

1 Introdução

1.1. Considerações Gerais

No início da década de noventa exauriu-se a capacidade de investimento das empresas do Setor Elétrico Brasileiro (SEB), até então estatais em sua grande maioria. Esta situação foi o resultado do crescente endividamento das empresas do SEB, agravado pela política governamental de contenção das tarifas de eletricidade e pelo acesso cada vez mais restrito aos recursos externos, em decorrência das dificuldades financeiras do Estado Brasileiro. Para viabilizar a expansão do sistema elétrico era premente uma nova organização do SEB e a abertura do setor aos investimentos privados.

A reestruturação do SEB iniciou-se em meados da década de noventa e foi concebida com base no modelo adotado na reforma do setor elétrico do Reino Unido, um modelo orientado para o mercado, caracterizado pela privatização das empresas e pela desverticalização da indústria, onde a geração e a comercialização de energia são organizadas em um ambiente competitivo, enquanto a transmissão e a distribuição permanecem como monopólios regulados. Este modelo tinha a seu favor um bom número de experimentos semelhantes em diversos países (Araújo, 2001).

A reestruturação do SEB ganhou impulso a partir de 1995 com o início das privatizações¹ e a criação de novas entidades setoriais.

Em dezembro de 1996 foi instituída a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), o órgão regulador do SEB. Dois anos depois, em 1998, foram criados o Operador Nacional do Sistema (ONS) e o Mercado Atacadista de Energia (MAE). A operação do sistema interligado fica sob a responsabilidade do ONS, enquanto

¹ A privatização da ESCELSA (Centrais Elétricas do Espírito Santo S.A.), em julho de 1995, marcou o início de um longo cronograma de privatizações, encerrado em novembro de 2000 com a privatização da SAELPA (Sociedade Anônima de Distribuição da Paraíba).

no MAE negociam-se livremente os contratos de compra e venda de energia elétrica do sistema interligado.

No novo modelo, a expansão da capacidade de geração seria promovida pelas forças de mercado, na competição pela compra e venda de energia elétrica. Dadas as condições de livre acesso aos sistemas de distribuição e de transmissão, no lado da oferta foi permitida a operação dos produtores independentes de energia (PIE), enquanto no lado da demanda os grandes consumidores foram liberados do monopólio comercial das concessionárias.

No entanto, o novo arranjo do SEB não foi capaz de expandir a capacidade de geração em um patamar suficiente para atender as elevadas taxas de crescimento do consumo de eletricidade. O resultado foi o racionamento de 2001. Este episódio determinou a falência do novo modelo e conduziu a um outro processo de reforma do SEB, ainda em andamento, mas que preserva algumas características do modelo anterior, como a desverticalização e a orientação do setor para o mercado. As diferenças em relação ao modelo anterior residem, basicamente, na forma de contratação da energia e na ênfase dada ao planejamento setorial liderado pelo Estado.

Voltando ao início da reforma do SEB, uma das primeiras medidas do processo de reestruturação foi a promulgação da lei nº 8.631/93 que suprimiu a equalização tarifária e o regime de remuneração garantida, conhecido como regulação pelo custo do serviço. Seguindo a experiência do modelo britânico, após a privatização, os novos contratos de concessão, firmados entre o poder concedente e as concessionárias de distribuição, passaram a adotar o controle pelo preço-teto (*price cap*) como estratégia de regulação das tarifas de eletricidade.

A estratégia de regulação tarifária pelo custo do serviço, também denominada controle pela taxa de retorno, tem uma longa tradição nos Estados Unidos, onde a experiência acumulada mostra que neste regime de regulação existem incentivos para que a firma inflacione seus custos e adote um caminho de expansão excessivamente intensivo em capital. A razão deste comportamento é que na regulação pelo custo do serviço a tarifa é definida de forma a repor todos os investimentos e custos de prestação do serviço, declarados pela concessionária e reconhecidos pelo regulador, mais uma remuneração do investimento à uma taxa de retorno próxima do custo de capital (Pires & Piccinini, 1998).

Averch & Johnson (1962) mostram que a garantia de ressarcimento dos custos cria incentivos ao sobreinvestimento e ao uso de práticas ineficientes por parte da concessionária, de tal forma que, mesmo com elevados custos de produção, obtém-se um lucro que não existiria em condições de mercado não regulado.

Visando contornar as deficiências da regulação pelo custo do serviço, Littlechild (1983) propôs o regime *price cap*, adotado pela primeira vez no ano de 1984, na regulação dos serviços de telecomunicações no Reino Unido. Resumidamente, neste modelo 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, cuja finalidade consiste em compartilhar com os consumidores os ganhos de produtividade da concessionária, auferidos no período entre as revisões tarifárias em virtude do crescimento do mercado (Pires & Piccinini, 1998).

A fixação de um preço-teto incentiva a concessionária obter ganhos de produtividade por meio da redução dos gastos de capital e dos custos de operação e manutenção, pois seu lucro será tanto maior quanto mais ela lograr em reduzir as suas despesas.

Ghirardi (2000) observa que as características extremas destas duas estratégias podem ter diferentes implicações para a qualidade do serviço.

Sob o regime de remuneração garantida, a concessionária tem interesse em revelar seu nível de custos para poder justificar tarifas que permitam um retorno conveniente. O efeito Averch-Johnson beneficia o aspecto da qualidade, pois a firma terá interesse em realizar todo e qualquer investimento necessário para melhoria da qualidade, mesmo que economicamente ineficientes, desde que possa repassá-los às tarifas.

No entanto, sob o regime *price cap*, lucros maiores são obtidos mediante esforços para redução de custos e aumento da produtividade. Armstrong et al. (1994) observam que estes esforços podem inibir os investimentos para a melhoria da qualidade do serviço, à medida que estes representem despesas adicionais. Giannakis et al. (2003) salientam que as concessionárias podem responder aos incentivos para redução de custos buscando a melhoria da eficiência ou reduzindo a qualidade. Os incentivos para redução de custos e aumento da produtividade

também podem produzir efeitos negativos sobre a universalização do atendimento (Liston, 1993).

