

**Desempenho e Eficiência das Firmas de Energia Elétrica no Brasil:
Uma Aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA)**

JOSÉ ANTONIO DE FRANÇA

Universidade de Brasília (UnB) e Universidade Católica de Brasília (UCB)

ROGÉRIO LUCIO SOARES DA SILVA JUNIOR

Universidade Católica de Brasília (UCB)

Resumo

A produção de energia elétrica, no Brasil, insumo básico para alavancar crescimento e desenvolvimento, é obtida pela geração em grandes hidrelétricas. A oferta desse insumo é tão sustentável quanto forem racionais seu uso e alocação de investimentos. O Brasil reestruturou sua indústria de energia elétrica a partir da última década do século XX, deixando de ser meramente estatal, permitindo a participação do capital privado. Dada a importância desse insumo para o crescimento da economia, investiga-se como o ROA (Return on Assets) se relaciona com a MC (Margem de Contribuição), PRLV (Produtividade da Receita de Líquida de Vendas) e RCT (Retorno do Capital de Terceiros) no nível de produção em que a firma é eficiente. A amostra é composta por demonstrações financeiras de 11 firmas listadas na BM&FBOVESPA de 2003 a 2013. Para obter resposta à investigação tem-se por objetivo identificar e associar níveis de ROA com *scores* da fronteira de eficiência estocástica, utilizando metodologias não-paramétrica e paramétrica ancoradas nas abordagens DEA (Data Envelopment Analysis) e regressão linear. Os resultados mostram que a firma eficiente combina MC com menor nível de RCT e níveis variados de PRLV na obtenção do maior nível de ROA. Finalmente conclui-se que os resultados são consistentes e relevantes porque satisfazem os requisitos das metodologias utilizadas, mostram significativas diferenças de desempenho/eficiência entre as firmas de energia elétrica, diferenciam-se de pesquisas antecedentes por mostrarem evidências de que firma eficiente/ineficiente resulta da combinação de variáveis de retorno com variáveis de desempenho, e trazem como contribuição subsídios que permitem explorar possível conexão entre o ROA e interrupções no fornecimento de energia elétrica no Brasil.

Palavras-chave: Desempenho e eficiência das firmas de energia elétrica no Brasil. ROA e *scores* da fronteira de eficiência estocástica. Eficiência na combinação de variáveis de retorno e desempenho.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento e o desenvolvimento de um país dependem de uma combinação de fatores que compõem sua infraestrutura básica como: comunicação, tecnologia, transporte, produção, educação entre outras. Um dos importantes pilares dessa infraestrutura é a indústria de energia elétrica que deve ser sustentável o suficiente para sinalizar aos agentes econômicos que eles podem produzir com eficiência e segurança. Energia elétrica é uma *commodity* de consumo imediato e sua oferta poderá ser tão eficiente quanto racionais forem o seu uso e a alocação de investimentos nos processos de geração, transmissão, distribuição. Na falta dessas condições a oferta de energia poderá ser insuficiente e, pela condição de escassez, restringir o crescimento econômico.

Escassez ou interrupção no fornecimento de energia elétrica pode provocar perda em segmentos econômico e doméstico, como ocorrera nos Estados Unidos e Canadá em 1977 e 2003, Itália em 2003, Indonésia em 2005, Colômbia em 2007, Argentina em 2006, Brasil em 1999 (Canzian, 2009). No Brasil, para além do *apagão* de 1999, interrupções no fornecimento de energia elétrica tem sido recorrentes, seja com investimentos feitos pelo governo ou pela iniciativa privada. Essa situação pode levar insegurança aos investidores com consequente desinteresse por novos empreendimentos e deve sinalizar a necessidade de adequação ou reestruturação da matriz energética.

A partir do *apagão* de 1999, o Brasil iniciou um movimento de reestruturação de sua indústria de energia elétrica, deixando de ser um monopólio estatal para admitir capital privado, por meio de privatizações de empresas e concessões para exploração do negócio. Desde então o negócio vem sendo explorado pelo governo, pela iniciativa privada e por ambos, como argumentam Joskow (2003) e Hirota (2006), alinhando-se ao que já vinha ocorrendo em outros países desenvolvidos e em desenvolvimento, na perspectiva do melhor desempenho e eficiência.

Desempenho e eficiência tem motivado pesquisadores a desenvolver estudos sob diversos interesses com uso de variadas metodologias, como por exemplo, a modelagem de fronteira de eficiência estocástica, aplicada a segmentos como educação, produção e financeiro. Utilizando a modelagem de fronteira de eficiência estocástica, Cespedes (2003) e Schettine (2010) desenvolveram estudos sobre eficiência de firmas da indústria de transformação no Brasil; Halkos e Salamouris (2004) pesquisaram a eficiência/ineficiência do

sistema financeiro da Grécia; Tannuri-Pianto et al. (2009) investigaram a produção de energia elétrica no Brasil combinando variáveis físicas e financeiras.

Como contextualizado, energia elétrica é um relevante insumo da matriz de crescimento de um país, e estudar o desempenho e a eficiência das firmas dessa indústria, sob o aspecto do desempenho dos ativos, é o principal desafio e motivação desta pesquisa. Neste sentido são recuperadas das demonstrações financeiras publicadas dessas firmas, variáveis contábeis que sinalizam retorno, que mostram como as firmas, com base amostral, se colocam em relação ao desempenho na fronteira de eficiência estocástica, com utilização do modelo não-paramétrico DEA (Data Envelopment Analysis), orientado a resultados (*output*), com retorno constante de escala (CCR) e retorno variável de escala (BCC). A amostra abrange o período de 2003 a 2013, composta por 11 firmas do negócio de energia elétrica no Brasil listadas na BM&FBOVESPA e as demonstrações financeiras foram recuperadas do repositório da Economática. Neste contexto, o problema que a pesquisa pretende responder é como o ROA (Return on Assets) se relaciona com a MC (Margem de Contribuição), com a PRLV (Produtividade da Receita de Líquida de Vendas) e com o RCT (Retorno do Capital de Terceiros) no nível de produção em que a firma é eficiente.

Para obtenção das evidências que possam subsidiar as respostas ao problema de pesquisa, tem-se por objetivo identificar e associar níveis de ROA, por firma e média amostral, com os *scores* da fronteira de eficiência estocástica obtidos por meio da aplicação do DEA e com os testes de hipóteses produzidos por modelo de regressão linear multivariada.

A escolha das 11 firmas da amostra e o período de 2003 a 2013 estão relacionados com a disponibilidade e consistência das variáveis contábeis requeridas para alimentação dos modelos da pesquisa descritos de forma analítica mais adiante na seção 3.

Os resultados da pesquisa são consistentes e relevantes porque sinalizam, de forma individual e na média, a eficiência/ineficiência do desempenho das firmas com base no retorno dos investimentos (ROA) do negócio de energia elétrica no Brasil, e por isso se diferenciam das demais pesquisa disponíveis sobre o tema, e ainda podem contribuir com pesquisa subsequente para investigação de possível relação entre o baixo desempenho/ineficiência e os *apagões* que vem ocorrendo de modo recorrente a partir de 1999.

As seções subsequentes são dedicadas à discussão teórica (2) onde estão apresentados e discutidos os principais estudos disponíveis sobre o tema; metodologia e amostra (3) estão definidos os modelos com seus respectivos argumentos, bem como a análise e a descrição da amostra; análise dos resultados (4) dialoga-se com as saídas dos testes produzidos pelos modelos e de forma comparativa se obtém as respostas ao problema de pesquisa; conclusões (5) estão resumidos os achados e as contribuições da pesquisa; e referências onde se relacionam os estudos que suportam a discussão teórica.

2 DISCUSSÃO TEÓRICA

Nesta seção discutem-se algumas das principais contribuições de pesquisas anteriores sobre o desempenho de firmas utilizando o modelo não paramétrico DEA (Data Envelopment Analysis) e outras metodologias paramétricas como regressão linear. De forma geral esse modelo é utilizado para mensurar eficiência/ineficiência na produção de bens tangíveis e intangíveis. Nesta pesquisa o produto é informação, que é intangível, extraída das

demonstrações financeiras padronizadas para tomada de decisão de firmas brasileiras do negócio de energia elétrica.

