

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

No início dos anos 90, se iniciou no Brasil um ambicioso programa nacional de desestatização. Este programa era parte do esforço brasileiro para atrair investimentos privados e estrangeiros para o setor de infra-estrutura, concentrando as ações do estado em áreas como educação e saúde. A privatização incluiu a rede de telecomunicações, os sistemas rodoviário e ferroviário e grande parte do setor elétrico.

O processo de privatização no Setor Elétrico Brasileiro foi acompanhado pela implementação de um novo modelo institucional e regulatório. Os objetivos desta reestruturação foram:

- assegurar um suprimento seguro e confiável de energia elétrica;
- encorajar a eficiência econômica em todos os segmentos do setor;
- permitir a implementação de novas plantas hidroelétricas economicamente viáveis; e
- tornar novos investimentos atrativos para o setor privado, em particular, através de uma apropriada alocação de riscos.

Diversos países no mundo também têm passado por processos de reestruturação do setor elétrico. Embora cada país tenha adotado um modelo específico, é possível identificar algumas características comuns:

- a introdução de competição na geração e na comercialização é utilizada para se alcançar uma maior eficiência econômica (com redução de preços e custos, melhores serviços e aperfeiçoamentos tecnológicos);
- a transmissão é considerada um monopólio natural, neutra, sujeita a forte regulação e controle de preços; e
- o segmento de distribuição também é tratado como um monopólio

regulado, sujeita a controle de preços.

A implementação de um modelo competitivo na área de geração é conceitualmente definida da seguinte forma: agentes privados decidem sobre a construção de novas usinas, e competem por contratos de venda de energia para as companhias distribuidoras e grandes consumidores (consumidores livres).

Entre os principais aspectos do novo modelo institucional e regulatório estabelecido para o Setor Elétrico Brasileiro deve-se destacar [1]:

- Criação do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), sendo este um órgão de assessoramento do Presidente da República para a formulação de políticas e diretrizes de energia no país, sendo composto por diversos Ministros de Estado.
- Criação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), órgão de estado, responsável pela regulação e fiscalização do setor elétrico, sendo também responsável pelo fornecimento de concessões / autorizações para o exercício de atividades em todos os segmentos do setor.
- Constituição do Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão (CCPE), entidade vinculada ao Ministério de Minas e Energia, responsável pelo planejamento da expansão do sistema elétrico.
- Criação do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), encarregado de despachar o sistema com o objetivo de garantir a adequada utilização dos recursos hidrelétricos do sistema interligado brasileiro.
- Estabelecimento do Mercado Atacadista de Energia (MAE), onde as relações comerciais entre os agentes (geradores e consumidores) participantes do MAE são regidas principalmente por contratos bilaterais, sendo que a liquidação financeira destes contratos é realizada diretamente entre as partes contratantes - a comercialização de energia resultante da diferença entre a energia contratada e a efetivamente realizada (mercado residual) tem a sua contabilização / liquidação feita através do MAE, ao preço spot.

Na maioria dos países que tiveram os setores elétricos reestruturados, a energia passou a ser comercializada em bolsas de energia como uma *commodity*. O pré-despacho do sistema é então definido em bases comerciais, derivando-se o preço spot a partir da livre interação entre oferta e demanda.

A expressão mercado spot tem sido utilizada no setor elétrico para designar a comercialização pré-operacional. Em geral, um mercado spot é caracterizado pelo pagamento à vista com entrega imediata do produto. Os mercados spot de energia em geral não atendem inteiramente esta descrição, uma vez que, nos mercados diários os preços para cada período horário são definidos no dia anterior ao que se dá a entrega do produto.

