.295	336	759
CEEE	2004	90,14	6.248	6.993	169	915
CEMIG	2004	123,64	5.946	14.644	126	525
CHESF	2004	389,86	20.092	28.289	379	1.678
COPEL	2004	143,60	7.150	18.343	290	1.076
CTEEP	2004	669,00	18.301	46.509	568	1.959
ELETRONORTE	2004	315,38	7.795	14.409	161	578
ELETROSUL	2004	210,05	10.650	17.800	130	491
FURNAS	2004	477,13	18.749	67.362	319	726
CEEE	2003	106,72	6.248	6.993	169	914
CEMIG	2003	129,85	5.940	14.419	123	512
CHESF	2003	340,59	20.092	27.889	375	1.653
COPEL	2003	114,68	7.150	18.343	290	1.075
CTEEP	2003	579,03	18.274	45.759	565	1.936
ELETRONORTE	2003	277,46	7.650	14.316	158	570
ELETROSUL	2003	176,64	10.639	17.576	129	470
FURNAS	2003	404,37	18.571	67.362	319	724
CEEE	2002	126,44	6.076	6.793	165	901
CEMIG	2002	100,51	5.936	14.419	123	507
CHESF	2002	341,04	19.770	27.589	372	1.605
COPEL	2002	128,84	7.145	17.993	287	1.064
CTEEP	2002	584,07	18.274	44.326	555	1.913
ELETRONORTE	2002	264,40	6.800	14.016	154	557
ELETROSUL	2002	168,74	10.638	16.008	122	452
FURNAS	2002	529,07	18.571	64.927	310	710

Fonte: ANEEL (2009).

6. Resultados

Uma abordagem alternativa à apresentada em ANEEL (2009) é a verificação da evolução da eficiência da empresa em relação a sua própria evolução.

Desta forma, mais do que mensurar e pesar a influência das variáveis

ambientais a intenção seria verificar a evolução da eficiência de cada uma das DMUs analisadas.

Neste item, ao contrário do realizado em ANEEL (2009), o cálculo de eficiência será com retorno variável de escala, sem restrição para rendimentos não decrescentes de escala. Esta abordagem permite considerar tanto os retorno crescentes de escala quanto os decrescentes. As eficiências obtidas através deste tipo de abordagem estão expostas na Tabela 2.

Tabela 2 – Eficiência com retorno variável de escala

Empresa	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
CEEE	71,3%	84,5%	100,0%	86,9%	81,7%	73,3%	72,8%
CEMIG	96,9%	75,0%	79,0%	65,8%	59,8%	72,6%	70,1%
CHESF	95,0%	100,0%	88,8%	87,7%	100,0%	87,6%	100,0%
COPEL	79,0%	88,9%	71,0%	81,3%	82,3%	100,0%	
CTEEP	44,5%	44,9%	38,9%	38,9%	38,8%	78,5%	100,0%
ELETRONORTE	36,8%	39,2%	35,2%	32,5%	32,3%	28,6%	21,7%
ELETROSUL	89,7%	85,7%	72,1%	70,5%	59,2%	56,7%	56,8%
FURNAS	71,9%	100,0%	95,3%	100,0%	100,0%	96,6%	100,0%

Fonte: Elaboração própria.

Neste tipo de abordagem as eficiências calculadas para as empresas Furnas e Chesf sofrem um incremento de eficiência, quando comparadas ao modelo de retornos não decrescentes proposto em ANEEL (2009). Isto pode ser explicado pelo fato de estas DMUs apresentarem em anos do período analisado retornos decrescentes de escala, enquanto as demais empresas não violam a hipótese de retornos não decrescentes no período analisado.

A Tabela 3 explicita o quanto é incrementado a eficiência de cada uma das empresas supracitadas com a adoção de uma modelagem VRS tradicional ao invés da abordagem com retornos não decrescentes.

Tabela 3 – Diferença entre VRS e VRS com retornos não decrescentes

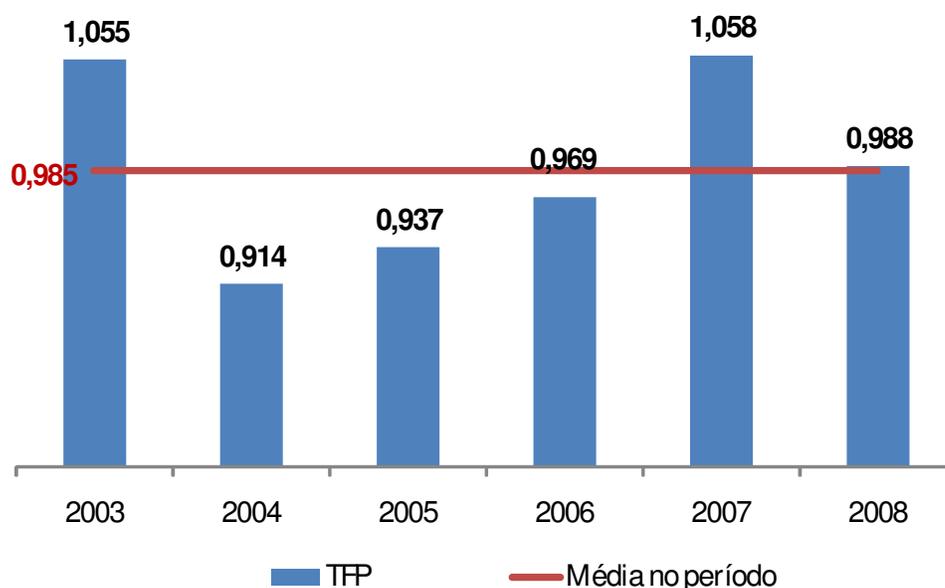
Empresa	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
CHESF	12,6%	16,1%	15,5%	19,3%	22,10%	29,30%	45,20%
FURNAS	10,8%	17,1%	25,1%	41,50%	46,00%	47,50%	49,20%