Para incentivar os investimentos na melhoria da qualidade, Armstrong et al. (1994) recomendam que o regime *price cap* seja acompanhado de um aparato regulatório complementar que fixe padrões mínimos de qualidade a serem atendidos pelas concessionárias, sob risco de sanções e penalidades.

Experiências recentes nos Estados Unidos confirmam as expectativas de que as estratégias de regulação incentivada, como o *price cap*, podem deteriorar a continuidade do fornecimento de eletricidade, um aspecto da qualidade da energia elétrica referente ao grau de disponibilidade do serviço prestado pelas concessionárias de distribuição.

A partir de um modelo econométrico, estimado com base em um painel abrangendo 78 concessionárias de distribuição de 23 Estados² norte-americanos no período 1993/1999, Ter-Martirosyan (2003) mostra evidências de uma associação entre a deterioração da continuidade do fornecimento e a adoção de estratégias de regulação incentivada sem uma regulamentação complementar que fixe padrões mínimos de qualidade.

Com a utilização mais intensa da eletricidade, os consumidores estão cada vez mais sensíveis à qualidade da energia elétrica, e o regulador, no papel de protetor dos interesses dos consumidores, deve induzir as concessionárias no sentido de evitarem o ganho de produtividade a qualquer custo, em sacrifício da qualidade.

1.2. A regulação da continuidade do fornecimento

Kotler (1998) define a qualidade como sendo a “totalidade de aspectos e características de um produto ou serviço que proporcionam a satisfação de necessidades declaradas e implícitas”. No caso da energia elétrica, a qualidade do fornecimento de eletricidade é avaliada sob três aspectos: conformidade, atendimento comercial e continuidade (Tanure, 2000; Kagan et al., 2005).

² Nos Estados Unidos a regulação do setor elétrico é efetuada por órgãos estaduais e por esta razão há uma variedade significativa de regimes regulatórios.

A conformidade representa a qualidade intrínseca do produto comercializado e relaciona-se com o grau de perfeição da onda de tensão disponibilizada aos consumidores, caracterizada pelos níveis de tensão e frequência dentro de limites padronizados, pela simetria das fases e pela mínima distorção por harmônicos (Tanure, 2000).

No atendimento comercial, consideram-se os aspectos referentes à relação comercial entre a empresa e seus consumidores, ou seja, os tempos de respostas às solicitações dos consumidores, a cortesia do atendimento, o grau de presteza nos serviços demandados, a quantidade de agências disponibilizadas para atendimento aos consumidores, e ainda, as perdas comerciais (Tanure, 2004).

A continuidade expressa o grau de disponibilidade do serviço prestado pela concessionária e associa-se com a duração e a frequência das interrupções que ocorrem no sistema elétrico. A duração da interrupção relaciona-se com a gestão do sistema, i.e., com as ações e os recursos disponíveis para restabelecer o atendimento. Por sua vez, a frequência das interrupções reflete a fragilidade do sistema frente ao meio ambiente e o envelhecimento ou falta de manutenção adequada.

Segundo Kahn (1988), há outros aspectos da qualidade menos afeitos à definição por normas e que ficam naturalmente dentro da esfera de atuação da empresa, como por exemplo, as inovações tecnológicas e o esforço para melhorar o serviço, o atendimento ao cliente, e as práticas de manutenção. Portanto, a agência reguladora tem maiores possibilidades de ação sobre os preços, enquanto na regulação da qualidade sua atuação é mais restrita.

Entre os aspectos da qualidade da energia elétrica destaca-se a continuidade do fornecimento, pois o mais importante é a capacidade da rede suprir continuamente a demanda sem interrupções. Segundo Kotler (1998), os consumidores preocupam-se mais com a interrupção do serviço que esperam receber do que com a aquisição do produto.

Além disso, os indicadores relacionados com a frequência e a duração das interrupções são facilmente avaliados e permitem que o regulador controle a continuidade por meio de normas e multas em função da performance verificada. Estes indicadores constituem os principais parâmetros de qualidade usados por reguladores e empresas de distribuição em diversos países.

No âmbito do SEB, a Portaria Dnaee³ n° 046/78 foi um marco na regulação da continuidade do fornecimento ao inserir os dois indicadores de caráter coletivo, o DEC⁴ e o FEC⁵, apresentados a seguir :

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^n Ca(i) \cdot t(i)}{Cs} \quad (1.1)$$

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^n Ca(i)}{Cs} \quad (1.2)$$

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

O DEC 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 exprime o número de interrupções que, em média cada consumidor sofreu no período de apuração.

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).

A contabilização destes indicadores é realizada pelas empresas, a partir das ocorrências na rede de distribuição. Kagan et al. (2005) denominam este tipo de avaliação da continuidade como avaliação a posteriori, para diferenciá-la das avaliações a priori, onde procura-se estimar os indicadores de continuidade do fornecimento com base nos valores históricos das taxas de falha dos equipamentos e nos tempos médios para restabelecimento do sistema de distribuição, após a ocorrência de uma interrupção.

³Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica extinto no final de 1996 com a criação da Aneel.

⁴Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora.

⁵Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora.

Basicamente, a regulação da continuidade consiste na avaliação de indicadores que expressam a duração e a frequência das interrupções e na comparação destas estatísticas com limites superiores pré-estabelecidos, denominados por metas ou padrões de continuidade. Caso os indicadores apurados ultrapassem os níveis toleráveis, a concessionária fica sujeita a algum tipo de penalidade. A definição destes limites e das penalidades são os pontos principais da regulação da continuidade do fornecimento.

Com o objetivo de fixar metas mais próximas das necessidades dos diferentes grupos de consumidores e compatíveis com as características das redes que os atendem, os reguladores do setor elétrico estabelecem metas de continuidade diferenciadas por região geográfica (áreas de baixa, média e alta densidade populacional) ou nível de tensão (redes de baixa, média e alta tensão), conforme apresentado em Bordonetti (2003), Sánchez & Román (2002) e Queiroz (2002).