Atualmente, a comercialização de energia no MAE não é realizada como em uma bolsa de energia, com preços e quantidades negociadas livremente. Em vez disso, a comercialização no curto prazo é feita num regime denominado *tight pool*, onde o despacho e os preços spot são definidos centralizadamente pelo MAE, a partir de dados fornecidos pelo ONS e com base nas ferramentas computacionais de otimização utilizadas na programação da operação. Isto envolve o cálculo centralizado dos custos de oportunidade associados à água armazenada nos reservatórios. Os geradores hidroelétricos – que respondem por aproximadamente 84% da capacidade instalada do sistema – não podem fazer ofertas de preços por sua energia para compor o despacho. Ou seja, a capacidade de produção das usinas hidroelétricas é “ofertada” com base em custos de oportunidade calculados de forma centralizada. Originalmente, os geradores termelétricos também não ofertavam preços, declarando apenas custos variáveis de operação, que precisavam ser tecnicamente justificados. Atualmente, os geradores termelétricos podem ofertar preços por sua energia, entretanto há uma monitoração por parte da ANEEL, podendo haver punições em caso de abuso.

A utilização do *tight pool* é justificada pela pouca presença termelétrica nos sistemas interligados brasileiros e pelos complexos vínculos hidráulicos entre diferentes usinas hidrelétricas. Adicionalmente, a presença de múltiplos proprietários de diferentes usinas hidrelétricas em uma mesma cascata cria a necessidade de coordenação no despacho hidroelétrico.

Outra característica importante do modelo brasileiro é que o processo de liquidação da energia comercializada por geradores hidrelétricos no MAE é feito

através de um esquema baseado na produção hidráulica total, e não apenas nas gerações individuais efetivamente realizadas. Este esquema é denominado Mecanismo de Realocação de Energia (MRE) [2]. O MRE é um mecanismo de compartilhamento dos riscos hidrológicos, onde usinas hidrelétricas com produção superior as suas energias asseguradas (conceitualmente a energia assegurada de uma usina hidrelétrica é igual à sua contribuição para a energia que pode ser suprida pelo sistema hidrotérmico com uma confiança de 95%) têm parte desta energia realocada para outras usinas com produção abaixo de suas energias asseguradas. Assim, com o MRE, os geradores hidrelétricos têm direito a uma receita proporcional à sua contribuição para a capacidade assegurada de suprimento do sistema, independentemente da sua geração efetiva.

Em 2002, como parte das medidas de ajuste no setor elétrico formuladas em consequência do racionamento de energia de 2001, foi estudada no âmbito do governo uma proposta de mudança do *tight pool* para um esquema geral de despacho e precificação baseado em ofertas de preços, onde os geradores hidrelétricos também ofertariam preços. Este esquema de ofertas preservava a coordenação no despacho hidrelétrico e os princípios de compartilhamento de riscos do MRE, e era baseado na alteração da forma de compartilhamento da energia dos participantes do MRE. Ao invés de repartir a totalidade da energia gerada (mecanismo ex-post), passar-se-ia a repartir a energia afluyente às usinas participantes (mecanismo ex-ante). Após a alocação da energia afluyente, cada usina hidrelétrica teria a liberdade de ofertar no MAE os seus créditos de energia ao preço que julgasse justo. O preço spot seria formado e o despacho realizado com base no equilíbrio oferta/demanda, utilizando as ofertas dos participantes do MRE e dos demais agentes (geradores térmicos, conexões internacionais, ofertantes de redução de carga, etc.). Com base neste despacho comercial seria definida a produção hidrelétrica total. O ONS faria então de forma centralizada o despacho físico dessa produção. Entretanto, a produção hidrelétrica total seria alocada para contabilização no MAE apenas aos geradores cujas ofertas tivessem sido vencedoras. Os geradores hidrelétricos cujas ofertas não tivessem sido aceitas teriam os seus créditos de energia armazenados nos reservatórios do sistema. Esses créditos ficariam disponíveis para comercialização em períodos posteriores.

