

UM MODELO DE ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS PARA O ESTABELECIMENTO DE METAS DE CONTINUIDADE DO FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA

José Francisco Moreira Pessanha

Dep. de Otimização Energética e Meio Ambiente
Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
Rio de Janeiro – RJ
francisc@cepel.br

Reinaldo Castro Souza *

Dep. de Eng. Elétrica / Pontifícia Univ. Católica (PUC-RJ)
Rio de Janeiro – RJ
reinaldo@ele.puc-rio.br

Luiz da Costa Laurencel

Dep. de Estatística / Univ. Federal Fluminense (UFF)
Niterói – RJ
getlcl@vm.uff.br

* *Corresponding author* / autor para quem as correspondências devem ser encaminhadas

Recebido em 02/2006; aceito em 10/2006

Received February 2006; accepted October 2006

Resumo

Entre os aspectos da qualidade do fornecimento de energia elétrica destaca-se a continuidade, avaliada com base nos indicadores DEC e FEC que expressam, respectivamente, a duração e a frequência das interrupções do fornecimento. Propõe-se uma nova implementação da regulação por comparação de desempenho na definição dos níveis toleráveis de DEC/FEC (metas de continuidade) para as concessionárias de distribuição e seus conjuntos de unidades consumidoras. Na abordagem proposta combinam-se dois modelos de Análise Envoltória de Dados (DEA) em um processo com dois estágios: primeiro um modelo DEA clássico estabelece quanto cada distribuidora deve melhorar globalmente os seus indicadores de continuidade, em seguida, por meio de um modelo para alocação de recursos, baseado em DEA, comparam-se os desempenhos dos conjuntos em uma mesma distribuidora e definem-se as metas locais de continuidade para cada conjunto. Apresentam-se metas locais para os conjuntos das duas principais concessionárias que atendem o Estado do Rio de Janeiro.

Palavras-chave: distribuição de energia elétrica; continuidade do fornecimento; análise envoltória de dados.

Abstract

The main dimension of the electricity quality is the supply continuity. It is evaluated by indices SAIDI (System Average Interruption Duration Index) and SAIFI (System Average Interruption Frequency Index). This paper presents a new implementation of the yardstick competition that combines two Data Envelopment Analysis models (DEA) to set the continuity standards for the electricity distribution utilities and their groups of consumption units. The approach has two stages. First, a classical DEA model performs a comparative analysis between utilities to define global continuity standards for each utility; next, based on global standards, a model for resource allocation based on DEA establishes the local continuity standards for groups of consumption units in the same utility. Local standards for the consumption units groups of the main distribution utilities in the Rio de Janeiro State are presented.

Keywords: electric power distribution; continuity of supply; data envelopment analysis.

1. Introdução

A reestruturação do setor elétrico brasileiro (SEB) iniciou-se em meados da década de noventa, concebida com base no modelo do setor elétrico do Reino Unido, um modelo orientado para o mercado e caracterizado pela privatização das empresas e pela desverticalização da indústria, onde a geração e a comercialização de eletricidade são organizadas em um ambiente competitivo, enquanto a transmissão e a distribuição permanecem como monopólios regulados. Em um dos primeiros atos da reforma do SEB, a promulgação da lei nº 8.631/93 suprimiu a equalização tarifária e o regime de remuneração garantida (regulação pelo custo do serviço). Seguindo a experiência britânica, os novos contratos de concessão com as distribuidoras passaram a adotar o controle pelo preço-teto (*price cap*) como estratégia de regulação das tarifas de energia elétrica.

No regime de remuneração garantida, define-se uma tarifa que remunera todos os investimentos e custos de prestação do serviço, declarados pela concessionária e reconhecidos pelo regulador, mais uma remuneração do investimento a uma taxa de retorno próxima do custo de capital, Pires & Piccinini (1998). A longa experiência norte-americana com este esquema de regulação mostra que ao garantir a remuneração dos custos, este regime de regulação não incentiva a concessionária buscar eficiência e estimula o sobreinvestimento (efeito Averch–Johnson).

O regime *price cap*, adotado inicialmente no ano de 1984 na regulação dos serviços de telecomunicações do Reino Unido é uma proposta para contornar as deficiências da regulação pelo custo do serviço. No *price cap* o regulador define um teto inicial para a tarifa da concessionária, cujo valor é periodicamente reajustado com base em um índice de preços ao consumidor, no caso brasileiro o IGP-M, descontado de um fator de produtividade X. A fixação de um preço-teto incentiva a concessionária obter ganhos de produtividade por meio da redução de custos, pois seu lucro será tanto maior quanto mais ela reduzir as suas despesas.

As características extremas destas duas estratégias de regulação tarifária podem produzir efeitos distintos sobre a qualidade do fornecimento de energia elétrica (Ghirardi, 2000). No controle pelo custo a concessionária tem interesse em revelar seus custos para justificar tarifas que permitam o retorno adequado e, embora o efeito Averch-Johnson seja uma imperfeição, o aspecto da qualidade é beneficiado, pois a firma terá interesse em realizar investimentos para melhoria da qualidade, mesmo que economicamente ineficientes, desde que possa repassá-los às tarifas. Entretanto, no *price cap* a existência de um preço-teto e os incentivos para redução dos custos podem inibir os investimentos para a melhoria da qualidade do serviço, à medida que representam custos adicionais. Com o objetivo de incentivar os investimentos para melhoria da qualidade, Armstrong *et al.* (1994) recomendam que o regime *price cap* seja acompanhado de um aparato regulatório que fixe padrões mínimos de qualidade a serem atendidos pelas concessionárias, sob risco de sanções e penalidades.

Em um estudo das distribuidoras do setor elétrico norte-americano, abrangendo 78 concessionárias no período 1993/1999, Ter-Martirosyan (2003) confirma a hipótese da deterioração da continuidade provocada pela adoção de estratégias de regulação incentivada desprovidas de uma regulamentação complementar que fixe padrões mínimos de qualidade.

A qualidade do fornecimento de energia elétrica é avaliada sob três aspectos: conformidade, atendimento comercial e continuidade do fornecimento. Segundo Tanure (2000), a conformidade caracteriza-se pelo grau de perfeição com que a onda de tensão é disponibilizada aos consumidores. No atendimento comercial consideram-se os aspectos referentes à relação comercial entre a empresa e seus consumidores, em particular, o tempo

de resposta às solicitações dos consumidores, a cortesia do atendimento e o grau de presteza nos serviços demandados. Por fim, destaca-se o principal aspecto da qualidade da energia elétrica, a continuidade do fornecimento, pois o mais importante é a capacidade da rede suprir continuamente a demanda sem interrupções.

A continuidade expressa o grau de disponibilidade do serviço prestado pela concessionária, sendo avaliada por dois indicadores: a duração e a frequência das interrupções do fornecimento de energia elétrica. A duração da interrupção relaciona-se com a gestão do sistema de distribuição, enquanto a frequência das interrupções reflete a fragilidade do sistema frente ao meio ambiente, o envelhecimento ou a falta de manutenção adequada. Estes indicadores são facilmente mensuráveis e possibilitam um controle por meio de normas e multas em função da performance verificada. Basicamente, a regulação da continuidade consiste na avaliação destes indicadores e na comparação dos valores apurados com níveis máximos toleráveis, denominados por metas de continuidade.

No âmbito do SEB, a Portaria do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) nº 046/78 foi um marco na regulação da continuidade do fornecimento, inserindo dois indicadores de caráter coletivo, o DEC e o FEC.

O DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) exprime o intervalo de tempo que, em média, cada consumidor ficou privado do fornecimento de energia elétrica, no período de apuração. Por sua vez, o FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) exprime o número de interrupções que em média cada consumidor sofreu no período de apuração.

No ano 2000, a Resolução nº 024, emitida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), introduziu a análise comparativa de desempenho, também denominada *yardstick competition* (Shleifer, 1985), na definição das metas de continuidade para os conjuntos de unidades consumidoras. Define-se um conjunto de consumidores como sendo uma partição da área de concessão da distribuidora, com condições de atendimento homogêneas e sobre a qual faz-se o acompanhamento dos eventos relacionados aos indicadores de continuidade. A Resolução inovou ao introduzir penalidades pelo não cumprimento das metas de continuidade e ao estabelecer a revisão periódica das metas a cada revisão tarifária, criando um mecanismo que incentiva a melhoria progressiva da continuidade do fornecimento. Segundo Barbosa *et al.* (2004), 26 concessionárias foram multadas no ano de 2003 por terem violado as metas de DEC e FEC em 2002, quando foram registradas violações das metas em 2.050 conjuntos que abrangiam aproximadamente 16.837.000 de unidades consumidoras (33% dos consumidores do SEB em 2002). As multas aplicadas totalizaram o montante de R\$ 35,3 milhões.

Este artigo tem por objetivo apresentar uma nova forma de implementar o modelo *yardstick competition* na definição das metas de continuidade do SEB. Mais especificamente, propõe-se um procedimento em dois estágios: primeiro definem-se os valores máximos de DEC e FEC para cada concessionária, ou seja, as metas globais de continuidade, e em seguida, com base nas metas globais, definem-se os valores máximos de DEC e FEC para os conjuntos em uma mesma concessionária, ou seja, as metas locais de continuidade.

A comparação realizada no primeiro estágio segue a forma usual de uma regulação tipo *yardstick competition*, pois os atributos analisados são globais, i.e., caracterizam as concessionárias, ao invés de zonas dentro das áreas de concessão (Lima *et al.*, 2002). A fronteira eficiente é um instrumento fundamental em análises comparativas (Benjó, 1999). Assim, no primeiro estágio propõe-se realizar a análise comparativa dos desempenhos das

concessionárias com o auxílio de um modelo de Análise Envoltória de Dados (DEA – *Data Envelopment Analysis*), uma técnica não paramétrica, baseada em programação linear, proposta por Charnes *et al.* (1978).

A escolha da DEA justifica-se pelo fato dela fornecer uma estrutura ideal para implementar a *yardstick competition* (Bogetoft & Nielsen, 2003), pois além de identificar a fronteira eficiente, comparar os desempenhos e estabelecer as metas de continuidade para cada concessionária, ela possibilita a identificação dos *benchmarks* hipotéticos que servem de referência para cada distribuidora, conferindo maior transparência ao processo regulatório.

No segundo estágio, considera-se a melhoria global da continuidade do fornecimento em uma concessionária como um recurso a ser repartido entre os seus diversos conjuntos de unidades consumidoras. Assim, propõe-se estabelecer as metas de continuidade dos conjuntos por meio de uma adaptação do modelo para alocação de recursos, baseado em DEA, proposto por Korhonen & Syrjänen (2001).

O artigo está organizado em sete seções. A seguir, na seção 2, tem-se uma breve descrição da regulação da continuidade no SEB e das motivações para a formulação de uma nova proposta para definição das metas de continuidade. Na seção 3 encontra-se uma breve apresentação dos modelos DEA clássicos e do modelo para alocação de recursos, baseado em DEA. Na seção 4 apresenta-se o modelo para estabelecimento das metas globais de continuidade, enquanto na seção 5 descreve-se o modelo para definição das metas locais dos conjuntos de unidades consumidoras. Na seção 6, são apresentados os resultados obtidos pela aplicação da metodologia proposta na definição das metas de continuidade das duas principais concessionárias que atendem o Estado do Rio Janeiro. Por fim, na seção 7 são apresentadas as principais conclusões do artigo.

2. Regulação da continuidade no SEB

O acesso à energia elétrica é um requisito essencial para o desenvolvimento econômico e o bem-estar social. A ausência do fornecimento de eletricidade restringe severamente as possibilidades de progresso sócio-econômico das populações não atendidas, negando-as os benefícios que somente a energia elétrica pode oferecer. Da mesma forma, um fornecimento intermitente e com prolongadas interrupções não permite que os consumidores se beneficiem plenamente do uso da eletricidade, imputando danos aos mesmos e a sociedade como um todo. Por esta razão a continuidade do fornecimento é o aspecto mais importante da qualidade da energia elétrica e o que recebe maior atenção dos reguladores.

No Brasil, a regulação da continuidade tem dois momentos históricos: a Portaria DNAEE nº 46/1978, responsável por inaugurar a regulação da continuidade no SEB ao introduzir metas para os indicadores DEC e FEC, e a Resolução ANEEL nº 24/2000, responsável pela adequação da regulação da continuidade ao novo contexto institucional do SEB.

A Portaria DNAEE teve o mérito de introduzir a regulação da continuidade no SEB, no entanto, seu efeito prático na melhoria da continuidade foi bastante limitado em virtude da inexistência de penalidades ao não cumprimento das metas.

Na década de noventa, as privatizações das distribuidoras de energia elétrica demandaram a elaboração de novos contratos de concessão, pois as metas de continuidade estipuladas em 1978 estavam desatualizadas e inadequadas ao novo contexto do SEB. Por esta razão, com base no desempenho médio verificado nos anos anteriores, foram definidos padrões de

continuidade mais rigorosos nos novos contratos de concessão. A experiência adquirida com a Portaria DNAEE também evidenciava a necessidade de criar um sistema de multas para punir as distribuidoras que transgridem as metas de continuidade.

Estas inovações foram consolidadas com a edição da Resolução ANEEL nº 024/2000 que estabelece as disposições sobre a apuração dos indicadores DEC e FEC, as linhas gerais de uma metodologia para definição das metas de continuidade e o cálculo das penalidades imputadas às concessionárias pelo não cumprimento das metas.