No Brasil, por exemplo, as metas de continuidade são definidas para pequenas regiões geográficas dentro das áreas de concessão, denominadas por conjuntos de unidades consumidoras, onde se admite condições de atendimento homogêneas, conforme ilustrado na Figura 1 para o caso da Eletropaulo.

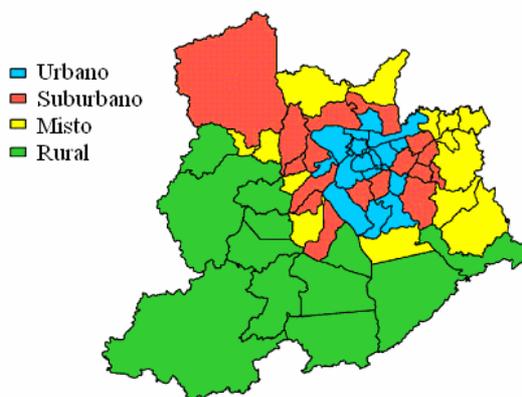


Figura 1: Conjuntos da Eletropaulo (Silva Neto et al., 2003)

Usualmente, os reguladores definem dois padrões de continuidade: os individuais (*guaranteed standards*) e os coletivos (*overall standards*).

Os padrões individuais têm por objetivo garantir um mínimo de continuidade a cada unidade consumidora, enquanto os padrões coletivos visam controlar o desempenho médio de uma concessionária ou de um conjunto de unidades consumidoras.

Em geral, o não atendimento do padrão individual resulta em pagamentos compensatórios aos consumidores afetados, enquanto o não atendimento ao padrão coletivo resulta em uma multa a ser paga ao órgão regulador ou em uma redução da receita permitida da concessionária, beneficiando todos os seus consumidores.

Admitindo a hipótese de concorrência perfeita na distribuição de energia elétrica, um consumidor poderia escolher o provedor de rede que lhe ofereça um nível de continuidade (confiabilidade) compatível com a sua disponibilidade de pagar por ela, suposta igual ao custo de interrupção incorrido pelo consumidor.

Sob esta hipótese, o nível ótimo de confiabilidade pode ser definido pelo equilíbrio entre o custo de fornecimento da distribuidora e o custo de interrupção incorrido pelos consumidores (Rivier et al., 1999). O custo total para a sociedade (soma dos custos de fornecimento e de interrupção) é mínimo no ponto de equilíbrio, conforme ilustrado na Figura 2. Neste ponto o benefício marginal da confiabilidade é igual ao custo marginal para provê-la.

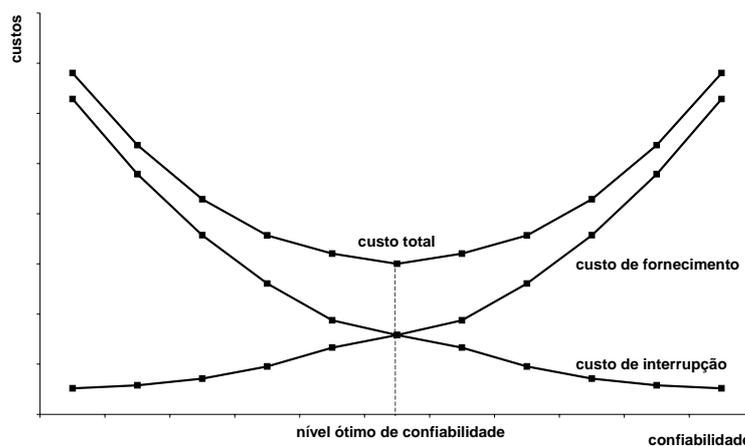


Figura 2: Nível ótimo de confiabilidade pelo modelo microeconômico

No entanto, a distribuição de energia elétrica é um monopólio natural e a ausência de um aparato regulatório deixa as concessionárias livres para atuarem com níveis de qualidade e de custo que podem não coincidir com o ótimo social.

Para estabelecer o padrão de continuidade pelo modelo microeconômico (Figura 2), o regulador necessita quantificar a relação entre o custo de fornecimento e a confiabilidade, e também avaliar os custos de interrupção incorridos pelos consumidores, ou seja, o valor da confiabilidade para cada grupo de consumidores.

Conforme indicado na Figura 2, o custo de fornecimento é uma função crescente do nível de confiabilidade. A relação entre os custos de fornecimento e a confiabilidade depende do tipo da rede de distribuição e das características do mercado atendido. Por exemplo, em regiões com grande densidade de carga, com sistemas subterrâneos e com condições climáticas favoráveis, os custos por consumidor são significativamente inferiores aos observados em regiões com mercados dispersos, atendidos por longos circuitos radiais.

Por outro lado, os custos de interrupção incorridos pelos consumidores diminuem a medida que o nível de confiabilidade aumenta. Tais custos dependem basicamente do tipo do consumidor e variam não linearmente com a duração da interrupção (Allan & Silva, 1995).

Para os consumidores residenciais, a interrupção do fornecimento provoca a perda de conforto e eventualmente pode danificar aparelhos eletrodomésticos e deteriorar produtos estocados. Os custos de interrupção incorridos pelos consumidores residenciais dependem basicamente do nível de renda domiciliar, a principal variável explicativa da posse e uso de eletrodomésticos.

Para os consumidores industriais e comerciais, a interrupção provoca perdas econômicas de diferentes magnitudes, desde perdas de oportunidades de negócio até perdas de matérias-primas e produtos. Para estes consumidores, os custos de interrupção dependem basicamente do ramo de atividade, do porte do estabelecimento, do período do ano, da duração e da frequência das falhas no fornecimento.

A seguir, nas Tabelas 1 e 2 são apresentados os valores médios dos custos de interrupção no Estado de São Paulo, estimados por Magalhães et al. (2001). Observa-se que na classe residencial o custo médio de interrupção cresce com a renda média do consumidor (Tabela 1) e que o maior custo médio de interrupção é o da classe industrial (Tabela 2).