Uma vantagem deste esquema em relação ao *tight pool* é a transferência para os agentes da responsabilidade sobre suas decisões. Isto seria importante, pois eliminaria a tendência hoje observada por parte de determinados agentes de responsabilizar o ONS e/ou o governo por qualquer problema relativo a deplecionamento excessivo dos reservatórios. Independentemente do mérito deste argumento, ele perde completamente a consistência a partir do momento em que as decisões de deplecionamento são diferenciadas para os vários agentes, e tomadas de acordo com suas percepções de risco.

O principal problema deste esquema geral de ofertas é a possibilidade do exercício de poder de mercado por parte de determinados agentes. Isto se deve ao fato de que uma boa parte da capacidade de geração hidroelétrica em alguns subsistemas está concentrada nas mãos de poucas empresas, e, em casos extremos, de uma única empresa. Um problema subjacente é a questão das empresas públicas, e a forma como elas poderão ofertar sua energia neste ambiente, dado seu porte, sua capacidade de formar preços, e a possibilidade de oferecerem sua energia com preços formados por fatores além dos exclusivamente empresariais. Em função destes problemas, a implementação de um esquema geral de oferta de preços no Brasil foi deixada para um outro momento.

A partir da mudança de governo no início deste ano, iniciou-se o desenvolvimento, sob coordenação do Ministério de Minas e Energia, de uma proposta para uma nova alteração no modelo institucional e regulatório do setor elétrico. As principais alterações em relação ao modelo vigente deverão se concentrar em um aumento da importância do planejamento, na regulação da forma de contratação de energia pelas distribuidoras, principalmente no que se refere às contratações de longo prazo, e na licitação de novos projetos de geração. Estas mudanças buscam principalmente garantir a expansão com o menor impacto tarifário possível para os consumidores. Como esta proposta ainda encontra-se em discussão, não tendo sido enviada para o Congresso Nacional, não entraremos em maiores detalhes. Entretanto, como o foco desta tese é o mercado de curto-prazo e não estão previstas grandes mudanças nos processos de formação de preço e despacho, a sua aprovação não alterará as principais conclusões desta tese.

1.2 OFERTA ESTRATÉGICA DE PREÇOS E PODER DE MERCADO

Se a estrutura e o conjunto de regras de um mercado competitivo são bem concebidos e o número de agentes participantes grande o suficiente, o funcionamento do mercado tende à competição perfeita, ou seja, é obtida eficiência econômica. Em outras palavras, em um mercado com competição perfeita não há brechas que possam ser exploradas pelos agentes, nem espaço é deixado livre para jogos que distorçam a operação e/ou os preços.

Em mercados de competição perfeita, todos os produtores são *price takers*. Isto é, a oferta ótima para qualquer agente é sempre ofertar preços iguais aos seus custos variáveis de operação. Se um agente oferta um preço diferente de seu custo variável, tentando explorar imperfeições no mercado, para aumentar seus lucros, é dito que o agente está realizando uma oferta estratégica de preços. Se um agente consegue aumentar seus lucros utilizando ofertas estratégicas ou através de qualquer outro meio que não a redução de seus custos, ele é dito ter poder de mercado.

Infelizmente, os mercados de energia elétrica no mundo se aproximam mais de oligopólios do que de mercados de competição perfeita. Isto se deve a algumas características dos mercados de energia elétrica, como:

- número pequeno de produtores;
- grandes montantes de investimento;
- restrições de transmissão que isolam os consumidores de muitos geradores;
- perdas na transmissão que desencorajam consumidores a comprar de geradores distantes;
- limitação de armazenamento (apenas as hidroelétricas têm esta capacidade), etc.

Em função destas características, as empresas de geração podem tentar maximizar os seus lucros através de ofertas estratégicas de preços, ou seja, exercendo poder de mercado. Em alguns mercados, os grandes consumidores também participam do processo de ofertas (*demand side bidding*), neste caso, ofertando os preços que estariam dispostos a pagar, podendo, desta forma, estabelecer também ofertas

estratégicas de preços.