2.1 Eficiência na visão da fronteira estocástica

O método DEA tem como objetivo principal comparar o desempenho de determinadas quantidades de unidades de tomada de decisão DMU (*Decision Maker Unit*) que realizam tarefas semelhantes e se diferenciam nas quantidades de insumos consumidos relacionados com produção. DMU pode ser uma firma, um departamento, um centro de custo ou qualquer estrutura de tomada de decisão da qual seja esperada eficiência.

A abordagem de estimação pelo DEA utiliza os modelos CCR originalmente atribuído a Charnes et al. (1978) e BCC cujo crédito é atribuído a Banker et al. (1984). O modelo CCR é conhecido por modelo CRS (Constant Returns to Scale) e o modelo BCC é também conhecido por modelo VRS (Variable Returns to Scale). Por trabalhar com retornos constantes de escala, o modelo CCR cria uma superfície linear não-paramétrica, por partes, envolvendo os dados de forma que as entradas ou insumos (inputs) produzem variação proporcional nas saídas ou produção (outputs). Já o modelo BCC, por trabalhar com retornos variáveis de escala, substitui o axioma da proporcionalidade entre insumos e produtos pelo axioma da convexidade, como mostram Mello, Meza, Gomes e Neto (2005).

Mello, Meza, Gomes e Neto (2005) mostram graficamente como uma configuração de DEA pode ser vista de forma prática, nas visões dos insumos (*input*) e do produto (*output*) em que os conceitos de eficiência são demonstrados. Esses conceitos são (a) manter o nível de produção reduzindo a quantidade de insumos; e (b) aumentar o nível de produção mantendo a quantidade de insumos. A Figura 1 seguinte mostra os insumos no eixo X e a produção no eixo Y . Ao nível de produção A com o insumo C a DMU P não é eficiente. Para que P seja eficiente ao nível de consumo C seria necessário tocar a curva da fronteira estocástica $[f(x)]$ no ponto D e isso deslocaria o nível de produção para além de A , produzindo mais com os mesmos insumos C . Por outro lado, para P seja eficiente no nível de produção A , seria necessário tocar a curva da fronteira estocástica $[f(x)]$ no ponto B , que implicaria reduzir o insumo para menos que C .

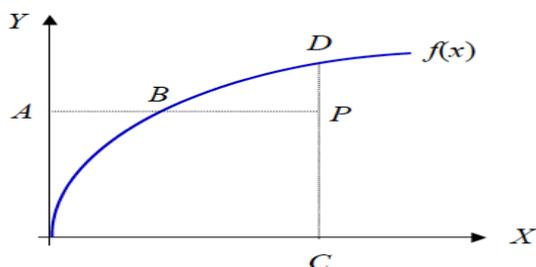


Figura 1: alcance da fronteira estocástica. Fonte: Melo;Meza;Gomes;Neto (2005)

No contexto do produto intangível, Halkos e Salamouris (2004) estudaram o sistema financeiro da Grécia, na perspectiva de mensurar a eficiência/ineficiência dos bancos, utilizando a técnica DEA. Utilizaram como *input* os índices financeiros sugeridos como eficientes pela contabilidade, para o período de 1997 a 1999. Para alcançar o objetivo da pesquisa

propuseram um modelo composto por um conjunto de referências empíricas para comparar bancos eficientes com bancos ineficientes. Declaram que encontraram evidências de que quanto maior é o ativo total do banco maior é sua eficiência, mas também declaram que encontraram diversas variações de desempenho acompanhadas da redução do número de bancos pequenos provocada por processos de fusões e incorporações.

Com o propósito de medir a eficiência e desempenho dos bancos europeus, Beccalli, Casu e Girardone (2006), com base em dados produzidos pela contabilidade a nível de preços, utilizaram a técnica DEA e SFA (Stochastic Frontier Analysis) para investigar se mudanças no preço das ações poderiam ser explicadas por mudanças na eficiência operacional. Corroborando Berger e Humphrey (1992), declaram que medidas de eficiência operacional são os melhores indicadores para avaliar o desempenho dos bancos, quando comparadas aos indicadores da contabilidade tradicional. Seus resultados sugerem que mudanças na eficiência dos bancos impacta mudanças nos preços das ações.

Farrell (1957), estudando a mensuração de eficiência produtiva de firmas do agronegócio nos Estados Unidos, considerando inicialmente a fabricação de único produto sob condições de retorno constante de escala, descreve e propõe um método de mensuração de eficiência, que utiliza a função de produção, preços e medidas orientadas para insumos, com auxílio do diagrama *isoquant*, que usa para explicar o modelo de avaliação. O autor declara que a finalidade do estudo é obter uma medida satisfatória de eficiência produtiva, que leve em conta todas as entradas, evite problemas de índices numéricos e ainda demonstre como o método pode ser usado na prática. Para ilustrar a descrição do método utiliza a Figura 2 seguinte:

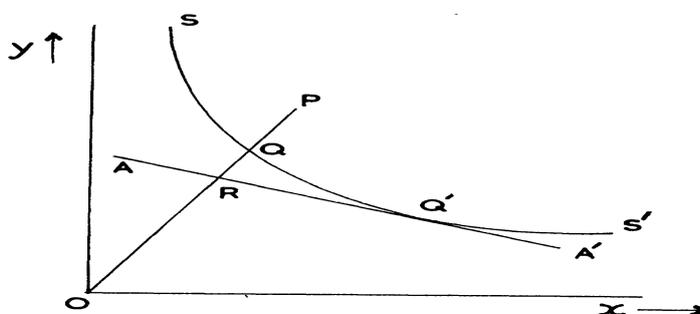


Figura 2: Produção agrícola nos Estados Unidos. Fonte: Farrel (1957)

em que: P representa a entrada de dois fatores por unidade de produção; a curva SS' representa as várias combinações de dois fatores que uma firma eficiente poderia usar na produção; e Q representa o ponto onde uma firma eficiente utiliza os dois fatores na mesma proporção de P . Discutindo o uso dos fatores de produção, na melhor proporção na visão dos preços, questiona: se a reta AA' tem inclinação igual ao índice de preço dos dois fatores, então Q' é o ponto que representa o método ótimo de produção e não Q , ainda que a relação OP/OQ possa ser definida como a eficiência técnica da firma em P .

Nessa linha de raciocínio, Lovell (1992) discute o relacionamento entre os conceitos de produtividade e eficiência, e considera algumas hipóteses relacionadas com determinantes de desempenho da firma, quando avaliada pela eficiência e pela produtividade. Argumenta que a produtividade varia devido às diferenças em tecnologia de produção e no contexto. Seus achados sugerem que a eficiência pode ser definida como técnica e econômica, dependendo do

ambiente de mensuração, e que eficiência e produtividade são avaliadas por duas razões: a primeira é porque são indicadores de sucesso e desempenho pelos quais as unidades de produção são avaliadas; a segunda é pela própria mensuração e separação dos seus efeitos do ambiente de produção, que pode explorar hipóteses relacionadas com as fontes de eficiência ou diferenciais de produtividade.

Utilizando variáveis físicas e contábeis, Tannuri-Pianto et al. (2009) pesquisaram as fronteiras de eficiência estocástica (volatilidade quando a variância não é conhecida), para as firmas de energia elétrica no Brasil, e propuseram o modelo seguinte como alternativa de avaliação para obtenção dos resultados: $TE_i = \frac{Y_i}{\exp(X_i\beta)} = \frac{\exp(X_i\beta - \mu_i)}{\exp(X_i\beta)} = \exp(-\mu_i)$

em que TE é a eficiência técnica; y é o produto ou custo; x é o vetor de variáveis explicativas; μ mede a ineficiência técnica ou de custo e i é a firma. O resultado da pesquisa concluiu, como se poderia esperar, que a fronteira de produção varia entre 0 e 1 e quanto mais próximo de 1 o índice estiver mais eficiente é a firma.

Schettine (2010) e Cespedes (2003) também realizaram estudos com foco na eficiência de fronteiras estocásticas e bayesiana, respectivamente. O estudo de Schettine (2010) mostrou que há uma tendência de efeito positivo da passagem do tempo sobre eficiência nos setores pesquisados (indústria de transformação nas regiões brasileiras); e o estudo de Cespedes (2003) utilizou diversas metodologias para concluir que algumas firmas da amostra são mais eficientes que outras.

2.2 Eficiência como ótimo desempenho de outras variáveis

Estudos de eficiência, como medida de ótimo desempenho de firma, tem como marco os estudos de Knight (1921), cujas contribuições subsidiaram os estudos de Kaldor (1934) com a discussão sobre o equilíbrio da firma, e, mais tarde, com os estudos de Coase (1937) sobre a natureza da firma.