No SEB, a continuidade do fornecimento de energia elétrica é regulada com base nos dois indicadores coletivos apresentados a seguir:

$$DEC = \sum_{i=1}^n Ca(i) \cdot t(i) / Cs \quad (1)$$

$$FEC = \sum_{i=1}^n Ca(i) / Cs \quad (2)$$

onde n é o total de interrupções observadas durante o período de apuração, $Ca(i)$ é o número de unidades consumidoras atingidas na interrupção i , $t(i)$ é a duração (em horas) da interrupção i e Cs é o total de unidades consumidoras na área avaliada.

No cálculo destes indicadores consideram-se apenas as interrupções com durações superiores a 1 minuto. O período de apuração dos indicadores pode ser mensal, trimestral ou anual e eles podem ser computados para diferentes agregados de consumidores, desde alimentadores, conjuntos de unidades consumidoras, até regiões maiores como regionais de distribuição, municípios ou toda a área de concessão (Kagan *et al.*, 2005).

Conceitualmente, o nível ideal de continuidade deve refletir o equilíbrio entre os custos de fornecimento incorridos pela concessionária e os custos de interrupção incorridos pelos consumidores, minimizando o custo total para a sociedade. Em outras palavras, o nível ótimo de continuidade acontece quando os benefícios marginais da confiabilidade são iguais aos custos marginais para provê-la.

Os custos de fornecimento dependem do tipo da rede de distribuição e das características do mercado atendido. Por exemplo, em regiões com alta densidade de carga e sistemas de distribuição subterrâneos, os custos por consumidor são inferiores aos observados em regiões com mercados dispersos e atendidos por longos circuitos radiais.

Por sua vez, os custos de interrupção dependem basicamente do tipo do consumidor e variam não linearmente com a duração da interrupção (Allan & Silva, 1995). Para um consumidor residencial, a interrupção provoca a perda de conforto. No entanto, para um consumidor industrial ou comercial, a interrupção provoca perdas econômicas de diferentes magnitudes, em função do ramo de atividade, do período do ano e da duração e frequência das falhas no fornecimento de energia elétrica.

Para estabelecer as metas de continuidade com base no modelo conceitual tem-se que quantificar a relação entre os custos de fornecimento e a confiabilidade e avaliar os benefícios do nível de confiabilidade para os consumidores. No entanto, é pouco provável que o regulador tenha todas estas informações (Ajodhia, 2002).

Diante da enorme dificuldade do regulador obter as informações necessárias ao modelo conceitual, a ANEEL utiliza a regulação por comparação de desempenho (*yardstick*

competition) na definição das metas de continuidade. Esta abordagem foi proposta por Tanure (2000) e baseia-se no princípio de que conjuntos de unidades consumidoras com características semelhantes tenham os mesmos padrões de continuidade. Os *clusters* de conjuntos com características semelhantes podem ser identificados por algum algoritmo de análise de agrupamentos (Johnson & Wichern, 1998), por exemplo, o método *k-Means* (Tanure, 2000).

De acordo com o princípio de que conjuntos similares devem ter desempenhos semelhantes, as metas de continuidade são definidas para cada *cluster* a partir dos registros de DEC e FEC dos conjuntos classificados no *cluster*. Em um mesmo agrupamento podem ser classificados conjuntos atendidos pelo sistema interligado nacional (SIN) e conjuntos não conectados ao SIN (isolados). Devido às limitações técnicas no fornecimento de energia elétrica aos conjuntos isolados, as metas de continuidade para os conjuntos interligados são mais rigorosas que as metas estabelecidas para os conjuntos isolados. Assim, em cada *cluster*, os primeiros decis dos indicadores DEC e FEC definem as metas para os conjuntos interligados ao SIN, enquanto os valores medianos destes indicadores definem as metas para os conjuntos isolados (Pessanha *et al.*, 2004).

A adequação dos conjuntos dentro das respectivas metas de continuidade não deve ser imediata, pois isto poderia exigir grandes investimentos em curto período de tempo e comprometer o equilíbrio econômico-financeiro da concessão. Por esta razão, a ANEEL estabelece um período de duas revisões tarifárias (cerca de oito anos) para que as concessionárias ajustem os desempenhos dos seus conjuntos. Durante este período de tempo a ANEEL define metas intermediárias que decrescem anualmente. Assim, tem-se uma transição gradual dos atuais patamares até as metas estabelecidas pela análise comparativa.

A limitação e a imprecisão das informações disponíveis prejudicam a avaliação do grau de similaridade entre os conjuntos, contribuindo para a formação de *clusters* heterogêneos (Queiroz, 2002) e que não satisfazem a hipótese de comparabilidade dos desempenhos dos conjuntos classificados em um mesmo *cluster*.

Como conseqüência, as metas de continuidade podem ser incompatíveis com as condições apresentadas pelos conjuntos, resultando em probabilidades de transgressão das metas acima do que se pode considerar tecnicamente coerente. Silva Neto *et al.* (2003) observam a definição de metas acentuadamente distintas para conjuntos em áreas contíguas e na maioria dos casos atendidos por circuitos de uma mesma família e com características sociais, econômicas e geográficas semelhantes.

A implementação atual não considera a possibilidade de incluir na análise comparativa algumas variáveis consolidadas por distribuidora, tais como o custo operacional, o montante de investimentos, o nº de funcionários, o Índice ANEEL de Satisfação do Consumidor (IASC) e o mercado por classe de consumo.

As considerações anteriores abrem espaço para uma nova forma de implementar o modelo *yardstick competition* na definição das metas de continuidade. Neste artigo, propõe-se um procedimento em dois estágios: primeiro definem-se os valores máximos de DEC e FEC para cada concessionária, ou seja, as metas globais de continuidade, e em seguida, com base nas metas globais, definem-se os valores máximos de DEC e FEC dos conjuntos de uma mesma concessionária, ou seja, as metas locais de continuidade.

No primeiro estágio faz-se uma análise comparativa dos desempenhos entre as concessionárias, a partir da qual é produzida uma sinalização de quanto cada uma deve

melhorar globalmente os seus indicadores de continuidade em relação às demais distribuidoras. A comparação entre concessionárias aproveita o maior escopo das informações disponíveis e a maior capacidade de comparação por parte do agente regulador.

No segundo estágio comparam-se os desempenhos dos conjuntos em uma mesma distribuidora, visando à definição das respectivas metas locais coerentes com a meta global da concessionária.

3. Análise Envoltória de Dados

3.1 Modelos DEA clássicos

Admitindo as hipóteses de rendimentos constantes de escala e tecnologia convexa Charnes *et al.* (1978) propuseram o primeiro modelo DEA, conhecido como CRS (*Constant Return of Scale*). Neste modelo, a avaliação da eficiência é formulada como um problema de programação linear, onde as restrições representam o conjunto de possibilidades de produção (CPP) e a função objetivo expressa a máxima contração dos insumos (modelo orientado ao insumo) ou a máxima expansão do produto (modelo orientado ao produto). Posteriormente, Banker *et al.* (1984) adicionaram uma combinação linear convexa como restrição ao modelo CRS, criando o modelo VRS (*Variable Return of Scale*) que contempla a hipótese de rendimentos variáveis de escala. No modelo VRS, consideram-se tecnicamente eficientes as unidades avaliadas (*Decision Making Units – DMUs*) que utilizam o menor volume de algum insumo ou que produzem a maior quantidade de algum produto.

Tabela 1 – Modelos DEA/CRS com orientação ao produto

Formulação envelope	Formulação dos multiplicadores
$\text{eficiência DMU}_{j_0} = \text{Max}_{\theta, \lambda} \theta \quad (3)$ $\text{s.a. } X_{j_0} \geq \sum_{j=1}^N \lambda_j X_j$ $\theta Y_{j_0} \leq \sum_{j=1}^N \lambda_j Y_j$ $\lambda_j \geq 0 \quad \forall j = 1, N$	$\text{eficiência DMU}_{j_0} = \text{Min}_{u, v} \sum_{i=1}^S v_i \cdot x_{i, j_0} \quad (4)$ $\text{s.a. } \sum_{i=1}^m u_i y_{i, j_0} = 1$ $\sum_{i=1}^m u_i y_{ij} - \sum_{i=1}^s v_i x_{ij} \leq 0 \quad \forall j = 1, N$ $u_i \geq 0 \quad \forall i = 1, m$ $v_i \geq 0 \quad \forall i = 1, s$
$m+s$ restrições $N+1$ variáveis	$N+1$ restrições $m+s$ variáveis

Na Tabela 1 apresentam-se modelos DEA/CRS orientados ao produto, segundo as versões envelope e multiplicador, onde j_0 denota a DMU avaliada, N é o total de DMUs analisadas, $X_j \in R^s_+$ é o vetor com as quantidades dos s insumos e $Y_j \in R^m_+$ é o vetor com as quantidades dos m produtos da j -ésima DMU, $j=1, N$. Prova-se que a versão dos multiplicadores é o dual da versão envelope (Cooper *et al.*, 2000).

Por se tratarem de modelos orientados ao produto, nos modelos acima os índices de eficiência (θ) assumem valores maiores ou iguais à unidade. Denotando a solução ótima do

modelo na formulação envelope (3) por $(\theta^*, \lambda^*_1, \dots, \lambda^*_N)$, a DMU j_0 é eficiente se, e somente se, $\theta^*=1$ e as folgas são nulas em todas as restrições. Caso contrário, quando $\theta^*>1$ ou $\theta^*=1$, porém com folgas não nulas, a DMU j_0 é ineficiente. O conjunto de referência (*benchmarks*) da DMU j_0 é formado pelas DMUs associadas aos coeficientes $\lambda^*_j > 0$.

No modelo na versão dos multiplicadores (4), a DMU j_0 é considerada eficiente se, e somente se, na solução ótima a função objetivo assume um valor unitário e todos os elementos de u^* e v^* são positivos. Caso contrário, quando a função objetivo é maior que a unidade ou igual à unidade, porém com elementos nulos em u^* e v^* , a DMU j_0 é ineficiente. Neste caso, o conjunto de referência para a DMU j_0 é formado pelas DMUs associadas às restrições de desigualdade em (4) que se tornam ativas na solução ótima.

3.2 Modelo para alocação de recursos baseado em DEA

Proposto por Korhonen & Syrjänen (2001), o modelo resolve o problema de alocação de recursos, caracterizado por uma unidade central que deseja otimizar a alocação de recursos em suas distintas unidades produtivas com o objetivo de maximizar a produção. A introdução da DEA na alocação de recursos permite considerar o CPP e as relações entre os insumos e os produtos. No entanto, esta introdução não é imediata, pois na formulação original os modelos DEA não incorporam duas características do problema de alocação de recursos: as preferências do decisor e a análise simultânea de todas as DMUs.

Quando há mais de um objetivo, a alocação de recursos é um problema multicritério. Este problema não tem uma solução única, e Korhonen & Syrjänen (2001) incorporam as preferências do decisor por meio de um modelo de programação linear multiobjetivo e de um modelo computacional (*Pareto Race*) que permite ao decisor localizar a alocação mais conveniente. Ressalta-se que quando há apenas um objetivo, este problema pode ser resolvido por programação linear. A avaliação simultânea das DMUs é introduzida por meio da inclusão, em um único problema, das restrições do modelo DEA (versão envelope) de cada DMU.

A seguir, tem-se o modelo para alocação de recursos, baseado em DEA, onde se considera que uma unidade central deve alocar um montante adicional de insumos (R) entre suas N unidades produtivas que utilizam s insumos (X) na produção de m produtos (Y), com o objetivo de maximizar a produção total.

$$\text{Max}_{\Delta x, \Delta y, \lambda} \sum_{n=1}^N \begin{pmatrix} \Delta y_{1n} \\ \dots \\ \Delta y_{mn} \end{pmatrix}$$

s.a.

$$\text{DMU } l \quad y_{il} + \Delta y_{il} \leq \sum_{n=1}^N \lambda_{nl} \cdot y_{in} \quad \text{para } i=1, m \quad (5)$$

$$\text{DMU } l \quad x_{jl} + \Delta x_{jl} \geq \sum_{n=1}^N \lambda_{nl} \cdot x_{jn} \quad \text{para } j=1, s \quad (6)$$

...

$$DMU N \quad y_{iN} + \Delta y_{iN} \leq \sum_{n=1}^N \lambda_{nN} \cdot y_{in} \quad \text{para } i=I,m \quad (7)$$

$$DMU N \quad x_{jN} + \Delta x_{jN} \geq \sum_{n=1}^N \lambda_{nN} \cdot x_{jn} \quad \text{para } j=I,s \quad (8)$$

$$DMU 1 \quad \sum_{n=1}^N \lambda_{n1} = 1 \quad (9)$$

...

$$DMU N \quad \sum_{n=1}^N \lambda_{nN} = 1 \quad (10)$$

$$DMU 1 \quad \lambda_{n,1} \geq 0 \quad \text{para } n=I,N \quad (11)$$

...

$$DMU N \quad \lambda_{n,N} \geq 0 \quad \text{para } n=I,N \quad (12)$$

$$DMU 1 \quad \Delta x_{j,1} \geq \alpha_{j,1} x_{j,1} \quad \text{para } j=I,s \quad (13)$$

$$DMU 1 \quad \Delta x_{j,1} \leq \beta_{j,1} x_{j,1} \quad \text{para } j=I,s \quad (14)$$

...

$$DMU N \quad \Delta x_{j,N} \geq \alpha_{j,N} x_{j,N} \quad \text{para } j=I,s \quad (15)$$

$$DMU N \quad \Delta x_{j,N} \leq \beta_{j,N} x_{j,N} \quad \text{para } j=I,s \quad (16)$$

$$\Delta x_{j,1} + \dots + \Delta x_{j,N} \leq R_j \quad \text{para } j=I,s \quad (17)$$

Onde

- $\Delta x_{j,n}$ é o montante do j -ésimo insumo adicionado na n -ésima DMU;
- $\Delta y_{j,n}$ é o incremento do j -ésimo produto na n -ésima DMU;
- $\alpha_{j,n}$ e $\beta_{j,n}$ são parâmetros fixados pelo decisor com a finalidade de delimitar intervalos viáveis para a alocação de $\Delta x_{j,n}$ unidades adicionais do j -ésimo insumo na n -ésima DMU;
- R_j é montante do j -ésimo insumo a ser alocado entre as N DMUs.