Fonte: Elaboração própria.

Os cálculos foram realizados utilizando o software DEAP. Como não há dados para a COPEL no ano de 2008, fruto do processo de cisão que a empresa sofreu, adotou-se como premissa a repetição do ano de 2007 em 2008 para essa empresa. Optou-se por esta abordagem para simplificação e a possibilidade de se dispor de uma observação a mais para análise.

A análise pelo índice de Malmquist permite visualizar a evolução da eficiência média ano a ano. Nesta abordagem um indicador maior que 1, indica aumento de eficiência em relação ao ano anterior. O indicador igual a 1 indica manutenção da eficiência do ano anterior. Um valor inferior a um indica decréscimo da eficiência.

Assim, conforme apresentado no Gráfico 2, é possível verificar que a eficiência média (*Total Factor Productivity* - TFP) das empresas analisadas, representado pela média geométrica dos índices de cada empresa no ano em análise, apresentou decréscimo no período, sendo que apenas os anos de 2003 e 2007 apresentaram aumento de eficiência em relação ao ano anterior.

Gráfico 2- Evolução TFP Malmquist Total

Fonte: Elaboração própria.

A análise pelo índice de Malmquist destina-se a permitir conhecer a evolução relativa da eficiência de cada uma das DMUs. Através da análise da evolução de um ano para o ano seguinte, pode ser realizada a comparação das empresas entre si, em termos da sua evolução em relação ao ano anterior, sem precisar determinar a influência de variáveis ambientais sobre os seus mercados. Esta independência da influência das variáveis ambientais ocorre porque é a evolução de cada empresa calculada dentro do seu próprio ambiente que é comparada com a evolução das demais empresas.

A Tabela 4 apresenta para cada empresa da amostra analisada a evolução dos fatores de produtividades de Malmquist, assim como a evolução verificada entre os anos de 2002 e 2008, como uma medida representativa da evolução relativa no período.

Tabela 4 – TFP Malmquist por transmissora

Empresa	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Média	2002-2008
CEEE	1,217	1,184	0,869	0,939	0,891	0,985	1,005	1,038
CEMIG	0,775	1,055	0,833	0,91	1,216	0,968	0,949	0,731
CHESF	1,018	0,876	0,938	1,14	0,749	0,940	0,936	0,669
COPEL	1,134	0,799	1,164	1,028	1,231	1,000	1,049	1,333
CTEEP	1,016	0,87	0,999	1,001	2,032	1,290	1,150	2,418
ELETRONORTE	1,065	0,894	0,925	0,993	0,886	0,759	0,915	0,593
ELETROSUL	0,96	0,844	0,98	0,843	0,959	1,001	0,929	0,648
FURNAS	1,355	0,848	0,832	0,924	0,909	1,035	0,970	0,832
TOTAL	1,055	0,914	0,937	0,969	1,058	0,988	0,985	0,922

Fonte: Elaboração própria.

A evolução de eficiência da CEEE no período analisado foi ligeiramente positiva, sob forte influência dos anos de 2003 e 2004. Tal fato pode ser explicado pela considerável redução do input custo que saiu de R\$ 126 milhões em 2002, para R\$ 106 milhões em 2003 e R\$ 90 milhões em 2004.

A CEMIG apresentou decréscimo de eficiência no período analisado. O destaque de incremento de produtividade ocorreu em 2007, que totalizou um TFP de 1,216, o que pode ser explicado por um decréscimo de cerca de R\$ 29 milhões em seu custo total anualizado em relação ao ano anterior.

A CHESF apresentou decréscimo de eficiência ao longo do período. Contribuiu significativamente para isto o ano de 2007, em que houve um acréscimo de custos de R\$ 123 milhões.

A evolução da COPEL apresentou acréscimo de eficiência no transcorrer do período. Observa-se ainda que, com exceção do ano de 2004, a empresa apresentou acréscimo de eficiência em todos os anos do horizonte estudado. O TFP médio no período foi de 1,049, o que representa o segundo maior valor no horizonte analisado.