Mais recentemente a sinalização de eficiência vem sendo estudada no âmbito do desempenho das firmas por meio do grau de alavancagem operacional (GAO), como discutem O'Brien e Vanderheiden (1987); Huo e Kwansa (1994), Li e Li (2004); Hodgins e Kiyimaz (2005); Jorgensen et al (2009) e De França e Lustosa (2011). Esses estudos elegem a alavancagem operacional como uma medida de elasticidade do lucro capaz de ser capturada pelo mercado e sinalizar que uma ou mais firmas são eficientes ou ineficientes, em relação às reações do mercado. Mas esses estudos utilizam métricas de modelagem paramétrica, em que se obtém resultados pela média do conjunto de dados das observações.

Nesse contexto, Van Horne e Wachowich (2008) e De França e Lustosa (2011), por exemplo, apresentam modelos matemáticos em forma de elasticidade do lucro em relação às vendas como $GAO = \partial\pi V / \partial V\pi$ e $\frac{d(GAO)}{d(\pi)} = -\frac{F}{\pi^2}$, respectivamente. Os resultados produzidos por esses modelos, quando submetidos a métodos regressivos associados com retorno de mercado, sugerem que o mercado precifica melhor a firma com menor GAO.

Mas a abordagem de eficiência proposta na presente pesquisa é com uso dos métodos de retorno constante de escala (CCR) e retorno variável de escala (BCC) da metodologia não-paramétrica DEA e os resultados obtidos são confirmados por modelo regressivo, tendo como *benchmark* de eficiência o retorno do ativo (ROA).

3 METODOLOGIA E AMOSTRA

A metodologia utilizada é positivista, fazendo uso de modelos não-paramétrico e paramétrico. O modelo não-paramétrico utiliza a abordagem DEA (Data Envelopment Analysis) e o modelo paramétrico faz uso de abordagens analíticas, e regressão linear multivariada, rodada com dados em painel com efeitos aleatórios. A abordagem DEA investiga a eficiência/ineficiência, por firma e na média, na geração de desempenho em relação à fronteira de eficiência estocástica, tendo como insumo as variáveis explicativas (*input*) e como resultado (*output*) a variável dependente ROA (Return on Assets). A abordagem dos efeitos aleatórios é utilizada para testar a significância estatística agregada de cada insumo na geração do desempenho, no conjunto das firmas, na extensão da amostra, por ser a mais adequada. Essas abordagens foram rodadas sobre um conjunto de dados de valores médios e individuais contemplando as variáveis de interesse da pesquisa, utilizando os aplicativos DEA-Solver e gretl.

As variáveis de interesse da pesquisa foram derivadas das variáveis contábeis e são (a) retorno do ativo (ROA); (b) produtividade da receita líquida de vendas (PRLV); (c) retorno do capital de terceiros (RCT); e (d) margem de contribuição (MC). Os resultados dos testes rodados com o modelo DEA são individuais por firma e média de agregados. No modelo DEA, firma é denominada DMU (*Decision Maker Unit*) da qual se espera desempenho e eficiência. Os resultados obtidos por meio do modelo de regressão linear multivariada se reportam ao conjunto das observações, em termos médios, por variável na extensão da amostra.

3.1 Precificação das variáveis contábeis

Nesta subseção se descrevem os modelos analíticos utilizados para calcular e precificar as variáveis contábeis que são utilizadas para cálculo das variáveis de interesse da pesquisa.

(a) Receita Líquida de Vendas (RLV)

A Equação (1) mostra como a firma (DMU) precifica sua receita de vendas para o *disclosure* nas demonstrações financeiras padronizadas utilizadas por usuários internos (administradores) e externos (comunidade de negócios).

$$RLV_t^j = \sum \left(P_t^{i,c} W_t^{j,c} + P_t^{i,i} W_t^{j,i} + P_t^{i,r} W_t^{j,r} + P_t^{i,p} W_t^{j,p} + P_t^{i,u} W_t^{j,u} + P_t^{i,o} W_t^{j,o} + OR_t^j \right) (1 - \delta) \quad (1)$$

em que: P = preço unitário de venda; W = kilowatts disponibilizados; j = firma; t = unidade de tempo; c = consumo doméstico; i = consumo industrial; r = consumo rural; p = iluminação pública; u = consumo próprio; o = outros consumos; OR = outras receitas; δ = alíquota do tributo indireto.

(b) Custo dos Produtos Vendidos (CPV)

A Equação (2) descreve como a firma (DMU) precifica o custo que irá se contrapor à receita líquida de vendas, que formará a margem de contribuição.

$$CPV_t^j = P_t^w W_t^{j,g} + P_t^j W_t^{j,a} + CI_t^{j,m} + OC_t^j \quad (2)$$

em que: P = preço unitário custo; W = kilowatts produzidos ou comprados; CI = custos indiretos; OC = outros custos associados; j = firma; t = unidade de tempo; g = geração; a = revenda; m =compartilhados;

(c) Lucro Líquido (LL)

A Equação (3) mostra como a contabilidade mensura o lucro da firma, antes e depois do impacto do tributo direto. O resultado dessa equação é a variável mais esperada pelos acionistas e pelos administradores, porque é a partir dela que os acionistas e os administradores são remunerados. Ela representa o desempenho econômico da firma, diferente do resultado financeiro e do modelo de lucro desenvolvido pela teoria econômica.

$$LL_{jt} = (1-\alpha) \sum_t^j [MC_{jt} - DG_{jt} + (RF_{jt} - DF_{jt}) + (OR_{jt} - OD_{jt})] \quad (3)$$

em que: MC =margem de contribuição; DG =despesas gerais; RF =receita financeira; DF =despesa financeira; OR =outras receitas; OD =outras despesas; α = alíquota do tributo direto; t = unidade de tempo; j = firma.

(d) Lucro antes dos juros e tributos (EBIT)

Este modelo representado pela Equação (4) mostra como mensurar o lucro, depois da reposição do capital, suficiente para pagar os juros do passivo oneroso, o tributo direto sobre o lucro e remunerar acionistas e administradores.

$$EBIT_t^j = LL_t^j + DF_t^j + TD_t^j \quad (4)$$

em que: LL = lucro líquido; DF = despesa financeira (juro); TD = tributo direto; t = unidade de tempo; j = firma.

3.2 Variáveis de interesse da pesquisa

Nesta subseção estão descritos os modelos analíticos das variáveis de interesse da pesquisa calculadas a partir das variáveis contábeis precificadas e mensuradas na subseção 3.1 precedente. Estas variáveis alimentam os modelos não-paramétrico e paramétrico.

(a) Margem de Contribuição (MC)

O resultado produzido por esta função, Equação (5), como modelo difuso, representa a margem de segurança da firma para pagar todas as despesas, tributos, repor o capital e remunerar os acionistas.

$$MC_{tj} = 1 - (CPV_{j,t} \cdot RLV_{j,t}^{-1}) \quad (5)$$

em que: CPV = custo da energia e outros serviços vendidos; RLV = receita líquida da venda de energia elétrica e outros serviços; t = unidade de tempo; j = firma.

(b) Produtividade da receita líquida de vendas (PRLV)

O resultado desta Equação (6) é o indicador de produtividade da receita obtida por cada unidade monetária de investimento no negócio de energia elétrica. O investimento é o capital alocado, denominado ativo imobilizado, nas demonstrações financeiras das firmas.

$$PRLV_{tj} = RLV_t^j \cdot \left(\frac{AI_t^j + AI_{t-1}^j}{2} \right)^{-1} \quad (6)$$

em que: AI = ativo imobilizado; RLV = receita líquida de vendas; t = unidade de tempo; j = firma

(c) Retorno do ativo (ROA)

O ROA, demonstrado na Equação (7), é o indicador de desempenho por meio do qual se deseja medir a eficiência da firma. Seu resultado deve ser interpretado como a taxa de remuneração do total dos ativos investidos no negócio de energia elétrica, antes de quaisquer deduções dos juros e dos tributos diretos sobre o lucro. O denominador é o ativo líquido médio deduzido de parcela do capital de trabalho de curto prazo, denominado passivo circulante (PC) nas demonstrações financeiras padronizadas das firmas.

$$ROA_{jt} = EBIT_t^j \cdot \left[\frac{(AT_t^j - PC_t^j) + (AT_{t-1}^j - PC_{t-1}^j)}{2} \right]^{-1} \quad (7)$$

em que: $EBIT$ = lucro antes dos juros e tributo direto; AT = ativo total; PC = passivo circulante; t = unidade de tempo; j = firma.