Tabela 1: Custos de interrupção da classe residencial no Estado de São Paulo

Faixa de consumo (kWh)	Renda média (US\$/mês)	Custo da interrupção (US\$/kWh interrompido)
0 – 150	98	0,79
151 – 300	525	0,91
> 301	1148	1,75
Média	270	0,90

Fonte: Magalhães et al. (2001)

Tabela 2: Custos de interrupção para o Estado de São Paulo

Classe	Custo médio de interrupção (US\$/ kWh interrompido)
Residencial (inclui o rural)	0,90
Comercial, Serviços e Poderes Públicos	1,70
Industrial (inclui a agroindústria)	5,30
Custo unitário no Estado	1,20

Fonte: Magalhães et al. (2001)

Exemplos de utilização das estimativas dos custos de interrupção na regulação da qualidade podem ser encontrados no modelo adotado pelo regulador do setor elétrico da Noruega (Langset et al., 2001) e na proposta de implementação do modelo marginalista para regulação da continuidade apresentada por Rivier et al. 1999.

Na Noruega há um interessante esquema de regulação incentivada da qualidade denominado por CENS (*Compensations for Energy not Supplied*) em funcionamento desde 2001. Com base em estimativas de energia não suprida e valores médios dos custos específicos de interrupção de dois grandes grupos de consumidores (residencial/rural e industrial/comercial), calculam-se os valores anuais dos custos de interrupção de cada concessionária. O modelo não impõe limites para a qualidade, mas se a concessionária apresentar custos de interrupção acima dos custos estimados, a sua receita é reduzida, caso contrário, a sua receita é aumentada.

No entanto, a quantificação dos custos de interrupção é bastante difícil, exigindo pesquisas de campo e uma série de simplificações para serem estimados. Além disso, na prática, o regulador não dispõe de todas as informações necessárias para o cálculo destes custos (Ajodhia, 2002). De fato, a escassez de informação é a essência do problema do regulador.

Sánchez & Román (2002) observam que algumas simplificações no cálculo dos custos de interrupção podem comprometer as propriedades desejáveis de um mecanismo para regulação da continuidade: a objetividade, a transparência e a não discricionariedade.

Kotler (1998) ressalta que a qualidade sempre pode ser melhorada e “a maneira mais fácil de melhorar a qualidade é comparar o desempenho da empresa em relação aos melhores concorrentes e esforçar-se para imitá-los ou dar um salto sobre os mesmos”.

Seguindo o mesmo princípio, Tanure (2000), Ajodhia (2002) e Sánchez & Román (2002) sugerem distintas implementações da regulação por comparação de desempenho ou *yardstick competition* (Shleifer, 1985) como alternativa para contornar as dificuldades da implementação do modelo microeconômico de minimização do custo total.

A *yardstick competition* surgiu como uma alternativa para mitigar a assimetria de informação entre o regulador e as concessionárias, e tradicionalmente tem sido aplicada no contexto da regulação tarifária, onde o preço e a receita permitida de uma concessionária dependem do desempenho das outras distribuidoras.

De forma geral, na *yardstick competition* o regulador cria subconjuntos (*clusters*) de concessionárias com características semelhantes e define uma empresa modelo (Lima et al., 2002) ou firma sombra (Pires & Piccinini, 1998), uma espécie de *benchmark* contra o qual as empresas classificadas em um mesmo *cluster* devem competir (Rudnick & Donoso, 2000).

No caso da regulação da continuidade do fornecimento, a aplicação da *yardstick competition* envolve a identificação de *clusters* de conjuntos de unidades consumidoras ou regiões geográficas com características semelhantes. Em cada *cluster* identificado procede-se uma análise comparativa dos indicadores de continuidade dos seus conjuntos, a partir da qual se estabelece uma meta de continuidade comum aos conjuntos classificados no *cluster*. As metas podem ser definidas pelos menores valores observados para os indicadores de continuidade (melhor desempenho) ou pelos valores médios ou medianos destes indicadores.

A identificação dos conjuntos com semelhantes condições de atendimento pode ser efetuada por algum algoritmo de análise de agrupamentos. Basicamente, a análise de agrupamentos visa resolver o problema de como dividir um conjunto com n objetos em k *clusters* mutuamente exclusivos, de tal forma que os objetos em um mesmo *cluster* sejam semelhantes entre si, mas diferentes dos objetos nos demais *clusters*. Admitindo que os n objetos sejam caracterizados por p atributos de natureza quantitativa, cada objeto pode ser representado por um vetor x_i , $i=1, \dots, n \in \mathcal{R}^p$. Neste caso, a distância euclidiana é usualmente a métrica adotada para avaliar o grau de semelhança entre os objetos.

A análise de agrupamentos compreende uma ampla variedade de métodos de classificação não supervisionados, utilizados na identificação de uma estrutura

natural de agrupamentos em um conjunto de objetos multidimensionais. Entre os principais métodos destacam-se os métodos hierárquicos e não hierárquicos (Johnson & Wichern, 1998), as redes neurais auto-organizáveis (Jain et al., 1997; Braga et al., 1998) e os métodos baseados em lógica nebulosa (Jain et al., 1997). Por exemplo, Tanure (2000) utilizou o algoritmo *K Means*, um método não hierárquico, para agrupar em 30 *clusters* um total de 4.135 conjuntos de unidades consumidoras⁶ de 56 concessionárias de distribuição do SEB.

Ao invés de utilizar um método de análise de agrupamentos, Sánchez & Román (2002) segmentam os conjuntos em apenas três tipos de regiões: urbana, semi-urbana e rural, em função do nº de habitantes e da densidade demográfica do conjunto.

Em 2000, a antiga Portaria Dnaee nº 046/78 foi substituída pela Resolução Aneel nº 024/2000 que incorporou a análise comparativa dos conjuntos (*yardstick competition*) na definição de metas para os indicadores DEC e FEC, diferenciadas de acordo com as condições de atendimento dos conjuntos de unidades consumidoras. A Resolução também inovou em dois aspectos: a introdução de penalidades para os casos de não cumprimento das metas de continuidade e a revisão das metas a cada revisão tarifária, criando um mecanismo que incentiva a melhoria progressiva da continuidade do fornecimento.