Sem perda de generalidade, pode-se assumir que os insumos são os recursos a serem alocados e os produtos são os objetivos a serem maximizados. Naturalmente, o problema pode ser formulado de outra forma, onde os insumos são as variáveis a serem minimizadas.

As restrições (5) até (12) são as usuais de um modelo DEA/VRS. No entanto, neste modelo há um conjunto de restrições para cada DMU, com distintos coeficientes λ , incluídas simultaneamente em um único modelo.

As restrições (13) até (16) controlam os incrementos nos insumos. Estas restrições refletem as preferências e valores do decisor. A restrição (17) controla o incremento total de cada insumo, igualando-o ao total de recursos a serem alocados entre as N DMUs.

A alocação de recursos baseia-se nas práticas correntes e por isso também é importante considerar a existência de limitações às mudanças nas quantidades dos insumos e produtos

das DMUs. Tais limitações implicam em restrições adicionais ao CPP. Ao ignorar estas restrições, desconsideram-se as possíveis limitações ao processo de alocação de recursos e admite-se que uma DMU pode atingir qualquer ponto na fronteira eficiente.

Por meio de exemplos simples, com apenas um insumo e um produto (problema com um objetivo), Korhonen & Syrjänen (2001) descrevem duas hipóteses para as possibilidades de mudança nas quantidades dos insumos e produtos das DMUs:

- Mudança proporcional em todos os insumos e produtos.
- As mudanças não melhoram a eficiência das DMUs.

Na hipótese de mudança proporcional, adicionam-se as seguintes restrições ao CPP:

$$\Delta y_i \leq \delta_i y_i, \quad i=1, N \quad (18)$$

$$\Delta x_i \geq \delta_i x_i, \quad i=1, N \quad (19)$$

onde

$$\delta_i = \min \{ \Delta x_{ji} / x_{ji} \mid j=1, s; \quad i=1, N; \quad x_i + \Delta x_i \geq 0; \quad \alpha_i \leq \Delta x_i \leq \beta_i \} \quad (20)$$

Estas restrições orientam a alocação de recursos, de maneira que primeiro são alocados mais insumos na DMU com maior produtividade marginal, até que o respectivo limite superior seja atingido ou que alguma limitação imposta pelo CPP seja alcançada (se o CPP assume a hipótese de rendimentos variáveis de escala – VRS). O restante dos insumos é alocado na próxima DMU com maior produtividade marginal e assim sucessivamente.

Na segunda hipótese, as mudanças nas eficiências das DMUs são limitadas pelas seguintes restrições:

$$\theta_i (y_i + \Delta y_i) \leq \sum_{n=1}^N \lambda_{n,i} y_n, \quad i=1, N \quad (21)$$

onde θ_i ($\theta_i \geq 1$) é o índice de eficiência da i -ésima DMU, determinado por um modelo DEA convencional com orientação ao produto.

As restrições em (21) substituem as restrições (5) e (7) no modelo de alocação de recursos. Com estas restrições a alocação de recursos passa a depender da produtividade marginal na fronteira, como no caso anterior, e das ineficiências das DMUs.

4. Modelo para estabelecimento das metas globais

A especificação de um modelo DEA envolve três fases: a seleção das DMUs a serem comparadas, a escolha das variáveis insumos e produtos e a aplicação do modelo (Golany & Roll, 1989).

4.1 Seleção das DMUs comparáveis

Diante da heterogeneidade das concessionárias de distribuição que operam no SEB e visando obter *benchmarks* compatíveis com a realidade de cada concessionária, preferiu-se formar agrupamentos de concessionárias semelhantes e em cada agrupamento aplicar o modelo

DEA. Os *clusters* de concessionárias foram identificados com o auxílio de uma Rede Neural Mapa Auto-organizável (Jain *et al.*, 1997). Na construção do mapa, caracterizou-se cada concessionária por oito atributos referentes ao tamanho, concentração e composição do mercado, conforme apresentado na Tabela 2. Os dados utilizados referem-se ao ano de 2001 e no treinamento da rede neural tomaram-se os valores padronizados dos logaritmos das variáveis.

Tabela 2 – Variáveis consideradas na classificação das concessionárias de distribuição.

Dimensões	Variáveis
Composição do mercado	Participação da classe residencial no mercado da concessionária (%R) Participação da classe comercial no mercado da concessionária (%C) Participação da classe industrial no mercado da concessionária (%I)
Concentração do mercado	Tamanho da rede de distribuição (km) Carregamento da rede (MWh/km) Consumo médio residencial (CMR)
Tamanho do mercado	Nº de unidades consumidoras (NC) Energia elétrica distribuída (MWh)

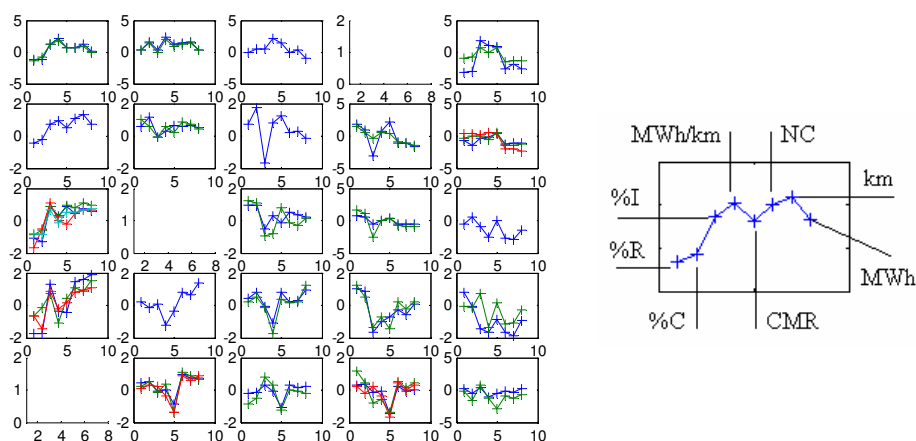


Figura 1 – Mapa de Kohonen com os perfis das concessionárias.

Após 20.000 iterações, o Matlab concluiu o treinamento não supervisionado da rede neural e as 45 concessionárias analisadas foram organizadas no mapa 5x5 (25 neurônios) da Figura 1, onde são apresentados os perfis das distribuidoras (cada perfil representa uma distribuidora). Por ser um mapa topologicamente ordenado, as distribuidoras com perfis semelhantes ocupam o mesmo neurônio ou ocupam neurônios vizinhos. Os nomes das distribuidoras em cada neurônio são apresentados na Figura 2. Em seguida, por meio de uma análise pictórica dos perfis apresentados na Figura 1, os neurônios com perfis semelhantes foram agrupados em três *clusters* A, B e C, cujas composições estão indicadas na Figura 2.

Bandeirante Piratininga	Eletropaulo Light	Manaus		Urussanga Iguaçu
CPFL	CEEE Ampla	Ceb	Boa Vista Cenf	CPEE Eletrocar Panambi
Aes-Sul Celesc Escelsa RGE		Celpe Ceron	Caiuá Eletroacre	Santa Maria
Cemig Copel Elektro	Celg	Cemat Energisul	Celtins Cepisa	Chesp Poços
	Celpe Coelba Coelce	Cosern Energipe	Ceal Cemar Saelpa	Cat-Leo Sulgipe

Figura 2 – Composição dos *clusters* de concessionárias.

No agrupamento A foram classificadas as principais distribuidoras das regiões Sul e Sudeste e as distribuidoras com as maiores participações da classe industrial. No agrupamento B encontram-se as principais concessionárias da região Nordeste e as maiores concessionárias das regiões Norte e Centro-Oeste. Por fim, o agrupamento C é formado por concessionárias de menor porte de todas as regiões do Brasil.

4.2 Variáveis insumos e produtos

As variáveis consideradas na formulação do modelo DEA são os indicadores DEC e FEC e suas variáveis explicativas, identificadas por meio de uma análise exploratória: participação da classe industrial no mercado da concessionária (%IND), consumo por consumidor (CPC) e carregamento da rede (MWh/km). Estas variáveis refletem condições de atendimento sobre as quais as concessionárias não têm controle.

Os indicadores DEC e FEC, embora estejam associados com interrupções intempestivas e não sejam diretamente controláveis pelas concessionárias, dependem substancialmente das práticas adotadas no planejamento, na operação e na gestão da rede de distribuição. Assim, pode-se admitir que as variáveis %IND, CPC e MWh/km são os insumos, a partir dos quais uma concessionária deve buscar o máximo produto, neste caso, o maior nível de continuidade possível. Portanto, o modelo DEA proposto tem orientação ao produto.

Os maiores custos de interrupção do fornecimento são incorridos pelos consumidores da classe industrial. Para estes consumidores a confiabilidade do fornecimento é um aspecto bastante valorizado, o que explica a associação entre os melhores níveis de continuidade (menores DEC e FEC) e os mercados com as maiores participações da classe industrial.

O CPC é um bom indicador da intensidade de uso da energia elétrica. Quanto mais intensivos são os consumidores, maiores são os danos causados pelas interrupções no fornecimento, o que implica em uma maior demanda por confiabilidade no fornecimento de energia elétrica.

Por fim, um elevado nível de carregamento reflete uma maior concentração espacial do mercado. Em mercados mais concentrados os custos por unidade consumidora são menores e, em geral, o atendimento é realizado por redes tecnologicamente superiores e com melhores níveis de confiabilidade.

Utilizando-se apenas estas cinco variáveis (dois produtos e três insumos) obtém-se um modelo DEA com bom poder discriminante, pois em cada *cluster* (Figura 2) o n^o de concessionárias é igual ao triplo do n^o de variáveis, o mínimo recomendado (Cooper *et al.*, 2000).

Os modelos DEA admitem que a tecnologia é monotônica e convexa, i.e., um aumento na quantidade de algum insumo não deve resultar em reduções nas quantidades dos produtos. Ressalta-se que a melhoria da continuidade implica em minimizar os níveis médios dos indicadores DEC e FEC. Portanto, estes indicadores são produtos indesejáveis, i.e., produtos do tipo quanto menos melhor. Em tais situações, Seiford & Zhu (2000) recomendam a transformação destes produtos por alguma função monótona decrescente, tal como, a inversão ou translação.

No modelo proposto preferiu-se utilizar as razões $DEC^* = Max(DEC)/DEC$ e $FEC^* = Max(FEC)/FEC$ que são similares à inversão, porém indicam quantas vezes o desempenho de uma concessionária é melhor que o desempenho da concessionária com o pior nível de continuidade. As duas razões são maiores que a unidade e assumem um valor unitário apenas para a concessionária com o pior nível de continuidade. Na Tabela 3, as correlações positivas entre os insumos e os produtos indicam que a propriedade de tecnologia monotônica está presente nas variáveis selecionadas.

Tabela 3 – Correlações entre insumos e produtos.

	Produtos		Insumos		
	DEC*	FEC*	CPC	% IND	MWh/km
DEC*	1				
FEC*	0,8650	1			
CPC	0,3063	0,3442	1		
% IND	0,3060	0,4356	0,6878	1	
MWh/km	0,2815	0,3864	0,5851	0,2660	1

Outra possibilidade seria considerar o DEC e o FEC como insumos e as variáveis %IND, CPC e MWh/km como produtos. Esta possibilidade foi descartada, pois as correlações entre os indicadores de continuidade e as demais variáveis são negativas e, portanto, não atendem a hipótese de tecnologia monotônica assumida nos modelos DEA. Esta alternativa também não representa corretamente o processo produtivo (Seiford & Zhu, 2000), pois os indicadores de continuidade são resultados da gestão da concessionária.

Visando atenuar os efeitos de condições atípicas e da natureza aleatória dos indicadores de continuidade sobre as metas, os produtos do modelo DEA foram definidos com base nos valores médios de DEC e FEC apurados no período de três anos (2000/2002) (Tersztzyanszky, 2003).

4.3 Restrições aos pesos

Em sua formulação original, o modelo DEA (versão dos multiplicadores) permite total flexibilidade na seleção dos pesos e impõe apenas restrições de não negatividade e de viabilidade sob a ótica das DMUs. Como consequência, o modelo pode atribuir ponderações maiores para variáveis de menor importância ou ignorar variáveis relevantes, atribuindo-lhes pesos nulos. Assim, uma DMU considerada *a priori* como ineficiente, pode ser classificada como eficiente pelo modelo DEA.