(d) Retorno do capital de terceiros (RCT)

Este indicador, representado pela Equação (8), sinaliza quantas unidades monetárias, em média, são restituídas aos emprestadores por cada unidade de capital obtida por empréstimo de curto e longo prazos. É um indicador comumente utilizado de forma comparativa com o indicador de retorno do capital próprio. Estimula a utilização do capital de terceiro quando seu *quantum* é inferior ao retorno do capital próprio.

$$RCT_{jt} = DF_t^j \cdot \left[\frac{(DE_t^j + DE_{t-1}^j)}{2} \right]^{-1} \quad (8)$$

em que: DE = dívida de empréstimo; DF = despesa financeira (juro); t = unidade de tempo; j = firma.

3.3 Modelagem não paramétrica de estimação da eficiência DEA

Os modelos DEA utilizados, representados pelas Equações (9) e (10), são os que produzem *scores* de retorno constante de escala (CCR) e retorno variável de escala (BCC), orientados ao produto (output). Produto é a variável resultante da combinação das variáveis de entrada (input). *Scores* são indicadores, ponderados por pesos, que relacionam as variáveis de entrada (input) às variáveis de saída (output). Em cada *score* produzido por CCR ou BCC, a medida de eficiência (*Eff*) está entre 0 e 1 ($0 \leq \text{score} \leq 1$). *Score inferior a 1 sugere desempenho ineficiente e igual a 1, eficiente.* No modelo CCR, aumento ou redução nas variáveis de entrada resulta em aumento ou redução proporcional na variável de saída. No modelo BCC o resultado está relacionado com o conceito de convexidade.

Modelo CCR:

$$\text{Min } h_0 = \left[\frac{\sum_{i=1}^r v_i X_{i0}}{\sum_{j=1}^s u_j Y_{j0}} \right] \quad (9)$$

Sujeito a:

$$\left[\frac{\sum_{i=1}^r v_i X_{i0}}{\sum_{j=1}^s u_j Y_{j0}} \right] \geq 1, \forall k$$

$v_i, u_j, \forall j, i$

Modelo BCC:

$$\text{Max } h_0 \quad (10)$$

Sujeito a:

$$X_{i0} - \sum_{k=1}^n X_{ik} \lambda_k \geq 0, \forall i$$

$$-h_0 Y_{j0} + \sum_{k=1}^n Y_{jk} \lambda_k \geq 0, \forall j$$

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1, \quad \lambda_k \geq 0, \forall k$$

em que: $h = \text{score}$; $X = (MC, PRLV, RCT)$; $Y = (ROA)$; $i = \text{firma(DMU) menos eficiente}$; $j = \text{firma (DMU) mais eficiente}$; $k = (i, j)$; $\lambda = \text{maior produtividade de DMU}$.

3.4 Modelo paramétrico de estimação da regressão linear multivariada

O resultado desta função, Equação (11), representado pelo desempenho do ROA, sinaliza o impacto de cada variável do lado direito (variáveis explicativas) na variável do lado esquerdo (variação explicada), que deve ser interpretado de acordo com a confiança e robustez estatísticas produzidas pelo teste, no nível significância rodado.

$$ROA_{jt} = \alpha + \beta_1 MC_{jt} + \beta_2 PRLV_{jt} + \beta_4 RCT_{jt} + \varepsilon_{jt} \quad (11)$$

em que: ROA = retorno do ativo; MC = margem de contribuição; PRLV=produtividade da receita líquida de vendas; RCT = retorno do capital de terceiros; β = estimador do coeficiente linear; t = unidade de tempo; j = firma; α =termo constante; e ε =termo de erro.

3.5 Descrição da amostra

As firmas da amostra foram recuperadas do repositório da *Economática*. A busca inicial recuperou as demonstrações financeiras padronizadas das firmas do negócio de energia elétrica no Brasil de 1996 a 2013. Porém, as demonstrações financeiras de várias firmas do repositório apresentam restrições de inconsistência e omissões de dados. Após o tratamento dos dados, em função dessas restrições, somente as 11 firmas, de 2003 a 2013, listadas na Tabela 1, apresentam-se consistentes. As demonstrações financeiras em moeda funcional (R\$) estão atualizadas pela variação do IPCA (Índice de Preços ao Consumidor Amplo) na base 2013.

Tabela 1: Firmas do negócio de energia elétrica no Brasil, de 2003 a 2013 com dados consistentes que atendem os critérios da pesquisa

FIRMAS DO NEGÓCIO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL SELECIONADAS NA AMOSTRA					
F1	DMU1	AES SUL	F7	DMU7	COSERN
F2	DMU2	BAND	F8	DMU8	ELEKTRO
F3	DMU3	CELPE	F9	DMU9	ELETROPAULO
F4	DMU4	CEMAR	F10	DMU10	PAUL F LUZ
F5	DMU5	COELBA	F11	DMU11	TRACTBEL
F6	DMU6	COELCE			

F=FIRMA=DMU (Decision Maker Unit)

As variáveis contábeis selecionadas são (a) receita líquida de vendas (RLV); (b) custo dos produtos vendidos (CPV); (c) ativo imobilizado (AI); (d) passivo circulante (PC); (e) patrimônio líquido (PL); (f) lucro líquido (LL); (g) dívida de empréstimo (DE); (h) despesa financeira (DF); (i) ativo total (AT); e (j) lucro antes dos juros e tributos (EBIT). A partir dessas variáveis contábeis foram calculadas as variáveis de interesse da pesquisa, demonstradas na Tabela 2, por meio dos modelos descritos na subseções 3.1 e 3.2 precedentes.

Tabela 2: Indicadores médios de desempenho extraídos das médias das variáveis contábeis das demonstrações financeiras de 2003 a 2013 das 11 firmas do negócio de energia elétrica no Brasil totalizando 121 observações anuais por variável

Firma	MC	PRLV	RCT	ROA
F1	0,16961	1,04274	0,27220	0,09198

Firma	MC	PRLV	RCT	ROA
F 2	0,21645	0,88414	0,23234	0,18549
F 3	0,28465	1,66629	0,17539	0,13784
F 4	0,39989	1,05083	0,15524	0,23277
F 5	0,38033	1,30499	0,28207	0,24377
F 6	0,28273	0,90919	0,18155	0,19076
F 7	0,28478	1,24475	0,17759	0,25819
F 8	0,28478	1,24475	0,45955	0,25819
F 9	0,14422	1,29880	0,18366	0,12728
F 10	0,26003	2,07540	0,14791	0,24296
F 11	0,57010	0,75739	0,10018	0,26959

MC=margem de contribuição; PRLV=produtividade da receita líquida de vendas; RCT=retorno do capital de terceiros; ROA=retorno do ativo.

De forma preliminar os dados da Tabela 2 já mostram que a firma F10, seguida das firmas F3, F5, F9, F7 e F8, F4 e F1, são as mais produtivas, com PRLV superior a 1, mostrando que a receita produzida pela firma em cada ano é superior ao valor do investimento.

Mas a firma F11 é a que apresenta maior MC, relacionada com a menor PRLV, menor retorno do capital de terceiros, e maior ROA. Assim, ainda preliminarmente, os dados mostram que o maior ROA está associado à maior MC e ao menor RCT, porém contraria a expectativa de que maior PRLV implicaria maior MC. A firma F1 associa a 2ª menor MC ao menor ROA e à 8ª maior PRLV, corroborando as evidências apresentadas pela firma F11 de que MC maior/menor implicaria ROA maior/menor, independente da PRLV. Ainda se observa que o ROA, na extensão dos dados agregados da amostra, varia entre 9,198% e 26,959%, resultando em uma taxa média da ordem de 20,353%, inferior à média do RCT da ordem de 21,524%, que varia de 0,10018 a 0,45955, mostrando que, neste segmento de negócio, o custo do capital de terceiros, na média, é maior do que o custo do capital próprio. Mas individualmente, as firmas F4, F6, F7, F10 e F11 apresentam ROA maior do que RCT.