A seguir, na Figura 3, apresenta-se a evolução dos indicadores DEC e FEC no Brasil, desde a criação da Aneel em 1997.

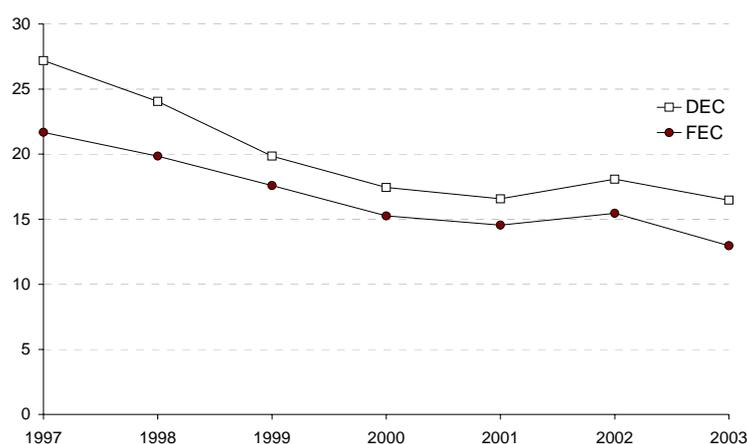


Figura 3: Evolução dos indicadores de continuidade no SEB

⁶Cada conjunto foi caracterizado pela extensão da rede aérea primária, potência instalada, consumo médio, nº de unidades consumidoras e área.

A melhoria significativa dos indicadores de continuidade ao longo do período deve-se ao trabalho de fiscalização exercido pela Aneel (Carvalho & Barbosa, 2002) e ao aumento dos investimentos das concessionárias de distribuição (Tolmasquim et al., 2002). No entanto, há concessionárias que, apesar de terem apresentado melhoria em seu desempenho, ainda apresentam uma performance bem inferior à média nacional.

No ano de 2003, Barbosa et al. (2004) relatam que 26 concessionárias foram multadas 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 (cerca de 33% do total de consumidores do SEB em 2002). As multas aplicadas totalizaram o montante de R\$ 35,3 milhões.

1.3. Objetivo da tese

O § 1º do art. 17 da Resolução Aneel nº 024 de 27 de janeiro de 2000 estabelece que “Na redefinição das novas metas de continuidade para os conjuntos de unidades consumidoras será aplicada a metodologia de análise comparativa de desempenho da concessionária, tendo como referência os valores anuais dos atributos físicos-elétricos e os valores de DEC e FEC encaminhados à Aneel”.

A Aneel compara os desempenhos dos conjuntos e define as respectivas metas de continuidade com base na metodologia desenvolvida por Tanure (2000), cuja implementação pode ser resumida em apenas três etapas:

- 1) Construção de uma matriz de dados de dimensão $n \times p$, onde n é o total de conjuntos de unidades consumidoras de todas as distribuidoras e p é o total de atributos⁷ que caracterizam as condições de atendimento dos conjuntos.
- 2) Aplicação do método *K-Means* na matriz de dados para identificar os *clusters* de conjuntos com semelhantes condições de atendimento.

⁷Atualmente há cerca de 6.000 conjuntos no SEB, caracterizados pelos seguintes atributos: área, extensão da rede aérea primária (km), total de energia consumida (kWh), nº de consumidores, potência instalada (kVA) e tipo do sistema que atende o conjunto (isolado ou interligado).

- 3) Comparação dos indicadores DEC e FEC dos conjuntos classificados em um mesmo *cluster* e definição das metas de continuidade comuns a estes conjuntos.

A principal virtude desta metodologia é que ela atenua o problema de assimetria de informação entre o regulador e as concessionárias, pois trata simultaneamente todas as distribuidoras. Destaca-se que esta metodologia reduz a discricionariedade do regulador, uma vez que as metas de continuidade são definidas por meio de um processo analítico.

Em qualquer algoritmo de análise de agrupamentos, a formação dos *clusters* baseia-se em alguma métrica de similaridade ou de distância entre os objetos, neste caso os conjuntos de unidades consumidoras. Nesta aplicação em particular, define-se a distância com base apenas nos seis atributos que caracterizam os conjuntos e, por esta razão, a semelhança é relativa e pode até mesmo não corresponder a realidade, dado que outros fatores relevantes são ignorados, como por exemplo, a composição do mercado por classe de consumo (Sperândio et al., 2003, 2004) e a distância do conjunto de unidades consumidoras até a subestação (Queiroz, 2002).

Além disso, a definição das metas de continuidade é sensível à qualidade das informações acerca dos conjuntos de unidades consumidoras. Neste aspecto, Tanure (2000) relata que nos dados enviados pelas concessionárias foram observadas algumas inconsistências, tais como conjuntos atendidos por sistemas de distribuição, radiais e longos, com indicadores de continuidade melhores do que os apurados para os conjuntos localizados em grandes centros urbanos que, em geral, são atendidas por sistemas malhados com maior grau de confiabilidade e flexibilidade operativa.

A limitação e a imprecisão das informações desagregadas por conjuntos contribuem para a formação de *clusters* heterogêneos (Queiroz, 2002) e que muitas vezes não satisfazem a hipótese de comparabilidade dos desempenhos dos conjuntos classificados em um mesmo *cluster*.

Como consequência, 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) relatam a definição de metas acentuadamente distintas

para conjuntos em áreas contíguas, na maioria dos casos atendidos por circuitos de uma mesma família e com características sociais, econômicas e geográficas semelhantes. Sperândio et al. (2003) relatam que em alguns conjuntos as metas estabelecidas são inatingíveis sem investimentos significativos nos sistemas de distribuição.

Diante destes fatos, a Aneel considera que as metas de continuidade são valores de referência a serem negociados com cada concessionária de distribuição.

A implementação atual não considera a possibilidade de incluir na análise comparativa algumas variáveis observadas ao nível da 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. Destaca-se que o escopo das informações disponíveis e a capacidade de comparação por parte do regulador são maiores quando se considera a concessionária de maneira agregada.