Para contornar esta deficiência, informações adicionais devem ser incorporadas ao modelo DEA, por exemplo, a importância relativa das variáveis insumos e produtos. A introdução destas informações no modelo DEA pode ser efetuada pela adição de um conjunto de restrições aos pesos das variáveis, conforme ilustrado em Lins & Meza (2000).

No modelo DEA para estabelecimento das metas globais, cada variável produto associa-se com um dos aspectos da continuidade do fornecimento: duração e frequência das interrupções. Considerando que estes dois aspectos são igualmente importantes, adiciona-se a seguinte restrição ao produto virtual, de tal forma que o modelo DEA não atribua pesos pequenos ou muito elevados para apenas um dos aspectos da continuidade:

$$0,3 \leq u_1 \sum_{i=1}^N \frac{DEC_i^*}{N} \left/ \left(u_1 \sum_{i=1}^N \frac{DEC_i^*}{N} + u_2 \sum_{i=1}^N \frac{FEC_i^*}{N} \right) \right. \leq 0,7 \quad (22)$$

onde N é o número de DMUs analisadas, neste caso $N=15$ em todos os agrupamentos de concessionárias.

Avellar *et al.* (2004) utilizam uma restrição semelhante em um modelo DEA com dois produtos igualmente importantes: a universalização do atendimento e a qualidade do serviço prestado por operadoras de telefonia fixa.

Adicionaram-se também as seguintes restrições aos insumos virtuais:

$$0,05 \leq v_1 \sum_{i=1}^N \frac{CPC_i}{N} \left/ \left(v_1 \sum_{i=1}^N \frac{CPC_i}{N} + v_2 \sum_{i=1}^N \frac{\%IND_i}{N} + v_3 \sum_{i=1}^N \frac{MWh/km_i}{N} \right) \right. \leq 0,6 \quad (23)$$

$$0,05 \leq v_2 \sum_{i=1}^N \frac{\%IND_i}{N} \left/ \left(v_1 \sum_{i=1}^N \frac{CPC_i}{N} + v_2 \sum_{i=1}^N \frac{\%IND_i}{N} + v_3 \sum_{i=1}^N \frac{MWh/km_i}{N} \right) \right. \leq 0,6 \quad (24)$$

$$0,05 \leq v_3 \sum_{i=1}^N \frac{MWh/km_i}{N} \left/ \left(v_1 \sum_{i=1}^N \frac{CPC_i}{N} + v_2 \sum_{i=1}^N \frac{\%IND_i}{N} + v_3 \sum_{i=1}^N \frac{MWh/km_i}{N} \right) \right. \leq 0,6 \quad (25)$$

4.4 Estabelecendo as metas globais de continuidade

Denotando por θ a medida de eficiência radial da concessionária avaliada e por DEC_0 e FEC_0 as respectivas médias dos indicadores de continuidade no período 2000/2002, obtêm-se as metas globais de continuidade com base nas seguintes fórmulas:

$$Meta\ DEC = DEC_0 / \theta \quad Meta\ FEC = FEC_0 / \theta \quad (26)$$

Quanto ao tipo do rendimento de escala a ser adotado na definição das metas de continuidade, o rendimento constante de escala (CRS) parece ser a escolha correta, pois as

concessionárias em um mesmo *cluster* são razoavelmente homogêneas quanto ao porte. Além disso, nos modelos com rendimentos variáveis de escala (VRS) as concessionárias que utilizam as menores quantidades de algum insumo ou que produzem as maiores quantidades de algum produto são classificadas como eficientes. Assim, em um modelo VRS, a concessionária com o menor nível de carregamento (MWh/km), ou com a menor participação do consumo industrial (%IND) ou ainda com o menor consumo por consumidor (CPC) é considerada eficiente e, portanto, não seria alvo de uma redução nas metas de continuidade, mesmo com valores elevados para os indicadores DEC e FEC.

5. Modelo para estabelecimento das metas locais

Ao estabelecer uma meta global de continuidade, criam-se incentivos para que uma concessionária promova ações no sentido de melhorar, em termos médios, a continuidade do fornecimento em toda a sua área de concessão. No entanto, isto não implica necessariamente em uma melhoria significativa do desempenho em todos os conjuntos de unidades consumidoras. Portanto, é importante haver uma interferência do regulador no gerenciamento de como será implementada a melhoria da continuidade dentro da área de concessão de uma distribuidora, de forma a evitar que esta melhoria se concentre apenas em uma região da área de concessão.

O regulador poderia induzir a concessionária no sentido de melhorar o desempenho em áreas onde o atendimento é atualmente precário e, ao mesmo tempo, nas localidades onde as metas já se encontram em níveis bastante reduzidos, o regulador poderia optar entre manter ou relaxar ligeiramente as metas vigentes.

O incremento global na disponibilidade do fornecimento pode ser considerado como um recurso a ser repartido entre os conjuntos de unidades consumidoras. Esta percepção motivou a definição das metas locais por meio de uma adaptação do modelo para alocação de recursos formulado por Korhonen & Syrjänen (2001).

No modelo DEA clássico resolve-se um problema de programação linear (PPL) para cada DMU. Na versão envelope e com rendimentos variáveis de escala, cada PPL tem $m+s+1$ restrições, onde s é o número de variáveis insumos e m o número de variáveis produtos.

No modelo para alocação de recursos baseado em DEA, consideram-se simultaneamente todas as restrições dos modelos DEA (na versão envelope) das DMUs analisadas e entre as quais são alocados os recursos. Considerando-se N DMUs, o modelo para alocação de recursos tem pelo menos $N(m+s+1)$ restrições e $N \times N$ coeficientes λ a serem determinados. Portanto, se N for grande e cada DMU for caracterizada por muitos insumos e produtos, aumenta-se significativamente a dimensão do problema. Em princípio, os conjuntos de unidades consumidoras são as DMUs. No entanto, existem distribuidoras com um número expressivo de conjuntos. Nestes casos, a dimensão do problema para definição das metas locais seria bastante elevada. Para evitar eventuais problemas de dimensionalidade e visando facilitar a interpretação dos resultados, preferiu-se considerar as regionais de distribuição como sendo as DMUs entre as quais são alocados os incrementos de continuidade do fornecimento. Como ilustrado na Figura 3, uma área de concessão (Figura 3-a) divide-se em regionais (Figura 3-b), sendo que cada regional divide-se em conjuntos de unidades consumidoras (Figura 3-c). Naturalmente, outros agrupamentos de conjuntos, diferentes das regionais, poderiam ser propostos.

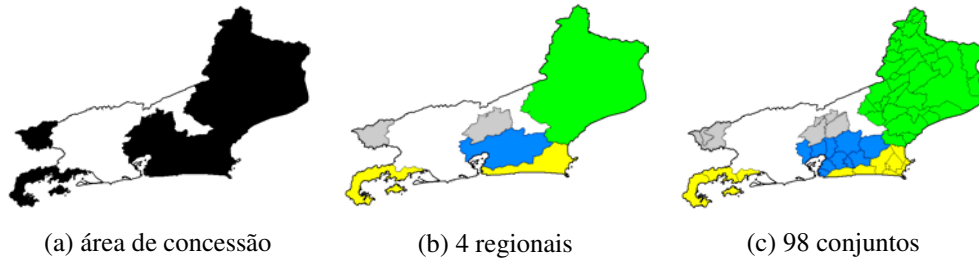


Figura 3 – Divisões geográficas da área de concessão da Ampla.

A seguir, tem-se a formulação do modelo para definição das metas locais do DEC, cujo objetivo consiste em maximizar a soma dos ganhos de disponibilidade nas K regionais de uma distribuidora:

$$\text{Max}_{\lambda, \Delta^-, \Delta^+, \delta^-, \delta^+} \sum_{j=1}^K (\Delta_j^- - \Delta_j^+) - \sum_{j=1}^K \sum_{w=1}^{M_j} \pi_{wj} (\delta_{wj}^+ + \delta_{wj}^-)$$

s.a.

$$k_1 - \phi \cdot (DEC_j + \Delta_j^+ - \Delta_j^-) \leq \sum_{i=1}^K \lambda_{ij} \cdot (k_1 - DEC_i) \quad j=1, K \quad (27)$$

$$PINST_j \geq \sum_{i=1}^K \lambda_{ij} \cdot PINST_i \quad j=1, K \quad (28)$$

$$\sum_{j=1}^K (DEC_j + \Delta_j^+ - \Delta_j^-) \cdot NC_j / NTC \geq \text{Meta_global_DEC} \quad (29)$$

$$\sum_{w=1}^{M_j} (dec_{wj} + \delta_{wj}^+ - \delta_{wj}^-) \cdot nc_{wj} / NC_j = DEC_j + \Delta_j^+ - \Delta_j^- \quad j=1, K \quad (30)$$

$$dec_{wj} + \delta_{wj}^+ - \delta_{wj}^- \geq \alpha_{wj} \quad j=1, K \text{ e } w=1, M_j \quad (31)$$

$$dec_{wj} + \delta_{wj}^+ - \delta_{wj}^- \leq \beta_{wj} \quad j=1, K \text{ e } w=1, M_j \quad (32)$$

$$\Delta_j^+ \geq 0, \Delta_j^- \geq 0 \quad j=1, K \quad (33)$$

$$\delta_{wj}^+ \geq 0, \delta_{wj}^- \geq 0 \quad j=1, K \quad (34)$$

$$\sum_{i=1}^K \lambda_{ij} = 1 \quad j=1, K \quad (35)$$

$$\lambda_{ij} \geq 0 \quad i=1, K \text{ e } j=1, K \quad (36)$$

onde:

- k_l é uma constante utilizada na translação do DEC;
- Δ_j^- é a redução no DEC da regional j ;
- Δ_j^+ é o aumento no DEC da regional j ;
- δ_{wj}^- é a redução no DEC do conjunto w da regional j ;
- δ_{wj}^+ é o aumento no DEC do conjunto w da regional j ;
- K é o nº de regionais;
- M_j é o total de conjuntos na regional j ;
- NTC é o nº de unidades consumidoras atendidas pela concessionária;
- NC_j é o nº de unidades consumidoras na regional j ;
- nc_{wj} é o nº de unidades consumidoras no conjunto w da regional j ;
- $PINST_j$ é a potência nominal instalada (kVA) na regional j ;
- DEC_j é o valor inicial do DEC da regional j ;
- dec_{wj} é o valor inicial do DEC do conjunto w da regional j ;
- α_{wj} e β_{wj} são parâmetros definidos *a priori* com a finalidade de limitar os possíveis valores da meta de DEC do conjunto w da regional j ;
- ϕ ($\phi \geq 1$) é o índice de eficiência da concessionária, determinado pelo modelo DEA que estabelece as metas globais de continuidade;
- π_{wj} ponderação atribuída pelo regulador aos desvios δ_{wj}^- e δ_{wj}^+ no conjunto w da regional j .

Na função objetivo do modelo acima, a maximização da soma dos ganhos de disponibilidade nas K regionais é penalizada pelos desvios entre as metas locais e os valores iniciais dec_{wj} . A penalização é expressa pela parcela com as ponderações escolhidas *a priori* pelo decisor (π_{wj}).

As restrições (27), (28), (35) e (36) são as usuais de um modelo DEA-VRS. No entanto, observe que para cada DMU j ($\forall j=1, K$ regionais) há um vetor $(\lambda_{1j}, \lambda_{2j}, \dots, \lambda_{Kj})$ associado.

O desempenho de um conjunto depende de uma série de fatores, entre os quais destaca-se a potência instalada. Quanto maior a potência, melhor tende a ser o nível de continuidade. Assim, no modelo proposto, cada DMU é caracterizada por um insumo, a potência instalada na regional, e um produto, a continuidade do fornecimento, dada pela translação do DEC. O modelo para definição das metas de FEC é exatamente o mesmo, devendo-se substituir o DEC pelo FEC e a constante $k1$ por $k2$. A escolha da hipótese de rendimento variável de escala (VRS) deve-se a restrição (35). Esta restrição torna as metas invariantes em relação às constantes $k1$ e $k2$, utilizadas na translação dos indicadores de continuidade.

A lista de variáveis insumos pode ser aumentada e incluir outras características dos conjuntos, tais como o mercado atendido, o consumo médio, a área, o comprimento das redes de distribuição e o número de unidades consumidoras.

A restrição (29) relaciona a meta global da concessionária com as metas das K regionais, enquanto a restrição (30) relaciona a meta de cada uma das K regionais com as metas locais dos seus respectivos conjuntos, sendo estas últimas restritas pelas desigualdades (31) e (32), onde os parâmetros α e β são definidos pelo agente regulador, permitindo que ele tenha um controle sobre as metas locais dos conjuntos. A desigualdade (29) indica que a melhoria da continuidade nas diversas regionais é limitada pela meta global estabelecida para a concessionária.

Em resumo, o modelo para definição das metas locais implementa uma análise comparativa dos desempenhos das regionais, onde se considera o *tradeoff* entre a potência instalada e a continuidade do fornecimento. A partir desta análise comparativa, definem-se metas de continuidade para as regionais ($DEC_j + \Delta_j^+ - \Delta_j^-$, $j=1, K$), em conformidade com a meta global da concessionária, e metas locais ($dec_{w_j} + \delta_{w_j}^+ - \delta_{w_j}^-$) para os seus respectivos conjuntos w_j .