É relevante ainda observar que as firmas F7 e F8, respectivamente DMU7 e DMU8, apresentam MC, PRLV e ROA iguais. Essa situação sugere inconsistência nos dados geridos pelo repositório, porém ao nível desta pesquisa não há procedimentos que possam ser utilizados para detecção dessa provável anomalia.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção são analisados os estimadores das estatísticas descritivas, os coeficientes da matriz de correlação, os resultados produzidos pelos modelos não-paramétrico (DEA) e paramétrico (regressão linear multivariada). Os resultados são obtidos a partir das variáveis geradas pelos modelos definidos nas subseções 3.2; 3.3 e 3.4, aplicados nos dados amostrais, individuais e médios, demonstrados na subseção 3.5. O testes não-paramétricos são rodados com as variáveis em nível para se obter o efeito eficiência do uso dos insumos, e o teste paramétrico é rodado com as variações de um período para todas as variáveis, ou primeira diferença, para que seja mitigado o efeito simultaneidade dos saldos das variáveis contábeis.

A Tabela 3 exhibe os estimadores das estatísticas descritivas das variáveis de interesse da pesquisa, em que a dispersão da distribuição é inferior a 1/2 desvio padrão da média nos dados

das variáveis MC, PRLV e ROA, e pouco mais de 1 desvio padrão da média (1,017) nos dados da variável RCT, como mostra o estimador do *coeficiente de variação*. Esse resultado sinaliza que o espalhamento dos dados amostrais é relativamente moderado, o que pode ser confirmado observando-se a amplitude entre os limites mínimo e máximo de cada variável. Para as variáveis a MC, PRLV e RCT mais da metade das observações está situada abaixo da média, enquanto para a variável ROA a posição é oposta, ou seja, a média coloca-se na primeira metade dos dados, como mostra a comparação dos estimadores da média e *mediana*. Mas pelo fato de o teste estatístico da Tabela 3 ter utilizado as 121 observações por variável (e não somente a média demonstrada na descrição da amostra), os mínimos e máximos da ferida Tabela 3 são menores/maiores que os demonstrados na Tabela 2. Porém, nesse estágio da análise dos dados ainda não se pode inferir que os mínimos/máximos de todas as variáveis estejam vinculados à mesma firma (DMU), o que será identificado mais adiante na análise dos resultados do modelo DEA na Tabela 7.

Tabela 3: Estatísticas descritivas das 121 observações por variável de interesse da pesquisa das 11 firmas da amostra do negócio de energia elétrica no Brasil de 2003 a 2013

Estimadores	MC	PRLV	RCT	ROA
Média	0,29796	1,22539	0,21524	0,20353
Mediana	0,27956	1,08016	0,16314	0,20706
Desvio padrão	0,13244	0,58939	0,21892	0,09503
Coeficiente variação	0,44450	0,48098	1,01707	0,46690
Mínimo	0,00594	0,42809	0,01237	0,00555
Máximo	0,72227	3,28009	1,72524	0,42752
Contagem	121	121	121	121

MC=margem de contribuição; PRLV=produtividade da receita líquida de vendas; RCT=retorno do capital de terceiros; ROA=retorno do ativo.

A Tabela 4 exibe os coeficientes da matriz de correlação das 121 observações de cada variável de interesse da pesquisa. As respostas do teste revelam que: (1) a MC se relaciona de forma direta com a PRLV e com o ROA, mas de forma inversa com o RCT. Esse comportamento é o que se poderia esperar considerando que o investimento no negócio, para uma capacidade instalada dimensionada para determinado intervalo de tempo e nível de produção, é constante e isso faz com que maior receita produza maior MC e maior ROA. E de forma contrária, maior RCT produz menor MC considerando que parte desse RCT é custo de produção da receita. Mas ainda que o relacionamento entre MC e PRLV seja direto esperar-se-ia que ele fosse com maior intensidade já que 1,739% é próximo de uma relação de independência (ortogonalidade); (2) A PRLV mostra associação positiva com o ROA e negativa com o RCT. Esses relacionamentos são esperados considerando que quanto mais receita o investimento produzir, maior retorno do investimento deve ocorrer, e um custo de capital de terceiros maior impacta produtividade menor; (3) o ROA apresenta-se inversamente associado com o RCT. Essa relação também é esperada considerando que, na média, o RCT é maior do que o ROA, como revelado pela análise dos dados amostrais (subseção 3.5), sinalizando que o sentido do movimento das duas variáveis seria é oposto.

Tabela 4: Coeficientes da matriz de correlação das 121 observações por variável de interesse da pesquisa das 11 firmas da amostra do negócio de energia elétrica no Brasil de 2003 a 2013

Estimadores	MC	PRLV	ROA	RCT
MC	1			

PRLV	0,01739			1
ROA	0,66384	0,25186		1
RCT	-0,14057	-0,03795	-0,19086	1

MC=margem de contribuição; PRLV=produtividade da receita líquida de vendas; RCT=retorno do capital de terceiros; ROA=retorno do ativo.

Os resultados obtidos com a aplicação do modelo não paramétrico, apresentados na Tabela 5, exibe *rank* e *score* de eficiência por firma da amostra, orientados ao resultado (*output*), com retornos constantes e variáveis de escala, com base nas médias de cada variável. As firmas que apresentam *score* 1 estão localizadas sobre a curva da fronteira de eficiência estocástica na primeira posição do *rank* (*rank* 1) e as que apresentam *score* inferior a 1 são ineficientes e se colocam abaixo da curva, como mostra Melo; Meza; Gomes e Neto (2005), por produzirem menor retorno de ativo com os mesmos insumos disponíveis (MC, PRLV, RCT), corroborando os achados de Tannuri-Pianto et al. (2009). A referida Tabela 5 mostra no bloco de informações do lado esquerdo o desempenho com retorno variável de escala (BCC) e do lado direito o desempenho com retorno constante de escala (CCR). Das 11 firmas da amostra, na média, em 8 foi encontrada eficiência com retorno variável de escala (BCC) por exibirem *score* igual a 1, ou seja, maior ROA (DMU1 com *score* 0,99988 é igual a 1). Quando o retorno de escala é constante (CCR), das 11 firmas somente 4 confirmam eficiência. Assim, as firmas 2, 9 e 6 (DMU2, DMU9 e DMU6) classificadas com *rank* 1 com retorno variável de escala (eficientes), quando o retorno de escala é constante o *rank* é inferior a 1 (ineficientes), não tocando a curva de fronteira de eficiência. Essa mudança de *rank* sinaliza mudança de *benchmark* em que o nível de ROA de um modelo é superior/inferior ao nível de ROA do outro modelo. Neste contexto, conforme os *scores* mostram, as firmas 5, 4 e 3 (DMU5, DMU4 e DMU3) não são eficientes em nenhuma das formas de retorno de escala. A medida de ineficiência sugere que as firmas poderiam obter ROA maior com os mesmos insumos (MC, PRLV, RTC) que dispõem, pois eficiência, de forma difusa, é aumentar o nível de produção mantendo as quantidades de insumo ou manter o nível de produção reduzindo a quantidade de insumos. Assim os *scores* do DEA sugerem que o nível de ineficiência, em relação à DMU *benchmark*, aumenta à medida em que esses *scores* são menores que 1.

Tabela 5: *Rank* e *score* das médias das 121 observações anuais por variável das 11 firmas (DMUs) da amostra de 2003 a 2013 rodados com o modelo DEA orientado a resultado (*output*)

Retorno variável de escala (BCC) orientado a produção (output)			Retorno constante de escala (CCR) orientado a produção (output)		
Rank	DMU	Score	Rank	DMU	Score
1	DMU11	1	1	DMU11_M	1
1	DMU10	1	1	DMU10_M	1
1	DMU2	1	1	DMU8_M	1
1	DMU9	1	1	DMU7_M	1
1	DMU8	1	5	DMU2_M	0,98973268
1	DMU7	1	6	DMU9_M	0,944533457
1	DMU6	1	7	DMU6_M	0,909374276
8	DMU1	0,999884322	8	DMU4_M	0,884463978
9	DMU5	0,930380567	9	DMU5_M	0,829519781
10	DMU4	0,885758491	10	DMU1_M	0,589258924
11	DMU3	0,535714495	11	DMU3_M	0,527501679

DMU=firmas da amostra; Rank=ordem de classificação por eficiência; Score=nível de eficiência; BCC=metodologia com retornos variáveis de escala; CCR=metodologia com retornos constantes de escala.