A empresa que apresentou maior acréscimo de eficiência no transcorrer do período foi a CTEEP, com um TFP médio de 1,150. O ano de 2007 foi o destaque apresentando o maior TFP entre todas as empresas em todo o

período analisado. Isto se explica porque seu custo total caiu pela metade em relação a 2006 simultaneamente ao aumento de todos os outputs.

Já as empresas ELETRONORTE e ELETROSUL, apresentaram comportamento semelhante ao longo do horizonte, apresentando respectivamente TFPs médios de 0,915 e 0,929. Em ambos os casos observa-se incremento sistemático do input, custo, sem que haja aumento significativo dos níveis de outputs.

Furnas também apresenta decréscimo de eficiência no horizonte. O TFP médio no período é de 0,970, com os anos compreendidos nos extremos do horizonte de análise apresentando incremento de eficiência sobre o ano anterior.

7. Conclusão

A determinação de níveis eficientes de custos das concessionárias do serviço de transmissão de energia elétrica é parte fundamental da revisão tarifária a que estes agentes estão sujeitos. Neste sentido a ANEEL tem desenvolvido metodologias que poderão vir a subsidiar essas revisões.

Assim, foi ponto de partida do presente estudo a Nota técnica nº 396/2009 – SRE ANEEL. O trabalho desenvolvido desde então buscou abordar a questão da eficiência sob um prisma distinto do realizado em tal nota: ao invés de realizar uma segunda fase incluindo as ditas variáveis ambientais, a abordagem aqui adotada buscou tratar a questão em termos de evolução temporal das eficiências com a adoção do índice de Malmquist.

Em que pese o interesse em avaliar a influência de fatores ditos ambientais sobre as eficiências das empresas, é de interesse geral compreender como cada empresa tem evoluído sua eficiência, dado que o ambiente em que a mesma atua já está definido e não é passível de ser alterado no curto prazo. A importância deste tipo de abordagem já foi reconhecida pela própria ANEEL que já está adotando estas premissas para o setor de distribuição de energia elétrica na metodologia de Cálculo de Fator X (Nota técnica nº 267/2010-SRE/ANEEL). Isto pode ser um indicador de que este tipo de abordagem pode

vir a ser adotada também para o setor de transmissão de energia elétrica em um futuro breve.

Agradecimentos. Agradecemos a três revisores dos RPEP pelas sugestões de aperfeiçoamento recebidas, que ajudaram a melhorar consideravelmente o texto aqui apresentado.

Referências

ANDRADE, G. N. Contribuição para o Desenvolvimento de uma Metodologia de Avaliação da Eficiência no Setor de Transmissão de Energia Elétrica. Dissertação de mestrado em Engenharia de Produção, UFF, 2010.

ANEEL (2008). Segundo Ciclo de Revisão Tarifária Periódica das Concessionárias de Transmissão de Energia Elétrica do Brasil. Nota Técnica nº 371/2008 - SRE/ANEEL.

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

ANEEL (2010). Metodologia de cálculo do fator X. Nota Técnica nº 267/2010 - SRE/ANEEL.

BANKER, R. D., CHARNES, A. e COOPER, W. W. (1984). "Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis", *Management Science*, v. 30, n. 9, pp.1078-1092.

BENJÓ I. Fundamentos de economia da regulação. Rio de Janeiro: Thex Ed., 1999.

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

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

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica, 2019, MME, Brasília, 2010.

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

HANEY, A. B. e POLLIT, M. (2009) Efficiency analysis of energy networks: An international survey of regulators. *Energy Policy*, v. 37, p.5814-5830.

JAMASB T e POLLIT, M. (2001) Benchmarking and regulation: international electricity experience. *Utility Policy*, v. 9, p.107-130.

MALMQUIST, S. (1953) Index numbers and indifference curves. *Trabajos de Estadística*, v. 4, n. 1, p. 209-242.

MARQUES, R. C. e SILVA, D. (2006) Análise da variação da produtividade dos serviços de água portugueses entre 1994 e 2001 usando a abordagem Malmquist. *Pesquisa Operacional*, v. 26, n. 1, p. 145-168.

PINTO JÚNIOR, H. Q. (org). *Economia da Energia: fundamentos econômicos, evolução histórica e organização industrial*. Rio de Janeiro: Campus, 2007.

SERRATO, *Fronteiras paramétricas de eficiência para o segmento de transmissão de energia elétrica no Brasil*. Dissertação de mestrado em Economia do Setor Público) - UNB, 2006

Ramos-Real, F., Tovar, B., Ito, M, Fagundes de Almeida, E. and Queiroz, H., (2009), The evolution and main determinants of productivity in Brazilian electricity distribution 1998-2005: an empirical analysis, *Energy Economics*, 298-305.

TRAIN, K. E. *Optimal regulation. The economic theory of natural monopoly.* Cambridge: MIT Press, 1994.