As semelhanças entre os conjuntos refletem apenas características locais, enquanto o esforço para melhorar a continuidade dos conjuntos é empreendido pela concessionária como um todo, sendo limitado por variáveis observadas somente ao nível da concessionária, tais como a receita da distribuidora e o montante de investimentos. A consideração destas variáveis adiciona mais informação ao processo de definição das metas de continuidade, aumentando a capacidade do regulador estabelecer metas mais consistentes com a condição de equilíbrio econômico e financeiro da concessionária.

Neste ponto, é interessante traçar um paralelo da regulação da continuidade com a regulação tarifária. Como observado por Román et al. (1999), a definição das tarifas de distribuição envolve duas etapas: primeiro o regulador define um montante de receita permitida para a distribuidora, e em seguida este montante é repartido entre as categorias de consumidores da concessionária, com base em algum critério transparente, não discriminatório e que promova a eficiência econômica, como por exemplo, os custos marginais por nível de tensão (Pessanha et al., 2004a).

No processo para definição do montante da receita permitida, o regulador costuma comparar as concessionárias com base em indicadores globais (Lima et al. 2002; Rodriguez et al., 2003), tais como o número de consumidores, o total de investimentos, os indicadores de qualidade, o número de empregados, a extensão

da rede de distribuição e o mercado por classe de consumo. A título de exemplo, Rudnick & Donoso (2000) e Sanhueza et al. (2004), com base apenas em indicadores globais, comparam as distribuidoras chilenas e determinam, respectivamente, os custos eficientes e a receita permitida de cada concessionária.

A definição das tarifas por nível de tensão dá-se em um segundo momento, onde a receita permitida de uma distribuidora é alocada entre os seus níveis, com base nos respectivos custos marginais. Pode-se imaginar esta repartição da receita como uma “comparação” entre os níveis de tensão de uma concessionária.

Se o regulador, a partir de dados consolidados por empresa, compara concessionárias para definir os montantes de receita permitida e custos eficientes, pode-se admitir a mesma capacidade na definição de metas globais para os indicadores de continuidade de uma distribuidora. Da mesma forma, é natural que o regulador defina as metas locais de continuidade com base na meta global, comparando apenas os desempenhos dos conjuntos de uma mesma concessionária.

As considerações anteriores abrem espaço ao desenvolvimento de um novo modelo regulatório para o controle da continuidade do fornecimento no SEB.

Dado que os critérios para definição das metas de continuidade ocupam um lugar de destaque na regulação da continuidade, a presente tese tem como objetivo principal apresentar os contornos teóricos, assim como alguns resultados práticos de uma nova metodologia para a definição das metas de continuidade no SEB.

Seguindo os mesmos princípios da análise comparativa de desempenho estabelecida na Resolução Aneel nº 024/2000, propõe-se uma nova forma de implementar o modelo *yardstick competition* na definição das metas de continuidade.

Mais precisamente, 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. Em seguida, com base nas metas globais, definem-se os valores máximos de DEC e FEC para os conjuntos de uma mesma concessionária, denominados por metas locais de continuidade.

No primeiro estágio, tendo-se os dados consolidados por empresa, os desempenhos das concessionárias são comparados e ao final obtém-se uma sinalização de quanto cada uma deve melhorar globalmente os seus indicadores de continuidade, em relação às demais distribuidoras. Por considerar os dados

agregados por empresa, esta abordagem segue a forma usual de uma regulação tipo *yardstick competition* (Lima et al., 2002). O largo espectro e o maior histórico das informações agregadas aumentam a capacidade do regulador realizar uma comparação de desempenho.

A fronteira eficiente é um instrumento fundamental em comparações de desempenhos relativos (Benjó, 1999). A transformação de insumos (*inputs*) em produtos (*outputs*) pode ser efetuada de diversas maneiras, todas representadas no Conjunto de Possibilidades de Produção (CPP), sendo que as transformações mais eficientes localizam-se numa fronteira de eficiência que envolve o CPP. A fronteira é o lugar geométrico dos melhores desempenhos e a simples comparação desta com as concessionárias permite quantificar quanto cada uma deve melhorar sua posição em relação as demais.

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), com a finalidade de identificar fronteiras de eficiência e avaliar a eficiência técnica de unidades de produção ou DMUs (*Decision Making Units*).

A escolha da DEA justifica-se pelo fato dela ser a técnica ideal para implementação da *yardstick competition* (Bogetoft & Nielsen, 2003), pois além de identificar a fronteira eficiente, comparar os desempenhos e estabelecer as metas de continuidade para cada concessionária, a DEA identifica os *benchmarks* hipotéticos que servem de referência para cada distribuidora, um resultado que confere maior transparência ao processo regulatório.

A título de ilustração, considere o diagrama de dispersão dos indicadores DEC e FEC na Figura 4, onde cada ponto representa uma concessionária de distribuição. Com base neste gráfico pode-se imaginar a existência de uma fronteira de eficiência com os melhores desempenhos. As concessionárias que devem investir na melhoria da continuidade são aquelas que mais se distanciam da fronteira.

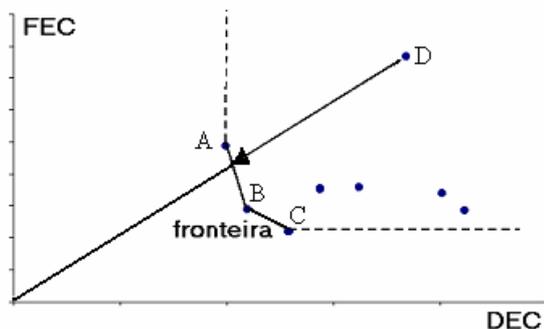


Figura 4: Fronteira de eficiência

As concessionárias situadas na fronteira (pontos A, B e C na Figura 4) são eficientes e não precisam melhorar seus desempenhos globais. Por outro lado, a concessionária D, distante da fronteira, poderia melhorar a sua performance reduzindo, radialmente, seus indicadores DEC e FEC até encontrar a fronteira de eficiência.