A Tabela 6, que também apresenta resultados do modelo não-paramétrico, exibe o desempenho por cada DMU/ano, com retorno constante de escala (CCR) e retorno variável de escala (BCC), de 2003 a 2013. Diferentemente da Tabela 5 precedente, que exibe o desempenho único por DMU em função das médias das variáveis, a Tabela 6 permite observar como o desempenho de cada firma/DMU se comporta ao longo da série, mantendo ou alternando eficiência/ineficiência. Os *scores* de cada firma DMU_CCR e DMU_BCC, em cada ano, estão em função do ROA ponderado pelos pesos das variáveis de entrada/saída definidos nos modelos das funções 9 e 10 da subseção 3.3 precedente. Em função desses pesos, DMUs que se apresentam sobre a curva (eficientes) quando o teste utiliza a média do período amostral, podem não ser eficientes por todo o período amostral quando o teste é individual. Como exemplo, quando o teste é rodado com as médias (Tabela 5), as DMUs 2, 6, 7, 8, 9, 10 e 11 são eficientes com retorno variável de escala, e DMUs 7, 8, 10 e 11 são eficientes com retorno constante de escala, mas quando o teste é rodado individualmente, somente a DMU7 e DMU9 se mantém sobre a curva da fronteira eficiente com retornos variável escala em toda a amostra. As demais alternam entre eficiência/ineficiência.

Essa mudança de paradigma ou *benchmark* sinaliza que os resultados obtidos com o teste rodado por DMU/ano oferece melhor visibilidade de desempenho/eficiência do que quando rodado com as médias. Porém, quando a comparação entre os resultados dos testes é para identificar a DMU mais ineficiente, não há diferença entre eles, tendo como fato a DMU3, que se mostra ineficiente nas duas formas em que o teste foi rodado, com retornos constante e variável de escala.

Tabela 6: *Scores* individuais por DMU/ano (firmas de energia elétrica no Brasil) de 2003 a 2013 com a aplicação do modelo teórico do DEA nas visões de retorno constante de escala (CCR) e retorno variável de escala (BCC)

Firma/DMU	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
DMU1_CCR	0,788 0	0,8623	0,0670	0,3268	0,3268	0,4359	0,4427	0,4673	0,8995	1	0,9059
DMU1_BCC	0,788 1	1	0,9993	0,3435	0,3435	0,4603	0,4692	1	1	1	1
DMU2_CCR	1	0,9908	0,7561	0,9558	0,9558	1	1	0,9584	0,8315	0,6959	1
DMU2_BCC	1	1	1	1	1	1	1	1	0,8744	0,7037	1
DMU3_CCR	0,893 6	0,5255	0,4014	0,5187	0,5187	0,6313	0,6219	0,5202	0,4651	0,1224	0,4367
DMU3_BCC	0,924 8	0,5291	0,4181	0,9997	0,9997	0,6523	0,7277	0,6163	0,4859	0,1534	0,4380
DMU4_CCR	0,927 1	0,7243	0,9186	0,9634	0,9634	1	0,9343	0,8431	0,6263	0,7923	0,6261
DMU4_BCC	0,943 6	0,7262	1	0,9635	0,9635	1	1	0,8804	0,7523	1	0,7683
DMU5_CCR	0,825	0,8149	0,8475	0,8475	0,8475	0,8435	0,7676	0,8246	0,5878	0,6903	0,5180

	6		0,7921									
		0,8430	0,8406									
DMU5_BCC	1			0,8479	0,8479	0,9283	1	0,8706	0,7573	0,9386	0,5805	
		0,593	0,3741	0,5224								
DMU6_CCR	1			0,8986	0,8986	0,9848	0,7199	1	1	1	0,7564	
		0,615	0,9999	0,6353								
DMU6_BCC	3			0,9100	0,9100	1	0,7627	1	1	1	1	
		0,858									0,8845	
DMU7_CCR	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
DMU7_BCC	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		0,858										
DMU8_CCR	9	1	1	1	1	1	0,9910	0,9906	0,8784	0,9162	0,8845	
DMU8_BCC	1	1	1	1	1	1	0,9995	0,9975	1	0,9658	1	
			0,9053									
DMU9_CCR	1	1		0,9424	0,9424	0,7999	0,8303	0,8735	1	1	1	
DMU9_BCC	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
DMU10_CCR	0,355	0,8894	0,8665									
		5		1	1	1	1	1	0,9231	0,9302	1	
DMU10_BCC												
		,3869	1	1	1	1	1	1	1	0,9765	1	
DMU11_CCR												
		1	1	1	1	1	1	1	0,8126	1	1	
DMU11_BCC												
		1	1	1	1	1	1	1	0,9270	1	1	

DMU=decision maker unit (firma); CCR=modelo com retorno constante de escala; BCC=modelo com retorno variável de escala.

A Tabela 7 seguinte mostra as necessidades de ajustes no desempenho médio nas variáveis de entrada (*input*) ou insumos (MC, PRLV, RCT) e na variável de saída (*output*) ou produto (ROA) para que a DMU seja eficiente nos modelos BCC e CCR. Para qualquer DMU com *Score* igual a (1,000) nos dois modelos, os dados das variáveis insumo e produto nas colunas *Score* e *Projec* não se alteram porque a DMU atingiu o nível de eficiência. Porém, quando o *Score* da DMU for superior a 1 (>1,000) os dados da coluna *Projec* diferem dos dados da coluna *Score* sinalizando a necessidade de ajustes para que a DMU seja eficiente. Desta forma, o desempenho no modelo BCC mostra que das 11 DMUs 8 são eficientes, exibindo *Score* igual (1,000) com os dados das variáveis de entrada e saída iguais nas colunas *Score* e *Projec* sinalizando que aos níveis de capacidade instalada e tecnologia utilizada essas DMUs estão no nível ótimo de eficiência na produção. No modelo CCR, das 11 DMUs somente 3 são eficientes, invertendo a posição com o modelo BCC em que somente 3 são ineficientes.

Observando o coeficiente da coluna *Score* na intersecção com a linha *DMU*, a sinalização é de que com os insumos disponíveis, a produção da DMU ineficiente deveria ter sido maior, equivalente ao que produziu mais o que excede do *Score* (>1,000) para satisfazer

um dos conceitos de eficiência que é produzir mais, mantendo os insumos constantes. Agora observando os dados da coluna *Projec*, na intersecção com a linha de cada variável de entrada e saída, eles sugerem que a DMU ineficiente obteria nível de eficiência com *Score* igual (1,000) se os dados fossem ajustados para os níveis da referida coluna. Neste contexto, a variável de saída ROA seria acrescentada do equivalente ao percentual que excedesse do *Score* (1,000) para quaisquer dos dois modelos, e as variáveis de entrada seriam reduzidas, para satisfazer o outro conceito de eficiência que seria manter o nível de produção com menor quantidade de insumos. Estes dois conceitos podem ser verificados na leitura dos dados da Tabela 7, em que para toda DMU ineficiente o coeficiente da *célula* de intersecção da coluna *Score* com a linha *DMU* é maior do (1,000); na coluna *Projec* o nível de ROA (produto) é maior do que na coluna *Score* e pelo menos um insumo (MC, PRLV, RCT) na coluna *Projec* é menor do que na coluna *Score*, e esse insumo, para os dados da amostra, é o RCT que na coluna *Projec* é menor do na coluna *Score* para todas as DMUs ineficientes. Assim, em termos médios, os mínimos e máximos de cada variável estão associados a DMUs diferentes.