O objetivo desta tese de doutorado é investigar a utilização de ofertas estratégicas de preços em mercados de energia elétrica com predominância hidrelétrica. Será dada ênfase ao sistema brasileiro, tentando também identificar o potencial deste mercado para o uso do poder de mercado. Será analisada a possibilidade do estabelecimento de estratégias ótimas tanto no esquema atual de despacho baseado no *tight pool*, como em um esquema geral de oferta de preços, onde os geradores hidrelétricos também fariam ofertas.

1.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nos últimos anos, diversos trabalhos têm sido publicados sobre a construção de estratégias ótimas de oferta de preços nos mercados competitivos de energia elétrica [3]. Como na maioria dos mercados a competição está concentrada no segmento de geração, a maior parte da bibliografia trata do processo de oferta por parte de geradores, entretanto, a oferta pelo lado da demanda (*demand side bidding*) tem ganhado importância recentemente. Nesta tese nos concentraremos na oferta por parte dos geradores.

Simplificadamente, os métodos para a construção de estratégias ótimas de oferta podem ser divididos em três grupos:

- previsão do preço spot futuro;
- teoria do jogos; e
- estimação do comportamento das ofertas dos agentes competidores.

A utilização de previsões do preço spot para a determinação de estratégia ótima é simples em princípio [4]-[6]. O gerador teria apenas de ofertar um preço um pouco menor que o preço spot previsto. Entretanto, a previsão de preços em um mercado de energia elétrica não é um problema simples, requerendo análises que combinem previsão de carga e de condições hidrológicas (no caso de sistemas hidrotérmicos), com o entendimento do comportamento de ofertas dos agentes competidores. Como existem muito poucos dados históricos disponíveis, em função do pequeno tempo de funcionamento dos mercados de energia elétrica e das reformas ainda em andamento na maioria deles, é muito difícil obter previsões precisas para o preço spot. Adicionalmente, um outro grande problema deste

método é a hipótese de que a oferta de um agente qualquer não afeta o preço spot. Como os mercados de energia elétrica se aproximam mais de um oligopólio do que um mercado com competição perfeita, como visto anteriormente, esta é uma hipótese que não se sustenta. Por esta razão este método foi raramente utilizado para o desenvolvimento de estratégias ótimas de oferta em mercados de energia elétrica.

O segundo grupo de métodos utiliza os conceitos da teoria dos jogos. Muitos trabalhos aplicados a mercados de energia elétrica utilizam estes conceitos [7]-[16]. Alguns são baseados em representação matricial onde as estratégias de oferta são modeladas por quantidades discretas como “oferta alta”, “oferta média” e “oferta baixa”, para representar a natureza do jogo [8]-[9]. A partir das estratégias de ofertas discretas, matrizes de pagamento são construídas enumerando todas as possíveis combinações de estratégias, e um estado de equilíbrio que representa a estratégia ótima para todos os agentes pode ser obtido. Entretanto, na prática, as estratégias são contínuas e não há garantia teórica de que um estado de equilíbrio exista. Outros métodos utilizam modelos de jogos oligopolistas como os modelos de Cournot, Bertrand e Stackelberg [10]-[16]. Basicamente, estes métodos são mais apropriados para a análise de poder de mercado do que para a construção de estratégias ótimas de ofertas, apesar de em princípio, o estado de equilíbrio destes modelos representar a estratégia ótima para todos os participantes. A razão disto é que para a aplicação destes modelos a mercados de energia elétrica muitas simplificações devem ser introduzidas, e como resultado, o estado de equilíbrio pode não fazer sentido, do ponto de vista prático, como estratégia ótima. Adicionalmente, como as condições dos mercados de energia elétrica mudam muito rapidamente, é pouco provável que na prática os agentes concordem sobre um determinado estado de equilíbrio.