6. Resultados

A aplicação da metodologia proposta é ilustrada por dois exemplos, onde definem-se as metas de continuidade para os conjuntos da Light e da Ampla, as principais concessionárias de distribuição que atendem o Estado do Rio de Janeiro.

Na Tabela 4 são apresentadas as metas globais de continuidade para as concessionárias classificadas no agrupamento A (Figura 2), juntamente com os valores médios de DEC e FEC no período 2000/2002, considerados neste artigo como sendo os valores iniciais das metas de continuidade.

O modelo CRS identificou quatro concessionárias eficientes: Cemig, CPFL, Elektro e Light. Nestas concessionárias os indicadores globais de continuidade já se encontram em níveis adequados. Por sua vez, o modelo VRS identificou mais três concessionárias eficientes: Ampla, CEEE e Copel. A Ampla foi considerada eficiente, pois apresenta a menor participação da classe industrial entre as empresas do *cluster* A. A Copel foi classificada como eficiente, pois possui o menor nível de carregamento (MWh/km). Por fim, a CEEE apresenta o menor consumo por consumidor.

Tabela 4 – Metas globais de continuidade para as concessionárias do *cluster* A.

	θ		DEC (horas por ano)			FEC (interrupções por ano)		
	CRS	VRS	Meta CRS	Meta VRS	Valor inicial	Meta CRS	Meta VRS	Valor inicial
AES-Sul	2,55	2,55	8,44	8,44	21,54	7,03	7,03	17,94
Ampla	1,96	1,00	10,01	19,64	19,64	10,51	20,62	20,62
Bandeirante	2,53	1,75	4,33	6,28	10,97	4,04	5,85	10,23
CEEE	2,05	1,00	11,29	23,17	23,17	10,14	20,79	20,79
Celesc	2,35	2,35	8,96	8,96	21,03	7,34	7,34	17,23
Cemig	1,00	1,00	11,51	11,51	11,51	6,91	6,91	6,91
Copel	1,19	1,00	12,05	14,38	14,38	11,62	13,87	13,87
CPFL	1,00	1,00	6,36	6,36	6,36	5,65	5,65	5,65
Elektro	1,00	1,00	10,46	10,46	10,46	8,31	8,31	8,31
Eletropaulo	1,57	1,55	7,30	7,37	11,43	5,46	5,51	8,54
Escelsa	1,52	1,51	9,04	9,11	13,77	7,57	7,63	11,53
Light	1,00	1,00	8,00	8,00	8,00	6,56	6,56	6,56
Manaus	2,46	2,25	6,18	6,76	15,22	5,02	5,50	12,38
Piratininga	1,86	1,31	5,49	7,84	10,24	3,63	5,19	6,77
RGE	1,90	1,62	10,65	12,48	20,26	9,01	10,55	17,13

Tabela 5 – Histórico do DEC.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	Variação 1997/2004	Variação 2001/2004
AES-Sul	23,13	17,53	18,26	24,45	20,42	19,75	18,94	14,21	-39%	-30%
Ampla	47,96	31,15	25,64	16,67	17,95	24,3	22,21	19,47	-59%	8%
Bandeirante		16,29	13,49	9,63	10,89	12,4	8,2	6,53	-60%	-40%
CEEE	26,94	24,99	27,19	22,71	24,76	22,04	20,86	16,87	-37%	-32%
Celesc	29,71	30,86	25,38	21,95	20,93	20,2	23,74	18,28	-38%	-13%
Cemig	12,89	11,58	9,98	10,15	11,37	13,01	10,74	10,93	-15%	-4%
Copel	15,4	13,33	12,4	13,76	13,05	16,32	18,9	14,04	-9%	8%
CPFL	8,63	8,54	7,69	6,84	5,82	6,43	5,35	5,34	-38%	-8%
Elektro	9,08	11,01	11,99	9,86	9,56	11,97	9,82	9,88	9%	3%
Eletropaulo	17,70	19,13	20,29	11,87	8,28	14,13	8,20	8,92	-50%	8%
Escelsa	22,14	17,90	18,69	13,86	12,91	14,53	10,68	11,44	-48%	-11%
Light	16,60	15,14	10,44	6,89	7,06	10,05	8,74	8,30	-50%	18%
Manaus		31,98	35,19	36,00	19,34	15,82	15,82	28,43	-11%	47%
Piratininga						10,24	6,52	6,85	-33%	-33%
RGE	30,00	22,24	17,15	15,95	20,08	24,74	25,54	23,87	-20%	19%

Fonte: Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE).

Tabela 6 – Histórico do FEC.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	Variação 1997/2004	Variação 2001/2004
AES-Sul	27,22	19,98	17,11	18,59	18,85	16,38	13,27	10,57	-61%	-44%
Ampla	40,89	29,79	25,32	21,47	20,42	19,96	17,03	14,15	-65%	-31%
Bandeirante		13,83	11,43	9,39	12,82	8,47	6,47	5,48	-60%	-57%
CEEE	29,67	26,17	31,86	19,69	22,28	20,41	18,98	14,32	-52%	-36%
Celesc	19,25	19,10	17,09	17,9	17,08	16,71	15,67	13,48	-30%	-21%
Cemig	8,90	7,88	6,98	6,55	6,85	7,34	6,42	6,58	-26%	-4%
Copel	17,07	14,47	13,37	13,44	12,46	15,70	16,55	14,19	-17%	14%
CPFL	6,53	7,15	7,84	5,73	5,21	6,00	5,09	5,00	-23%	-4%
Elektro	7,28	8,94	9,55	8,15	7,87	8,90	7,69	7,21	-1%	-8%
Eletropaulo	11,93	10,72	11,26	9,14	7,18	9,30	6,61	6,14	-49%	-14%
Escelsa	16,86	15,34	14,34	12,63	11,02	10,94	8,77	9,67	-43%	-12%
Light	14,69	14,37	9,83	6,66	6,10	6,93	6,22	6,35	-57%	4%
Manaus		24,00	38,96	35,45	21,52	18,49	16,37	26,86	12%	25%
Piratininga						6,77	5,06	5,65	-17%	-17%
RGE	29,62	21,09	18,25	13,80	16,98	20,60	15,46	15,04	-49%	-11%

Fonte: Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE).

Embora as metas sejam revistas a cada revisão tarifária, a ANEEL concede um prazo de duas revisões tarifárias, cerca de oito anos, para que as concessionárias ajustem seus conjuntos às metas de continuidade. Durante este período, as metas decaem gradualmente até atingirem o valor desejado no último ano. Assim, evita-se comprometer o equilíbrio econômico-financeiro da concessão.

Nesta perspectiva, as metas propostas pelo modelo DEA parecem razoáveis, pois os níveis de redução propostos assemelham-se com as variações observadas nos históricos de DEC e FEC das concessionárias, conforme ilustrado nas Tabelas 5 e 6, onde as áreas em cinza indicam as concessionárias que em 2004 (último ano do histórico) ultrapassaram as metas definidas pelo modelo DEA/CRS. Coincidentemente, estas são as concessionárias eficientes.

Tabela 7 – Conjuntos de referência (*peer set*) das concessionárias do cluster A.

Conjuntos de referência e respectivos coeficientes (λ) nos modelos CRS e VRS							
	Ampla	Ceee	Cemig	Copel	CPFL	Elektro	Light
AES-Sul					0,3349 ^{CRS} 0,3796 ^{VRS}	0,6887 ^{CRS} 0,6204 ^{VRS}	
Ampla	1^{VRS}				0,6081^{CRS}		
Bandeirante					1,4488 ^{CRS} 1,0000 ^{VRS}		
CEEE		1 ^{VRS}			0,5616 ^{CRS}		
Celesc					0,2244 ^{CRS} 0,2719 ^{VRS}	0,8007 ^{CRS} 0,7281 ^{VRS}	
Cemig			1 ^{CRS, VRS}				
Copel				1 ^{VRS}	0,1929 ^{CRS}	0,5150 ^{CRS}	
CPFL					1 ^{CRS, VRS}		
Elektro						1 ^{CRS, VRS}	
Eletropaulo					0,1939 ^{CRS} 0,8367 ^{VRS}		0,9395 ^{CRS} 0,1633 ^{VRS}
Escelsa					0,0798 ^{CRS} 0,2212 ^{VRS}	1,0121 ^{CRS} 0,7788 ^{VRS}	
Light							1^{CRS, VRS}
Manaus					0,2513 ^{CRS} 1,0000 ^{VRS}		1,0037 ^{CRS}
Piratininga					1,3884 ^{CRS} 1,0000 ^{VRS}		0,0473 ^{CRS}
RGE		0,2465 ^{VRS}		0,1215 ^{VRS}	0,3460 ^{CRS}	0,4132 ^{CRS} 0,6319 ^{VRS}	

Na Tabela 7 são apresentados os conjuntos de referência das concessionárias. Comparando-se a Tabela 7 com o mapa da Figura 2, observa-se que os conjuntos de referência ocupam regiões vizinhas às respectivas concessionárias. Esta proximidade indica que as concessionárias são comparáveis aos seus conjuntos de referência e, portanto, os *benchmarks* identificados são plausíveis, assegurando a qualidade dos resultados obtidos.

6.1 Estabelecendo as metas para os conjuntos da Light

Em 2001, a área de concessão da Light estava dividida em 70 conjuntos, agrupados em cinco regiões: Não-urbano, Favelas, Cidade do Rio, Baixada Fluminense e Sul Fluminense, conforme ilustrado na Tabela 8, onde são apresentados os indicadores DEC e FEC, a potência instalada em MVA e o nº de consumidores em cada região.

Tabela 8 – DEC, FEC e atributos das cinco regiões atendidas pela Light em 2001.

Região	Total de conjuntos	DEC	FEC	Potência instalada (MVA)	Nº de consumidores
Não-urbano	11	17,43	14,57	458	138.702
Favelas	12	12,54	6,54	181	139.563
Rio	27	5,46	5,00	7.344	2.038.859
Baixada	10	10,34	8,86	1.758	837.569
Sul	10	4,67	5,88	1.504	243.529

Comparando-se os valores médios do DEC e do FEC nas regiões atendidas pela Light, fica evidente que o atendimento nos conjuntos não-urbanos é bastante precário em relação às demais regiões. Os conjuntos em Favelas e na Baixada Fluminense também apresentam desempenhos precários quando comparados aos conjuntos na Cidade do Rio e no Sul Fluminense. No entanto, observa-se que nas favelas, todas na Cidade do Rio de Janeiro, o FEC é inferior ao da Baixada Fluminense. Esta diferença deve-se ao fato dos conjuntos em favelas se beneficiarem da maior confiabilidade das redes que atendem os conjuntos na Cidade do Rio.

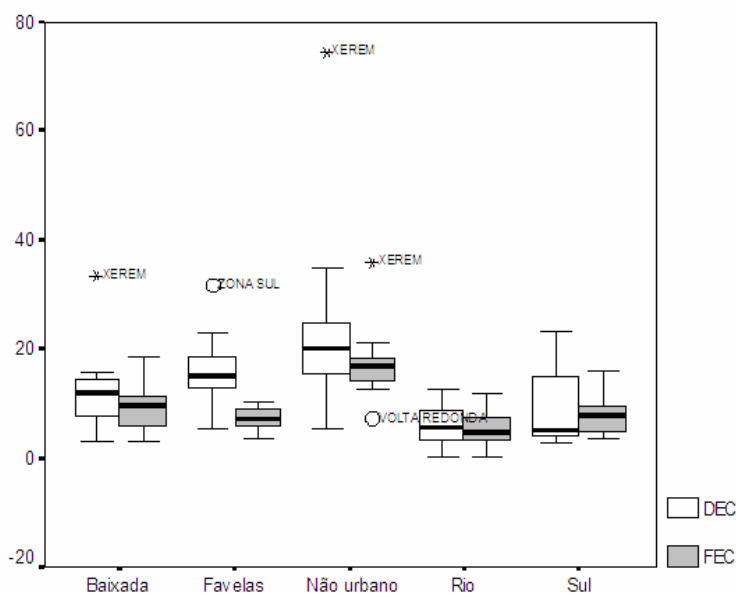


Figura 4 – Box-plot dos indicadores DEC e FEC dos conjuntos da Light.

Na Figura 4, os *box-plots* dos indicadores DEC e FEC evidenciam o atendimento inferior na região não-urbana (maiores indicadores de continuidade) e o comportamento diferenciado entre o DEC e o FEC nos conjuntos localizados em favelas, caracterizado pelo reduzido nº de interrupções, porém com um elevado tempo para o restabelecimento do fornecimento de energia elétrica. Destaca-se também o atendimento bastante precário em Xerém, um distrito do Município de Duque de Caxias, na Baixada Fluminense.

A aplicação do modelo para estabelecimento das metas locais de continuidade requer a definição prévia dos limites inferiores e superiores das restrições (31) e (32), α_{vj} e β_{vj} , respectivamente. Estes limites definem intervalos para os possíveis valores assumidos pelas metas de continuidade dos conjuntos.