Tabela 7: Projeção de insumo para ajuste do desempenho médio por firma (DMU) de energia elétrica no Brasil de 2003 a 2013 com a aplicação do modelo teórico do DEA nas visões de retorno constante de escala (CCR) e retorno variável de escala (BCC)

Desempenho no modelo BCC orientado a output						Desempenho no modelo CCR orientado a output					
Projec			Projec			Projec			Projec		
DMU	Score	c	DMU	Score	c	DMU	Score	c	DMU	Score	c
DMU 1	1,000		DMU7	1,000		DMU 1	1,697		DMU7	1,000	
MC	0,170	0,170	MC	0,285	0,285	MC	0,170	0,170	MC	0,285	0,285
PRLV	1,043	1,043	PRLV	1,245	1,245	PRLV	1,043	1,043	PRLV	1,245	1,245
RCT	0,272	0,272	RCT	0,178	0,178	RCT	0,272	0,101	RCT	0,178	0,178
ROA	0,092	0,092	ROA		0,258	ROA	0,092	0,156	ROA	0,258	0,258
DMU 2	1,000		DMU8	1,000		DMU 2	1,010		DMU8	1,000	
MC	0,216	0,216	MC	0,285	0,285	MC	0,216	0,216	MC	0,285	0,285
PRLV	0,884	0,884	PRLV	1,245	1,245	PRLV	0,884	0,884	PRLV	1,245	1,245
RCT	0,232	0,232	RCT	0,460	0,460	RCT	0,232	0,126	RCT	0,460	0,178
ROA	0,185	0,185	ROA		0,258	ROA	0,185	0,185	ROA	0,258	0,258
DMU 3	1,867		DMU9	1,000		DMU 3	1,896		DMU9	1,059	
MC	0,285	0,285	MC	0,144	0,144	MC	0,285	0,285	MC	0,144	0,144
PRLV	1,666	1,294	PRLV	1,299	1,299	PRLV	1,666	1,666	PRLV	1,299	1,151
RCT	0,175	0,175	RCT	0,184	0,184	RCT	0,175	0,171	RCT	0,184	0,082
ROA	0,138	0,257	ROA	0,127	0,127	ROA	0,138	0,261	ROA	0,127	0,135
DMU 4	1,129		DMU1 0	1,000		DMU 4	1,131		DMU1 0	1,000	

DMU	Score	Proje c	DMU	Score	Proje c	DMU	Score	Proje c	DMU	Score	Proje c
MC	0,400	0,400	MC	0,260	0,260	MC	0,400	0,400	MC	0,260	0,260
PRLV	1,051	1,048	PRLV	2,075	2,075	PRLV	1,051	1,051	PRLV	2,075	2,075
RCT	0,155	0,146	RCT	0,148	0,148	RCT	0,155	0,147	RCT	0,148	0,148
ROA	0,233	0,263	ROA	0,243	0,243	ROA	0,233	0,263	ROA	0,243	0,243
DMU 5	1,075		DMU1 1	1,000		DMU 5	1,206		DMU1 1	1,000	
MC	0,380	0,380	MC	0,570	0,570	MC	0,380	0,380	MC	0,570	0,570
PRLV	1,305	1,082	PRLV	0,757	0,757	PRLV	1,305	1,305	PRLV	0,757	0,757
RCT	0,282	0,152	RCT	0,100	0,100	RCT	0,282	0,185	RCT	0,100	0,100
ROA	0,244	0,262	ROA	0,270	0,270	ROA	0,244	0,294	ROA	0,270	0,270
DMU 6	1,000					DMU 6	1,099				
MC	0,283	0,283				MC	0,283	0,283			
PRLV	0,909	0,909				PRLV	0,909	0,909			
RCT	0,182	0,182				RCT	0,182	0,128			
ROA	0,191	0,191				ROA	0,191	0,210			

MC=margem de contribuição; PRLV=produtividade da receita líquida de vendas; RCT=retorno do capital de terceiros; ROA=retorno do ativo; DMU=decision maker unit (firma); CCR=modelo com retorno constante de escala; BCC=modelo com retorno variável de escala; Score = dados das variáveis e da DMU; Projec = dados projetados para eficiência da DMU ineficiente.

Concluída a análise do modelo não-paramétrico com base nos dados das Tabelas 5 a 7 precedentes, a pesquisa analisa as respostas do modelo paramétrico apresentadas na Tabela 8 seguinte. Referidas respostas são os resultados da regressão linear multivariada da variável ROA contra as variáveis MC, PRLV e RCT, em primeira diferença, com dados em painel balanceado rodado com Efeitos Aleatórios, das 121 observações anualizadas das 11 firmas do negócio de energia elétrica no Brasil, de 2003 a 2013. Os dados em primeira diferença, por serem variações, tem a motivação de mitigar o efeito simultaneidade dos valores absolutos das variáveis contábeis, e o Efeito Aleatório porque melhor reporta os resultados dos testes. Os testes básicos de variância e autocorrelação serial dos resíduos, necessários à validação do modelo, utilizam as estatísticas *Breusch-Pagan* e *Hausman*, respectivamente. A estatística de *Hausman* que testa a autocorrelação dos resíduos apresenta *score* inferior aos valores tabelados com significância estatística de 10%, 5% e 1%, ($\alpha=0,1$; $\alpha=0,05$; $\alpha=0,01$), sinalizando a ausência de autocorrelação. A estatística de *Breusch-Pagan* que testa a variância dos erros é inferior ao valor crítico ao nível de significância de 1%, ($\alpha=0,01$), sinalizando a ausência de heterocedasticidade.

A significância estatística dos testes sugere que, com confiança de 90% e 95%, para cada variação de 1% no estimador da variável MC o ROA é incrementado 26,86%. Em

relação aos estimadores das variáveis PRLV e RCT não foi encontrada significância estatística, contudo os sinais dos estimadores estão de acordo com esperado, tendo em vista que o aumento da MC e PRLV implica em aumento do ROA e aumento do RCT impacta redução do ROA.

Para testar a multicolinearidade das variáveis foi utilizado o fator de inflação da variância (FIV). Os resultados mostram-se inferiores a 10 (implícitos), sinalizando a inexistência de multicolinearidade entre as variáveis explicativas do modelo.

Tabela 8: Efeitos-aleatórios (GLS), usando 110 observações das 121 observações da amostra de 11 firmas do negócio de energia elétrica no Brasil de 2003 a 2013
Incluídas 11 unidades de secção-cruzada
Comprimento da série temporal = 10
Variável dependente: d ROA

<i>Estimadores</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>Estatística-t</i>	<i>valor p</i>
const	0.004615	0.009204	0.5014	0.6171
d_MC	0.268625	0.132908	2.0211	0.0458 **
d_PRLV	0.005755	0.009291	0.6194	0.5370
d_RCT	-0.000297	0.025978	-0.0114	0.9909
Teste de Breusch-Pagan: $\chi^2_{1;0,01}$	5.6595 *		Teste de Hausman: $\chi^2_{3;0,01}$	0.2234 ***

MC=margem de contribuição; PRLV=produtividade da receita líquida de vendas; RCT=retorno do capital de terceiros; ROA=retorno do ativo.

Resumindo os resultados dos testes, a abordagem DEA da fronteira de eficiência estocástica sugere que a firma tem desempenho eficiente, em média, quando há associação da MC com o maior nível de ROA e menor RCT como mostram os dados da Tabela 7, confirmado pelo resultado do teste paramétrico apresentado na Tabela 8. Mas esses resultados diferem dos achados de Halkos e Salamouris (2004) que encontraram evidências de que a eficiência dos bancos gregos está associada com o maior valor de ativo.

A abordagem paramétrica sinaliza que as variáveis testadas apresentam sinais de acordo com o esperado considerando a relação direta da MC e PRLV com o ROA, assim como a relação indireta do ROA com o RCT. Por essas relações um aumento na PRLV e na MC implica aumento no ROA e de forma contrária, um aumento no RCT impacta redução no ROA. Com estes resultados os testes de hipóteses sinalizam que o ROA depende fortemente da MC e a não significância estatística da PRLV pode ser explicada pelo fato de que a MC depende da receita líquida de vendas, confirmando as sinalizações da análise da descrição da amostra em que maior ROA está associado à maior MC e ao menor RCT.

5 CONCLUSÕES

A pesquisa apresenta como principal motivação analisar o desempenho das firmas do negócio de energia elétrica no Brasil, na visão de eficiência do retorno do ativo, no período em que ocorrem frequentes interrupções no fornecimento de energia elétrica, provocando transtorno para sociedade e para a economia do país. Os dados foram extraídos das demonstrações financeiras padronizadas de uma amostra de 11 firmas, de 2003 a 2013, totalizando 121 observações por variável de interesse da pesquisa. As variáveis contábeis extraídas das demonstrações financeiras padronizadas foram o ativo total, passivo circulante, dívidas de empréstimos e financiamentos, lucro líquido, patrimônio líquido, despesas

financeiras, tributos diretos sobre o lucro, receita líquida de vendas, custo dos produtos vendidos e ativo imobilizado.

As variáveis de interesse da pesquisa, não estocásticas, calculadas a partir das variáveis contábeis são MC, PRLV, RCT, e ROA. A metodologia é positivista e utiliza modelos não-paramétrico, DEA, e paramétrico, regressão linear multivariada, para investigar a eficiência/ineficiência das firmas de negócio de energia elétrica no Brasil. O método DEA foi utilizado na visão orientada a produção (*output*) e nas modalidades retorno constante de escala (CCR) e retorno variável de escala (BCC).