No segundo estágio, considerando-se cada concessionária separadamente, os desempenhos dos respectivos conjuntos são comparados e ao final determinam-se metas locais coerentes com a meta global da concessionária avaliada. Ao evitar a comparação direta de conjuntos situados em distintas áreas de concessão, espera-se contribuir para o processo de negociação das metas de continuidade entre o agente regulador e as distribuidoras.

O incremento global na disponibilidade do fornecimento pode ser considerado como um recurso a ser repartido entre os conjuntos de consumidores de uma distribuidora. Assim, no segundo estágio, 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).

1.4.

Modelos DEA na regulação técnico-econômica do setor elétrico

Fare et al. (1983) e Charnes et al. (1989) foram os pioneiros na utilização da DEA para avaliar a eficiência das empresas de eletricidade.

Na década de 90, Milliotis (1992) utiliza DEA para avaliar a eficiência de 45 regionais de distribuição do setor elétrico grego. Golany et al. (1994) formulam um modelo DEA para avaliar a eficiência das usinas termelétricas do sistema

elétrico de Israel, onde um dos *outputs* do modelo, a poluição do ar, é uma variável categórica. Bagdadioglu et al. (1996) comparam a eficiência de concessionárias públicas e privadas que operam na Turquia. Førsund & Kittelsen (1998) apresentam a evolução da produtividade das concessionárias norueguesas no período 1983/1989, enquanto Chitkara (1999) utiliza um modelo DEA para avaliar a eficiência de unidades térmicas de geração do sistema elétrico indiano, no período 1991/1995.

Korhonen & Luptacik (2000) avaliam a eficiência das usinas de geração de energia elétrica na Finlândia e apresentam novas abordagens para incorporar *outputs* indesejáveis (emissão de poluentes) nos modelos DEA. No mesmo ano Jasmab & Pollit (2000) mostram a difusão das técnicas para análise comparativa de desempenho, entre as quais destaca-se a DEA, nas atividades relacionadas com a regulação do setor elétrico. As medidas de eficiência obtidas pela DEA auxiliam os reguladores na definição do fator X e na quantificação do potencial de redução dos custos operacionais das concessionárias de distribuição (*cost efficiency*), dois parâmetros importantes no processo de revisão tarifária pelo método *price cap*.

Cherchye & Post (2001) analisam o modelo DEA utilizado pelo órgão regulador do sistema elétrico holandês.

Pahwa et al. (2002) avaliam a eficiência das 50 maiores distribuidoras norte-americanas.

Lo et al. (2001) e Chien et al. (2003) utilizam DEA na avaliação da eficiência de 22 regionais de distribuição em Taiwan e propõem uma reorganização das regionais para aumentar a eficiência. Um estudo similar é apresentado por Chen (2002), que faz uma avaliação cruzada para identificar regionais falsamente eficientes.

Sanhueza et al. (2004) apresentam uma interessante aplicação da DEA na determinação da receita permitida das distribuidoras chilenas, onde inclusive utilizam técnicas de reamostragem (*bootstrap*) para avaliar a precisão das estimativas dos índices de eficiência.

Mais recentemente, observa-se um esforço no sentido de integrar os aspectos custo e qualidade (continuidade) na avaliação da eficiência das concessionárias de distribuição. Por exemplo, na Finlândia e na Noruega, a receita permitida de uma concessionária depende de um indicador de eficiência (*cost efficiency*) obtido com base em um modelo DEA que inclui a duração das

interrupções como uma variável *proxy* da qualidade (Honkapuro et al., 2004; Tahvanainen et al., 2004). Qualquer redução nos custos e na duração das interrupções contribui para elevar o indicador de eficiência, assim, o regulador cria incentivos para melhoria da qualidade, enquanto promove a eficiência do setor (Tahvanainen et al., 2004).

Descrições mais detalhadas destes modelos podem ser encontradas nos trabalhos de Korhonen & Syrjänen (2002) e Lassila et al. (2003, 2004) que aplicam DEA na avaliação da eficiência das concessionárias de distribuição que operam na Finlândia.

Em Lassila et al. (2003, 2004) encontram-se algumas propostas de implementação da DEA na avaliação da eficiência das distribuidoras de eletricidade. Em uma delas os *inputs* são o custo operacional e o tempo de interrupção, este último um *input* não discricionário. Os autores mostram que o tempo de interrupção não afeta o índice de eficiência de boa parte das distribuidoras finlandesas. A solução proposta pelos autores consiste em desconsiderar o tempo de interrupção e somar o custo de interrupção ao custo operacional.

Considerando o número de consumidores que tiveram o fornecimento interrompido e a duração total destas interrupções (uma forma alternativa de expressar os indicadores de continuidade), Giannakis et al. (2003) avaliam a eficiência de 14 distribuidoras no Reino Unido com base em quatro modelos DEA com orientação ao insumo: dois modelos consideram apenas os custos operacionais e investimentos como *inputs*, um modelo considera apenas os indicadores de continuidade como *inputs* e um último modelo inclui os custos, investimentos e indicadores de continuidade como *inputs*. Comparando os *rankings* de eficiência obtidos pelos distintos modelos, observa-se que as distribuidoras mais eficientes, quando se consideram apenas os custos, não são as melhores no que se refere a qualidade do fornecimento. Isto significa que os modelos que incluem apenas custos não capturam a qualidade do fornecimento e por esta razão os autores recomendam a inclusão explícita da qualidade nos modelos para avaliação da eficiência.

Giannakis et al. (2003) também fazem uma análise da evolução dos indicadores de eficiência no período entre 1991 e 1999, e concluem que no Reino Unido houve um ganho de produtividade na distribuição de eletricidade, com o

deslocamento da fronteira de eficiência, atribuído à redução do *gap* de eficiência entre as distribuidoras, e por uma melhoria da qualidade do fornecimento. Analisando cada concessionária individualmente, os autores também encontram evidências de que, pelo menos no Reino Unido, os ganhos de eficiência foram acompanhados de uma melhoria na qualidade.