Conforme ilustram os resultados da Tabela 4, o modelo DEA para estabelecimento das metas globais classifica a Light como eficiente ($\theta=1$). Neste caso, a meta global de continuidade é a média dos valores observados no período 2000/2002 (DEC_0 e FEC_0 nas fórmulas em 26). Assim, na fixação dos limites das restrições (31) e (32), tomou-se como referência os intervalos definidos pelas estatísticas de posição (decis, percentis, quartis) das distribuições de DEC e FEC dos conjuntos localizados em uma mesma região. A seguir, nas Tabelas 9 e 10 são apresentadas, respectivamente, as estatísticas de posição das distribuições de DEC e FEC em cada região. A escolha do intervalo mais adequado é efetuada com base nos desempenhos observados e nas características dos conjuntos.

Tabela 9 – Estatísticas de posição das distribuições de DEC dos conjuntos da Light.

	Não urbano	Favelas	Rio	Baixada	Sul
Cerca superior	38,3	23,9	18,6	21,9	26,7
3º quartil (Q3)	24,5	17,4	9,4	13,9	13,2
Mediana (M)	19,9	14,9	5,7	12,0	5,1
1º quartil (Q1)	15,3	13,1	3,3	8,6	4,3
Cerca inferior	1,5	6,7	-5,9	0,7	-9,2
Primeiro decil (D1)	12,4	11,5	1,3	4,1	3,1

Tabela 10 – Estatísticas de posição das distribuições de FEC dos conjuntos da Light.

	Não urbano	Favelas	Rio	Baixada	Sul
Cerca superior	24,4	12,9	14,3	18,4	15,9
3º quartil (Q3)	18,2	8,8	7,7	11,1	9,4
Mediana (M)	16,7	7,1	4,8	9,4	7,6
1º quartil (Q1)	14,1	6,1	3,2	6,3	5,1
Cerca inferior	8,0	2,0	-3,5	-1,0	-1,3
Primeiro decil (D1)	12,5	4,6	10,8	5,6	4,1

A cerca superior é definida como sendo o terceiro quartil (Q3) mais 1,5 vezes a distância interquartilica (Q3-Q1). De forma semelhante, define-se a cerca inferior como sendo o primeiro quartil (Q1) menos 1,5 vezes a distância interquartilica (Murteira, 1993). Estas cercas auxiliam na identificação dos conjuntos com desempenhos atípicos, como por exemplo, os conjuntos Xerém e Volta Redonda, indicados na Figura 4. Com relação ao sistema de

pesos (π_{wj}) na função objetivo do modelo para estabelecimento das metas locais, adotou-se o seguinte esquema em função dos totais de unidades consumidoras (nc_{wj}) nos conjuntos:

Tabela 11 – Sistema de pesos.

$\pi = 0,001$	se $nc \leq 7.500$
$\pi = 0,25$	se $7.500 < nc \leq 50.000$
$\pi = 0,75$	se $50.000 < nc < 125.000$
$\pi = 10$	se $nc \geq 125.000$

Ao conjunto de restrições do modelo para definição das metas locais, adicionou-se mais uma restrição, cuja finalidade é garantir que as metas de continuidade em todas as regiões atendidas pela Light sejam maiores ou iguais à meta estabelecida para a região com a maior potência instalada, neste caso a Cidade do Rio.

Da mesma forma que no modelo para definição das metas globais, os valores iniciais de DEC e FEC, em cada conjunto ($dec_{w,j}$ e $fec_{w,j}$), deveriam ser as médias dos indicadores apurados no período 2000/2002. No entanto, para os conjuntos disponibilizaram-se apenas valores apurados em 2001 (dec_{2001} e fec_{2001}). Assim, definiram-se os valores iniciais para os conjuntos por meio do seguinte ajuste:

$$dec_{w,j} = DEC \cdot (dec_{2001} / DEC_{2001}) \quad (37)$$

$$fec_{w,j} = FEC \cdot (fec_{2001} / FEC_{2001}) \quad (38)$$

Nas equações acima, DEC e FEC denotam os valores iniciais (Tabela 4) e DEC_{2001} e FEC_{2001} denotam os indicadores apurados em 2001 (Tabelas 5 e 6), todos referentes à concessionária onde se situa o conjunto.

A seguir, nas Figuras 5 e 6 tem-se uma comparação entre as metas propostas para os indicadores de continuidade e os respectivos valores iniciais em cada região atendida pela Light. Observa-se que por meio de uma redistribuição das metas locais, o modelo propõe uma significativa redução nas metas dos conjuntos não-urbanos e na Baixada Fluminense, com uma relaxação das metas dos conjuntos na Cidade do Rio e no Sul Fluminense.

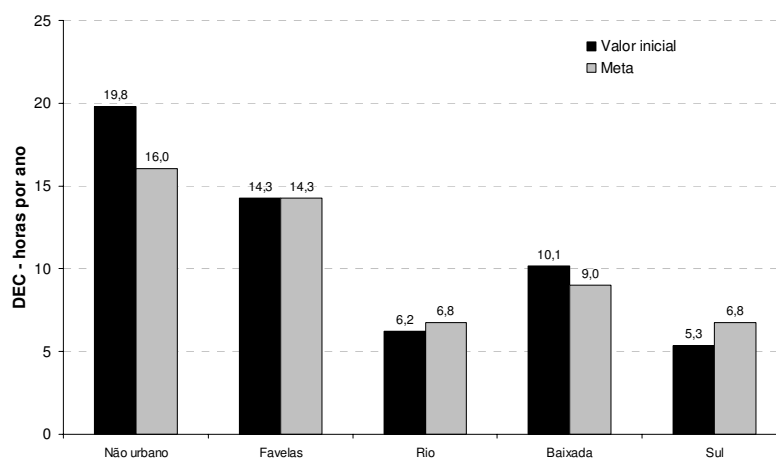


Figura 5 – Valores iniciais e metas para o DEC nas regiões atendidas pela Light.

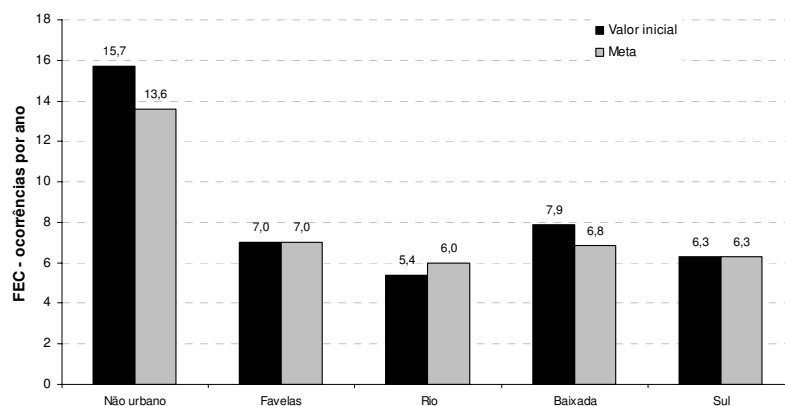


Figura 6 – Valores iniciais e metas para o FEC nas regiões atendidas pela Light.

A seguir, nas Figuras 7, 8 e 9 apresentam-se as metas de continuidade (DEC) dos conjuntos, os valores iniciais (dec_{vj} no modelo para estabelecimento das metas locais) e os limites inferiores e superiores adotados nas restrições (31) e (32). Na Figura 7, verifica-se uma redução das metas de DEC na maioria dos conjuntos não-urbanos. As exceções são os conjuntos Barra Mansa e Volta Redonda. O primeiro manteve a meta inicial e o segundo teve a meta elevada até atingir o limite inferior, pois apresenta um desempenho atípico entre os conjuntos não-urbanos.

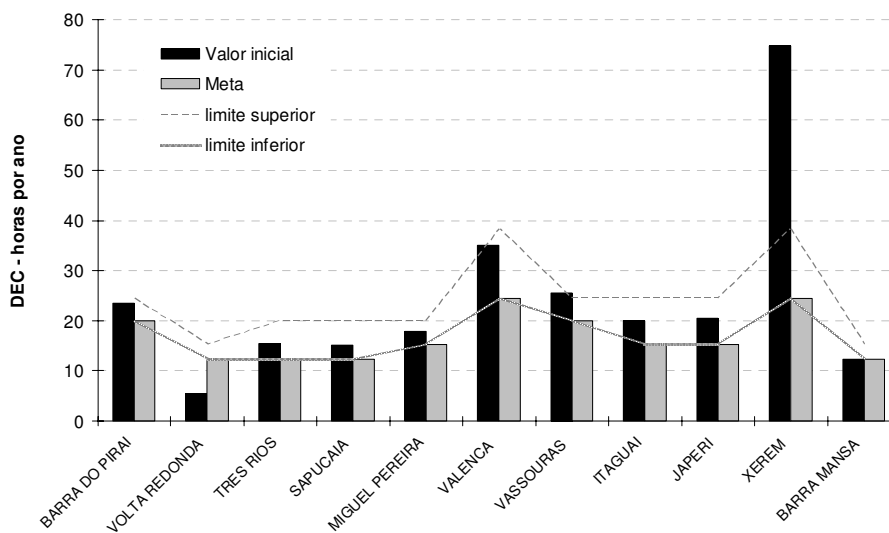


Figura 7 – Valores iniciais de DEC, metas e limites para os conjuntos não-urbanos.

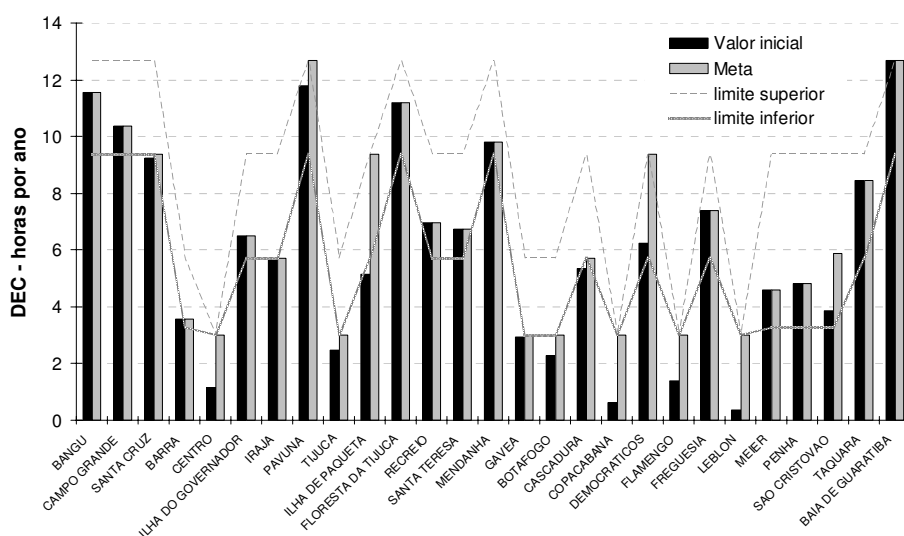


Figura 8 – Valores iniciais de DEC, metas e limites na Cidade do Rio.

Conforme ilustrado na Figura 8, observa-se a manutenção das metas de continuidade na maioria dos conjuntos na Cidade do Rio. Nos conjuntos com metas iniciais inferiores a 2 horas (Centro, Copacabana, Flamengo e Leblon) as metas de DEC foram fixadas em 3 horas, o mínimo adotado nas Resoluções da ANEEL. Ainda na Cidade do Rio, observam-se aumentos nas metas de DEC dos conjuntos Ilha de Paquetá, Democráticos, Pavuna e São Cristóvão.

Na Figura 9, observa-se a redução das metas de DEC na maior parte dos conjuntos na Baixada Fluminense, com exceção dos conjuntos Nova Iguaçu e Nilópolis que apresentam desempenhos atípicos em relação aos demais conjuntos da região, tendo suas metas elevadas até os respectivos limites inferiores.

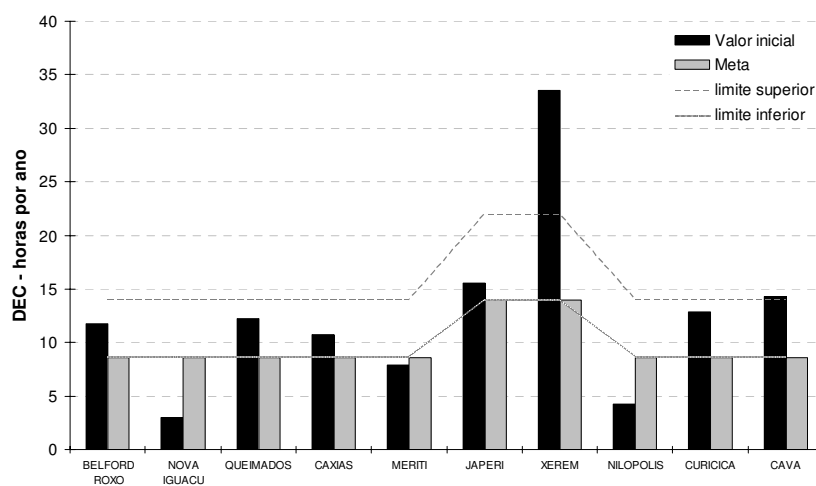


Figura 9 – Valores iniciais de DEC, metas e limites na Baixada Fluminense.

Na Figura 10, têm-se as metas locais (FEC) para os conjuntos de unidades consumidoras na Cidade do Rio de Janeiro. Comparando-a com a anteriormente apresentada para o DEC (Figura 8), observa-se uma grande semelhança na otimização realizada pelos modelos para definição das metas locais de DEC e FEC. Tal fato deve-se a forte correlação entre estes indicadores.