Os achados da pesquisa, sustentados pelas análises dos resultados dos modelos não-paramétrico e paramétrico, revelam que:

- (a) o ROA das médias amostrais varia de 9,198% e 26,959% como mostra a Tabela 2, e por DMU/ano varia de 0,55% a 42,75%, como mostra a Tabela 3, com média 20,353% inferior à média do RCT da ordem de 21,524%. Esses resultados sinalizam significativas diferenças no desempenho/eficiência de cada firma. Ainda em termos médios como mostra a Tabela 2, o maior desempenho do ROA de 26,959% está associado à maior MC de 0,57010 e ao menor RCT de 0,10018. Assim de forma contrária aos achados de Halkos e Salamouris (2004) a eficiência estocástica não estar associada ao tamanho da firma, mas sim ao maior desempenho;
- (b) como já se poderia esperar o retorno do ROA é positivamente relacionado com a MC e PRLV; o RCT é negativamente relacionado com ROA, MC e PRLV, por crescer mais do que o ROA e reduzir a riqueza das firmas, como mostram os coeficientes da matriz de correlação (Tabela 4);
- (c) somente as firmas, DMU7 e DMU9, das 11 da amostra, exibem eficiência em todo período de 2003 a 2013, com retorno variável de escala (BCC), sendo as mais eficientes entre todas. Entre as firmas mais eficientes com retorno constante de escala (CCR) a que mais pontuou sobre a curva da fronteira de eficiência foi a DMU11 com 10 dos 11 períodos. Já a firma mais ineficiente é a DMU3 que não pontuou na curva da fronteira de eficiência, nem na média e nem por ano, em nenhuma das modalidades do DEA;
- (d) os resultados da regressão linear multivariada mostram-se estatisticamente significativos em relação à variável MC com 90% e 95% de confiança em que para cada variação de 1% na MC o ROA aumenta em torno de 26,86%, porém não foi encontrada significância estatística em relação às variáveis PRLV e RCT. Contudo, os sinais dos estimadores estão de acordo com esperado, considerando a relação direta da MC e PRLV com o ROA e indireta do ROA com o RCT;
- (e) a sinalização emitida pelos resultados da regressão linear, de significância da variável MC na explicação do ROA, confirma os resultados obtidos com o DEA de associação da MC com o maior nível de ROA e menor nível de RCT para obtenção de eficiência da firma na produção ótima; e
- (f) por fim, os resultados da pesquisa mostram-se consistentes e relevantes pelas evidências de significativas diferenças de desempenho/eficiência entre as firmas de energia elétrica no Brasil, e revelam possível associação dos ROAs ineficientes com

as interrupções no fornecimento de energia elétrica (*apagões*), ainda que na média o retorno dos ativos seja atrativo.

Em função dos resultados revelados, acredita-se que a pesquisa contribui de forma significativa com a literatura do segmento, com possibilidades de que pesquisas subsequentes possam explorar se há alguma conexão factual entre o retorno dos investimentos e as frequentes interrupções no fornecimento de energia elétrica no Brasil, considerando que os *apagões* de 1999 voltaram a se repetir com frequência e intensidade a partir de 2010 e, ao mesmo tempo, a pesquisa se diferencia das demais por trazer evidências de que a combinação de variáveis de retorno com variáveis de desempenho, métodos não-paramétrico e paramétrico, sugerem que uma firma é eficiente na combinação dos fatores de produção.

REFERÊNCIAS

- BANKER, R.D.; CHARNES, A.; COOPER, W.W. (1984). **Some models for estimating technical scale inefficiencies in data envelopment analysis**. *Management Science*, v. 30, n. 9, p. 1078-1092.
- BECCALLI, Elena/ CASU, Barbara/ GIRARDONE, Claudia. (2006). **Efficiency and stock performance in european banking**. *Journal of Business Finance & Accounting*. n. 33(1) & 2, pp. 245-262.
- BERGER, A. N.; HUMPHREY, D.B. (1992). **Megamergers in banking and the use of cost efficiency as an antitrust defence**. *Antitrust Bulletin*. v. 33, pp. 541-600.
- CANZIAN, F. Nos EUA, blecaute em 2003 durou mais de 90 horas. Folha de São Paulo, São Paulo, nov, 13, 2009. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidian/ff1311200923.htm>. Acesso em: 21 ago 2015.
- CESPEDES, J. G. **Eficiência de Produção: um enfoque bayesiano**. São Paulo, 2003. Dissertação (Mestrado em Agronomia) -Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E. (1978). **Measuring the efficiency of decision-making units**. *European Journal of Operational Research*, v. 2, p. 429-444.
- COASE, R.H. (1937). **The Nature of the Firm**. *Economica*, v.4, n.16, p.386-405, nov, 1937.
- DE FRANÇA, J.A.; LUSTOSA, P.R.B. (2011). **Efficiency and operating leverage under perfect competition: reconciling the approaches of economics and accounting**. *Contabilidade Gestão e Governança*, v.14, n.3, p.60-76 set/dez 2011.
- FARRELL, M.J. (1957). **The Measurement of Productive Efficiency**. *Journal of the Royal Statistical Society*. Series A (General), v.120, n.3.
- HALKOS, George E.; Salamouris, Dimitrios S. (2004). **Efficiency measurement of the Greek commercial banks with the use of financial ratios: a data envelopment analysis approach**. *Management Accounting Research*. n. 15, pp. 201-224.
- HIROTA, H. H. O mercado de concessão de transmissão de energia elétrica no Brasil. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Faculdade de Economia,

Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/96/96131/tde-26042007-114337/>>. Acesso em: 21 ago 2015.

HODGIN, R.; KIYMAZ, H. (2005). **Extending the Profit Elasticity Measure of Operating Leverage. In: Managerial Economics Texts. Journal of Economics and Economic Research**, v. 6, n.3.

HUO, Y.H.; KWANSA, F. (1994). **Effect of Operating and Financing Leverage on Firm's Risk. Journal of the Academy of Hospitality Research**, v.1, n.8.

JORGENSEN, B. N.; SADKA, G.; LI, J. **Capacity Constraints, Profit Margins and Stock Returns.** Disponível em:<http://papers.ssrn.com:80/sol3/cf_dev/AbsByAuth.cfm?per_id=62431>. Acesso em: 10 ago 2015.

JOSKOW, P. L. (2003). **Electricity sector restructuring and competition: lessons learned. Cuadernos de Economia**, 40(121).

KALDOR, N. (1934). **The Equilibrium of the Firm. The economic journal**, v. 44, n. 173, mar/1934.

KNIGHT, F.H. *Risk, Uncertainty and Profit*. Boston; Cambridge, 1921.

LI, W.; LI, M. (2004). **Was there a Portfolio Effect of the Micro-economic Leverage? Some Empirical Evidence from the Chinese Stock Market. Chinese Business Review, USA**, v.3, n.1, jan.2004 (Serial No.7)

LOVELL, C.A. K. (1992). **The Measurement of productive efficiency: techniques and Applications; Production Frontiers and Productive Efficiency.** Oxord: Forthcoming.

MELO, J.C.C.B.S.; MEZA, L.A.; GOMES, E.B.; NETO, L.B. (2005). **Curso de análise de envoltória de dados. XXXVII simpósio brasileiro de pesquisa operacional (SBPO), Gramado, 2005.** Disponível em: http://www.uff.br/decisao/sbpo2005_curso.pdf. acesso em: 10 set 2015.

O'BRIEN, T. J.; VANDERHEIDEN, P. A. (1987). **Empirical Measurement of Operating Leverage for Growing Firms. Financial Management**, v. 16, n. 2, p. 45-53.

SCHETTINE, D.C.D. *Eficiência Produtiva da Indústria de Transformação nas Regiões Brasileiras: uma análise de fronteiras estocástica e cadeias espaciais de Markov.* São Paulo, 2010. Tese (Doutorado em Economia) - Universidade de São Paulo.

TANNURI-PIANTO, M. E.; SOUSA, M. C. S. ; ARCOVERDE, F. D. (2009). **Fronteiras de Eficiência Estocásticas para as Empresas de Distribuição de Energia Elétrica no Brasil: Uma Análise de Dados de Painel. Est. Econ.**, São Paulo, v. 39, n. 1, p. 221-247.



São Paulo, 27 a 29 de Julho de 2016

**Building Knowledge in
Accounting**

VAN HORNE, J.C; WACHOWICH, J.M. Fundamentals of Financial Management.13.ed.
London. Prentice Hall, 2008.