No âmbito do SEB a DEA ainda é pouco difundida. Entre os poucos trabalhos publicados destaca-se Resende (2002) que apresenta medidas de eficiência para 24 distribuidoras do SEB no período 1997/1998.

Vidal & Távora Júnior (2003) avaliam a eficiência das empresas de geração e distribuição e examinam a correlação das medidas de eficiência com indicadores tradicionalmente usados no setor, como o número de consumidores por empregado, a energia vendida por empregado, o montante de perdas e os indicadores de continuidade.

A partir das linhas gerais para o cálculo do Fator X, traçadas na Nota técnica Aneel nº 326/2002, Pessanha et al. (2004b) avaliam a eficiência (*cost efficiency*) de 60 distribuidoras do SEB, por meio de um modelo DEA com orientação ao insumo, tendo o custo operacional como única variável insumo e o IASC como uma variável produto *proxy* da qualidade.

Para evitar índices de eficiência artificialmente elevados, em contradição com pareceres prévios ou informações disponíveis, Sollero & Lins (2004) propõem um modelo DEA com restrições aos pesos e avaliam a eficiência de 22 distribuidoras do SEB.

Tanure (2004) propõe um aprimoramento da metodologia atualmente usada pela Aneel no estabelecimento das metas dos indicadores DEC e FEC. Em linhas gerais, sua proposta consiste na aplicação de um modelo DEA para construção de uma fronteira de eficiência em cada *cluster* de conjuntos de unidades consumidoras, a partir da qual definem-se índices de eficiência que expressam o potencial de melhoria da continuidade em cada conjunto.

Ressalta-se que esta abordagem ainda está sujeita às mesmas críticas da metodologia atual no que se refere a pouca homogeneidade dos *clusters* de conjuntos de unidades consumidoras. Para mitigar este problema, Tanure (2004) propõe a utilização de um algoritmo de análise de agrupamentos, denominado por *cluster* dinâmico, onde o desempenho de cada conjunto é comparado com o desempenho dos conjuntos mais semelhantes dentro de um raio de vizinhança.

A abordagem proposta por Tanure (2004) permite considerar apenas informações desagregadas por conjuntos de unidades consumidoras, entretanto, nem todas as variáveis relevantes são mensuradas com esta granularidade. Esta restrição impõe a necessidade de alguma aproximação para obter as informações desagregadas ou limita a lista das possíveis variáveis candidatas à *inputs* e *outputs* do modelo DEA.

Por fim, Pessanha et al. (2005a) formulam um modelo DEA para o estabelecimento das metas globais de continuidade do fornecimento e apresentam as metas para as principais concessionárias do SEB. No mesmo ano, Pessanha et al. (2005b) apresentam a primeira formulação de um modelo para definição das metas locais de continuidade dos conjuntos, a partir da desagregação das metas globais das concessionárias.

Destaca-se que Tanure (2004) propõe um modelo DEA para a regulação explícita da qualidade, cujo propósito é a definição de metas para os indicadores DEC e FEC. Por outro lado, Korhonen & Syrjänen (2002), Lassila et al. (2003, 2004) e Giannakis et al. (2003) propõem a inclusão da qualidade (continuidade do fornecimento) em modelos DEA que subsidiam a regulação tarifária, com o objetivo de integrar em um único modelo dois objetivos conflitantes: a redução de custos e a melhoria da qualidade.

O modelo DEA proposto nesta tese enquadra-se na regulação explícita da continuidade.

1.5. Organização da tese

A tese está organizada em sete capítulos, sendo o primeiro esta introdução, onde se contextualiza a continuidade do fornecimento de energia elétrica e define-se o objetivo da tese, que consiste na proposição de uma nova abordagem para o estabelecimento das metas de continuidade, com base em modelos de análise envoltória de dados. Ainda na introdução, fez-se uma breve revisão da literatura técnica sobre a utilização da análise envoltória de dados na regulação do setor elétrico, em particular na distribuição de eletricidade.

No capítulo 2, tem-se um histórico da evolução das normas legais para regulação da continuidade do fornecimento no SEB, com destaque para a

apresentação dos critérios adotados na fixação das metas de continuidade e no cálculo das penalidades por violação das metas.

No capítulo 3, faz-se uma breve introdução aos modelos de análise envoltória de dados, abordando desde os modelos DEA clássicos nas versões envelope e dos multiplicadores, com rendimentos constantes e variáveis de escala, passando pela inclusão de restrições aos pesos, e terminando com uma descrição resumida do modelo para alocação de recursos, baseado em DEA, proposto por Korhonen & Syrjänen (2003).

No capítulo 4, apresenta-se a formulação do modelo DEA para definição das metas globais de continuidade. A especificação do modelo é precedida pela seleção das variáveis insumos e produtos e pela segmentação do conjunto de concessionárias analisadas em três agrupamentos de distribuidoras comparáveis, identificados com o auxílio de uma Rede Neural Auto-Organizável (Jain et al., 1997; Braga et al., 1998), também conhecida como SOM (*Self Organizing Map*) ou Mapa de Kohonen.

Ressalta-se que outras técnicas para análise de agrupamentos poderiam ter sido utilizadas nesta segmentação, tais como: métodos estatísticos (Johnson & Wichern, 1998) e métodos baseado em lógica nebulosa (Jain et al., 1997). No entanto, a rede SOM é a única capaz de organizar um mapa, topologicamente ordenado, com todas as concessionárias representadas simultaneamente. Foi justamente esta propriedade que motivou a escolha desta técnica para realizar a segmentação do conjunto de distribuidoras.

A formulação do modelo para definição das metas locais de continuidade é apresentada no capítulo 5, onde destaca-se a adaptação do modelo para alocação de recursos, baseado em DEA, proposto por Korhonen & Syrjänen (2001).

Os modelos propostos foram aplicados no estabelecimento das metas de continuidade das duas principais concessionárias de distribuição de energia elétrica que atendem o Estado do Rio de Janeiro. Os principais resultados obtidos nestes estudos são apresentados no capítulo 6.

Finalmente, no capítulo 7 são apresentadas as conclusões da tese e sugeridas algumas linhas de pesquisa no tema.