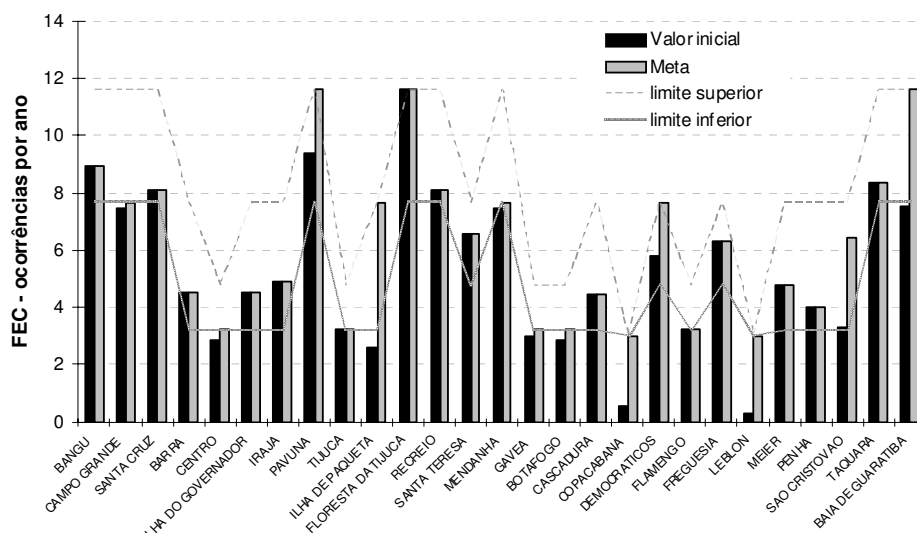


Figura 10 – Valores iniciais de FEC, metas e limites na Cidade do Rio.

6.2 Estabelecendo as metas para os conjuntos da Ampla

Em 2001, a área de concessão da Ampla dividia-se em 98 conjuntos de unidades consumidoras, classificados em quatro regionais: Guanabara, Oceânica, Norte e Serrana, cujas estatísticas estão resumidas na Tabela 12, onde se observa o precário nível de continuidade do fornecimento na região Norte do Estado do Rio de Janeiro.

Tabela 12 – DEC, FEC e atributos das regiões atendidas pela Ampla em 2001.

Região	Total de conjuntos	DEC	FEC	Potência instalada (MVA)	Nº de consumidores
Guanabara	15	13,04	18,19	733	399.956
Oceânica	22	15,21	17,88	1.414	527.207
Norte	46	26,28	25,68	862	488.086
Serrana	15	15,98	19,64	612	317.120

O modelo DEA estabeleceu as seguintes metas para os indicadores globais da Ampla: 10,01 horas por ano para o DEC e 10,51 interrupções por ano para o FEC (Tabela 4). Isto significa uma redução da ordem de 49% ($\theta=1,96$) em relação aos valores médios destes indicadores no período 2000/2002.

No caso da Ampla, apenas o primeiro decil das distribuições do DEC nas regionais Oceânica e Norte são inferiores à meta global estabelecida pelo modelo DEA. Então, utilizando-se as estatísticas de posição como limites das restrições (31) e (32), α_{wj} e β_{wj} respectivamente, obtém-se metas locais que ao serem ponderadas pelos respectivos totais de consumidores resultam em um indicador de continuidade acima da meta global estabelecida pelo modelo DEA.

Para evitar este desvio, definiram-se os limites α_{wj} e β_{wj} em função das metas regionais ($DEC_j + \Delta_j^+ - \Delta_j^-$), obtidas pelo processo de otimização que estabelece as metas locais. Mais especificamente, estes limites são definidos pelas seguintes equações:

$$\alpha_{wj} = DEC_j + \Delta_j^+ - \Delta_j^- + \lambda_{wj}^I \quad (39)$$

$$\beta_{wj} = DEC_j + \Delta_j^+ - \Delta_j^- + \lambda_{wj}^S \quad (40)$$

onde λ_{wj}^I e λ_{wj}^S são constantes definidas em função dos valores iniciais dos indicadores de continuidade dos conjuntos.

Nas equações (39) e (40), $DEC_j + \Delta_j^+ - \Delta_j^-$ é uma componente comum a todos os conjuntos da regional j , enquanto λ_{wj}^I e λ_{wj}^S são componentes específicas de cada conjunto wj . As componentes específicas introduzem desvios entre as metas locais e a meta da regional, onde os conjuntos estão localizados.

Nas Figuras 11 e 12 apresentam-se as retas que relacionam as componentes específicas (λ_{wj}^I e λ_{wj}^S) com os respectivos valores iniciais de DEC e FEC dos conjuntos. A escolha destas retas fica a critério do decisor. Observe que as componentes específicas são crescentes com os valores iniciais. Para valores iniciais baixos, permite-se uma redução da meta local em relação à meta regional ($\lambda_{wj}^I < 0$), enquanto que para valores iniciais elevados, as metas locais são superiores à meta regional ($\lambda_{wj}^I > 0$). O crescimento da componente λ_{wj}^S em função dos valores iniciais implica em permitir maiores desvios da meta local em relação à meta regional, à medida que o valor inicial aumenta.

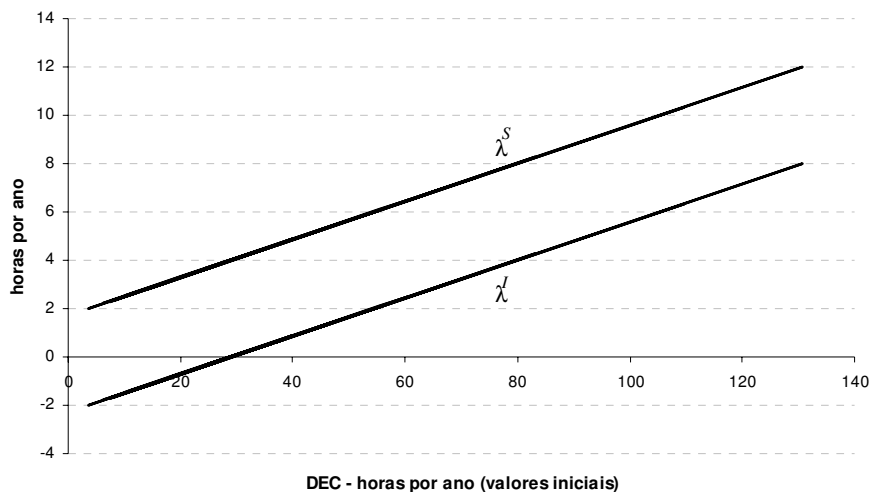


Figura 11 – Componentes específicas em função dos valores iniciais de DEC.

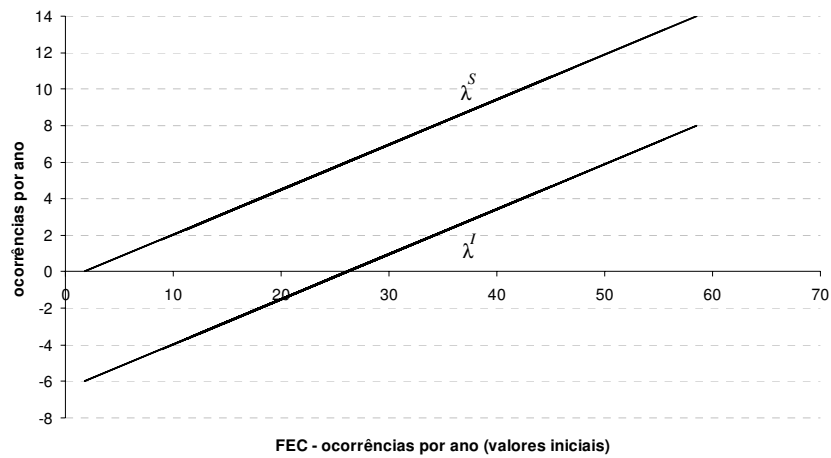


Figura 12 – Componentes específicas em função dos valores iniciais de FEC.

Continuando com a definição dos parâmetros do modelo, escolheu-se uma estrutura de pesos bastante simples para ponderar os desvios na função objetivo. A estrutura consiste em fazer $\pi_{wj} = 1/98$ para todo conjunto w_j , onde 98 é o total de conjuntos da Ampla em 2001.

De forma semelhante ao realizado no caso da Light, adicionou-se uma restrição ao conjunto de restrições do modelo para definição das metas locais, com a finalidade de impor metas regionais superiores à meta estabelecida para a região com a maior potência instalada, neste caso a regional Oceânica.

Nas Figuras 13 e 14 são apresentadas as metas propostas para o DEC e para o FEC, juntamente com os respectivos valores iniciais em cada regional da Ampla. Para atingir as metas globais de DEC e FEC, o modelo propõe reduções expressivas dos indicadores de continuidade nas quatro regionais.

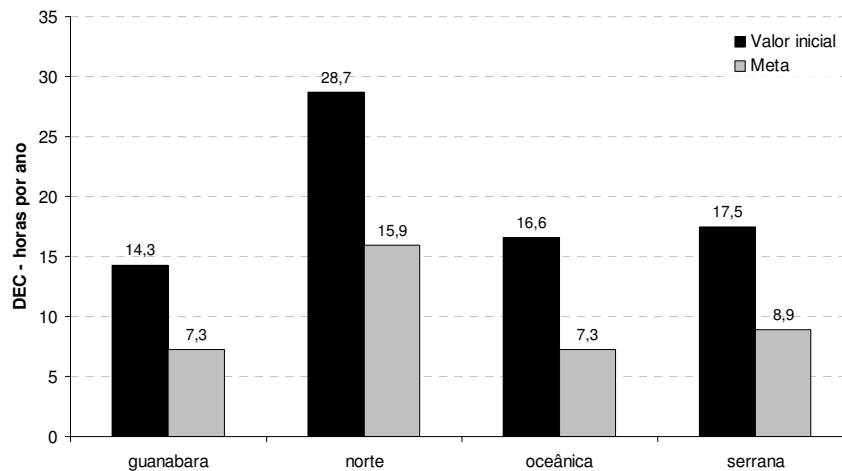


Figura 13 – Metas de DEC para as regionais da Ampla.

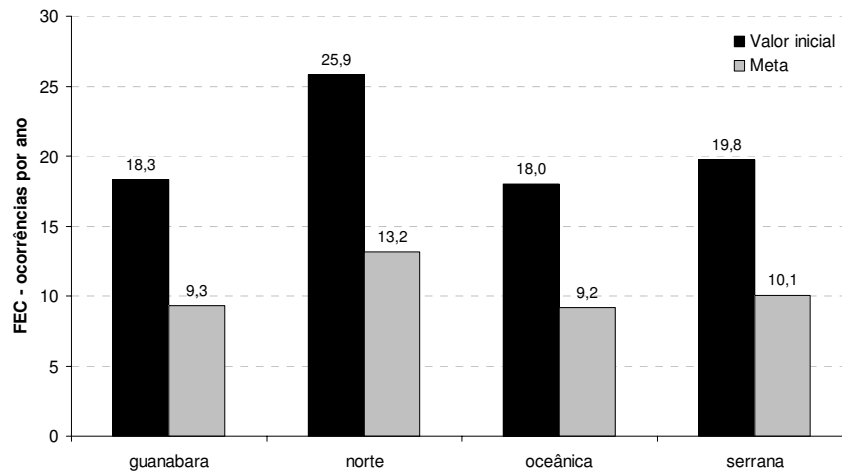


Figura 14 – Metas de FEC para as regionais da Ampla.

Nas Figuras 15 e 16 são apresentadas as metas de continuidade (DEC), os valores iniciais (dec_{wj} no modelo para estabelecimento das metas locais) e os limites inferiores e superiores adotados nas restrições (31) e (32) para os conjuntos das regionais Oceânica e Norte.

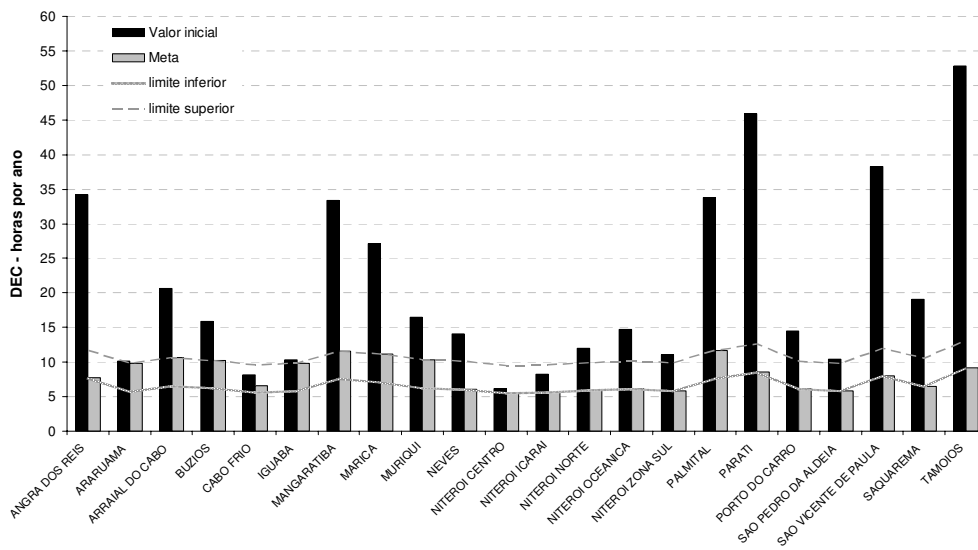


Figura 15 – Metas de DEC, valores iniciais e limites na regional Oceânica.

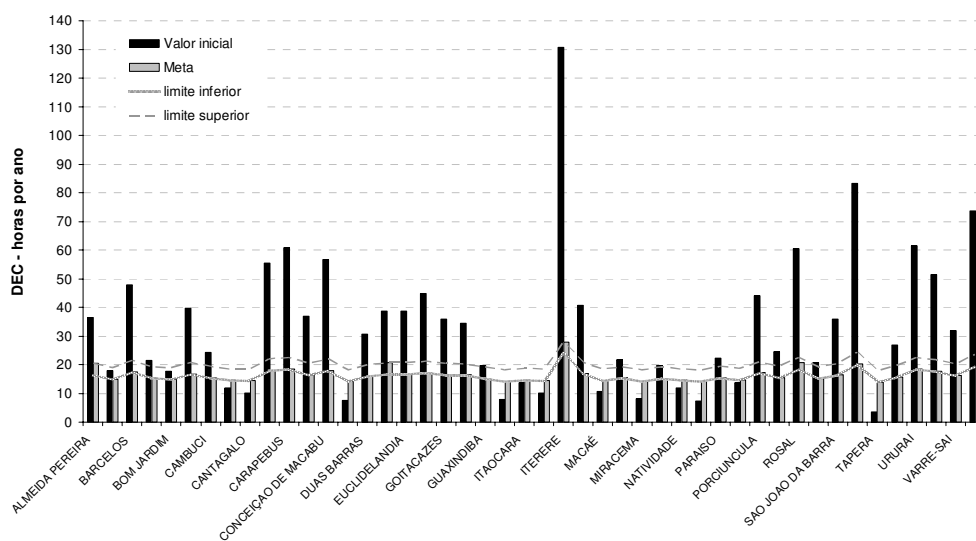


Figura 16 – Metas de DEC, valores iniciais e limites na regional Norte.

Para a maioria dos conjuntos o modelo estabeleceu metas de continuidade inferiores aos valores iniciais. As exceções podem ser observadas na Figura 16, onde as metas de alguns conjuntos são superiores aos respectivos valores iniciais, como por exemplo, o conjunto Taperá que apresenta um valor inicial atípico entre os conjuntos da região Norte (DEC = 3,56 horas por ano e FEC = 1,77 ocorrências por ano).

Por fim, na Figura 17 são apresentadas as metas locais para o FEC dos conjuntos da regional Oceânica.

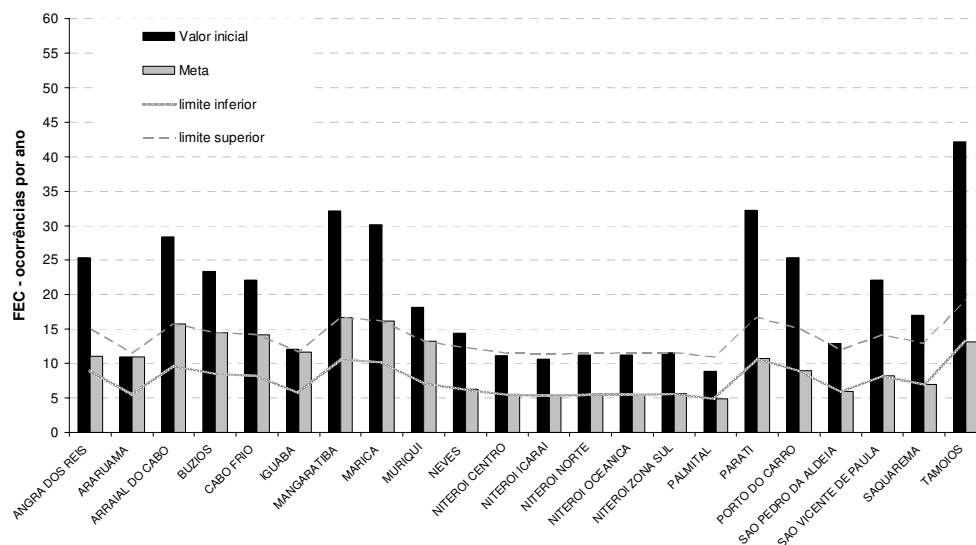


Figura 17 – Metas de FEC, valores iniciais e limites na regional Oceânica.

7. Conclusões

Neste artigo propõe-se uma nova forma de implementação da regulação por comparação (*yardstick competition*) para regulação da qualidade do fornecimento de energia elétrica, com foco na continuidade. A finalidade do modelo proposto é auxiliar o regulador na definição das metas de continuidade, ou seja, no estabelecimento dos valores máximos admissíveis para os indicadores DEC e FEC que, respectivamente, avaliam a duração e a frequência das interrupções no fornecimento de eletricidade.

No modelo proposto, as metas de continuidade são definidas por um processamento em dois estágios: comparação entre concessionárias (primeiro estágio) e comparação entre os conjuntos de unidades consumidoras de uma mesma concessionária (segundo estágio).

No primeiro estágio, implementa-se a análise comparativa entre as concessionárias por meio de um modelo de Análise Envoltória de Dados (DEA – *Data Envelopment Analysis*) com restrições aos pesos, a partir do qual definem-se metas globais de continuidade para cada concessionária. A definição de metas globais é interessante, pois o escopo das informações disponíveis e a capacidade de análise comparativa por parte do regulador são maiores quando se considera a concessionária de maneira agregada. Além disso, as metas obtidas podem ser relacionadas com variáveis observáveis somente ao nível das empresas, tais como, custo operacional, nº de empregados e investimentos.

No segundo estágio, por meio de uma adaptação de um modelo para alocação de recursos, baseado em DEA, são determinadas as metas locais de continuidade para cada conjunto de unidades consumidoras, a partir da meta global estabelecida no primeiro estágio.

Destaca-se que nos modelos para definição das metas globais e locais, o regulador controla alguns parâmetros, de maneira que a definição das metas segue algumas premissas estipuladas pelo regulador. Mais especificamente, no modelo para definição das metas globais, pode-se estabelecer os limites das restrições aos pesos, e nos modelos que estabelecem as metas locais, pode-se controlar um sistema de ponderações na função objetivo e os limites que restringem as metas locais em cada conjunto de unidades consumidoras.

O modelo proposto atenua a assimetria de informação entre o regulador e as concessionárias, pois trata simultaneamente todas as distribuidoras. O modelo também reduz a discricionariedade do regulador, uma vez que as metas de continuidade são definidas por meio da Análise Envoltória de Dados, conferindo maior transparência ao ato regulatório.

O modelo foi implementado em planilha eletrônica e aplicado no estabelecimento das metas de continuidade para os conjuntos de unidades consumidoras da Light e da Ampla, as principais distribuidoras que atendem o Estado do Rio de Janeiro. Os resultados apresentados encorajam a continuação do trabalho com o objetivo de aprimorar os modelos propostos, tornando-os mais robustos.

Apesar de focar exclusivamente o aspecto da regulação da qualidade, o modelo proposto neste artigo pode ser estendido e incluir outras variáveis como os custos operacionais e os montantes de investimentos, com o objetivo de integrar em um único modelo a regulação do preço e da qualidade.

Por fim, na revisão da literatura acerca da aplicação da DEA no setor elétrico, apresentada em Jasmab & Pollitt (2000) e Pessanha *et al.* (2005), observa-se que a maior parte das aplicações tratam de aspectos regulatórios, porém poucos trabalhos têm focado a questão da qualidade do fornecimento de energia elétrica.

Referências Bibliográficas

- (1) Ajodhia, V. (2002). Integrated price and reliability regulation: The European experience. *Transmission and distribution conference and exhibition 2002: Asia Pacific, IEEE/PES*, Yokohama.
- (2) Allan, R.N. & Silva, M.G. (1995). Evaluation of reliability indices and outages costs in distribution systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, **10**(1), 413-419, February.
- (3) Armstrong, M.; Cowan, S. & Vickers, J. (1994). *Regulatory reform – economic analysis and British experience*. MIT Press, Cambridge.
- (4) Avellar, J.V.G.; Polezzi, A.O.D. & Milioni, A.Z. (2002). On the evaluation of Brazilian landline telephone services companies. *Pesquisa Operacional*, **22**(2), 231-246.
- (5) Banker, R.D.; Charnes, A. & Cooper, W.W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, **30**, 1078-1092.
- (6) Barbosa, A.S.; Carvalho, P.L.; Silva, J.O.F. & Lopes, P.H.S. (2004). Procedimento para aplicação de penalidade por violação dos padrões dos indicadores de continuidade DEC e FEC. *XVI Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica*, Brasília.
- (7) Benjó, I. (1999). *Fundamentos de economia da regulação*. Thex Ed., Rio de Janeiro.
- (8) Bogetoft, P. & Nielsen, K. (2003). DEA based yardstick competition in natural resource management. **In: Recent Accomplishments in Applied Forest Economics Research** [edited by Helle, F., Strange, N. & Wichmann, L.], Kluwer Academic Publisher, Boston.
- (9) Charnes, A.; Cooper, W.W. & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, **2**, 429-444.
- (10) Cooper, W.W.; Seiford, L.M. & Tone, K. (2000). *Data Envelopment Analysis, A comprehensive Text with Models, Applications, Reference and DEA-Solver Software*. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- (11) Ghirardi, A.G. (2000). Estratégias de regulação e qualidade dos serviços públicos. *Revista Econômica do Nordeste*, **31**, 920-935.
- (12) Golany, B. & Roll, Y. (1989). An application procedure for DEA. *OMEGA*, **17**(3), 237-250.
- (13) Jain, J.S.R.; Sun, C.T. & Mizutani, E. (1997). *Neuro-Fuzzy and Soft Computing: a computational approach to learning and machine intelligence*. Prentice Hall Inc.
- (14) Jasmab, T. & Pollit, M. (2000). Benchmarking and regulation: international electricity experience. *Utilities Policy*, **9**(3), 107-130.
- (15) Johnson, R.A. & Wichern, D.W. (1998). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. 4 ed., Prentice-Hall.
- (16) Kagan, N.; Oliveira, C.C.B. & Robba, E.J. (2005). *Introdução aos sistemas de distribuição de energia elétrica*. Editora Edgard Blücher, São Paulo.
- (17) Korhonen, P. & Syrjänen, M. (2001). Resource allocation based on efficiency analysis. Working Paper W-293, Helsinki School of Economics and Business Administration.

- (18) Lima, J.W.M.; Noronha, J.C.C.; Arango, H. & Santos, P.E.S. (2002). Distribution pricing based on yardstick regulation. *IEEE Transactions on Power Systems*, **17**(1), 198-204, February.
- (19) Lins, M.P.E. & Angulo-Meza, L. (2000). *Análise envoltória de dados e perspectivas de integração no ambiente de apoio à decisão*. Editora da COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- (20) Murteira, B.J.F. (1993). *Análise Exploratória de Dados: Estatística Descritiva*. McGraw-Hill Portugal, Lisboa.
- (21) Pessanha, J.F.M.; Castellani, V.L.O.; Hassin, E.S. & Cheberle, L.A.D. (2004). *ANABENCH – Sistema computacional para estabelecimento das metas de continuidade*. XVI Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, Brasília.
- (22) Pessanha, J.F.M.; Souza, R.C. & Laurencel, L.C. (2005). Utilizando a análise envoltória de dados na regulação da continuidade do fornecimento de energia elétrica. *XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Gramado.
- (23) Pires, J.C.L. & Piccinini, M.S. (1998). Mecanismos de regulação tarifária do setor elétrico: a experiência internacional e o caso brasileiro. *Textos para Discussão*, 64, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, Rio de Janeiro.
- (24) Queiroz, H.L. (2002). Metodologia para definição de agrupamentos de consumidores e os requisitos de qualidade do fornecimento. *XV Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica*, Salvador.
- (25) Seiford, L.M. & Zhu, J. (2000). Modelling undesirable factors in efficiency evaluation. *European Journal of Operational Research*, **142**, 16-20.
- (26) Shleifer, A. (1985). A theory of yardstick competition. *Rand Journal of Economics*, **16**, 319-327.
- (27) Silva Neto, A.; Longue, C.A. & Santos, E.C. (2003). Metodologia para reavaliação dos limites de indicadores de performances dos conjuntos elétricos – ANEEL. *V Seminário Brasileiro sobre Qualidade de Energia Elétrica*, Aracajú.
- (28) Tanure, J.E.P.S. (2000). Análise comparativa de empresas de distribuição para o estabelecimento de metas de desempenho para os indicadores de continuidade de serviços de distribuição. Dissertação de Mestrado, Escola Federal de Engenharia de Itajubá.
- (29) Ter-Martirosyan, A. (2003). The effects of incentive regulation on quality of service in electricity markets. Working Paper, George Washington University, Department of Economics.
- (30) Tersztyanszky, T. (2003). Methods and procedures requirements for monitoring and improvement of supply quality in Hungary. *CIGRE/IEEE PES International Symposium, Quality and Security of Electric Power Delivery Systems*, Montreal.