A maioria dos trabalhos publicados até o momento são baseados na estimação do comportamento das ofertas dos agentes competidores [17]-[26]. Um modelo baseado em programação dinâmica onde o comportamento dos agentes competidores é representado por valores esperados é apresentado em [17]. Um modelo heurístico para um caso simples de 3 geradores baseado em dados históricos foi proposto em [18]. Este modelo não é aplicável ao caso geral de mais de três geradores. Em [19], um modelo baseado em uma função de suprimento

linear foi utilizado para ilustrar algumas formas pelas quais o poder de mercado pode ser exercido. Um modelo similar a este foi utilizado em [20], com o comportamento dos competidores representado por densidades de probabilidades discretas. O problema de estratégia ótima de oferta foi modelado para um horizonte de planejamento em [21]. Neste trabalho um Processo de Decisão de Markov discreto no tempo e no espaço foi utilizado para determinar as estratégias de oferta dos geradores competidores. Em [22], os autores argumentam que como os mercados de energia elétrica são muito recentes e não há dados históricos suficientes, pode ser irrealista utilizar distribuições de probabilidade típicas para o comportamento dos competidores, e métodos heurísticos podem ser uma alternativa. Métodos de inteligências artificial como algoritmos genéticos são usados em [23]-[24] para desenvolver estratégias adaptativas e evolucionárias. Em [25], um método de relaxação Lagrangeana é proposto para estratégias diárias. As ofertas são representadas por funções quadráticas da geração e o comportamento dos competidores é representado por distribuições discretas conhecidas. Uma metodologia para o estabelecimento de estratégias ótimas baseada em um esquema de simulação Monte Carlo foi apresentado em [26]. Neste trabalho os agentes ofertam funções de suprimento lineares onde os coeficientes da função são modelados por densidades de probabilidade conjuntas.

1.4 ESTRUTURA DA TESE

Este capítulo apresentou algumas considerações gerais sobre o processo de reestruturação no Sistema Elétrico Brasileiro e a conceituação do problema de estratégia ótima de oferta de preços e poder de mercado em um mercado competitivo de energia elétrica, além de uma revisão bibliográfica.

Os principais conceitos relacionados ao planejamento da operação e a formação de preço em um mercado competitivo de energia elétrica são apresentados no Capítulo 2. Mostra-se que em sistemas hidrotérmicos as decisões operativas são acopladas no tempo, o que exige a utilização de técnicas de programação dinâmica para a solução do problema de programação da operação.

Conceitos básicos de Programação Dinâmica Estocástica utilizados na solução do problema de programação da operação em sistema hidrotérmicos são encontrados no Capítulo 3.

No Capítulo 4 é apresentado um resumo do processo atual de despacho e formação de preços no mercado de energia elétrica brasileiro. Este processo está baseado em um esquema centralizado com despacho e preços determinados através de modelos computacionais de otimização. Também é apresentada uma possível alternativa de mudança para um esquema de despacho e formação de preços baseado em ofertas.

A Teoria dos Jogos é o instrumento natural para a avaliação do potencial de poder de mercado em um mercado competitivo. Um resumo dos conceitos básicos desta teoria pode ser encontrado no Capítulo 5. São apresentados também três exemplos da aplicação desses conceitos em sistemas elétricos simples. Além da teoria dos jogos, algumas medidas de concentração de mercado podem ser utilizadas para avaliar poder de mercado. Neste capítulo também é encontrado um resumo das medidas de concentração de mercado mais utilizadas.

No Capítulo 6 formula-se o problema de estabelecimento de estratégias de oferta ótimas de preços em mercados competitivos de energia elétrica. É apresentada também a metodologia proposta para o tratamento deste problema, tanto para o caso de geradores termelétricos quanto para geradores hidrelétricos. Um ponto fundamental será a modelagem do comportamento de oferta dos agentes competidores.

Os resultados da avaliação do potencial de poder de mercado no sistema brasileiro são apresentados no Capítulo 7. Inicialmente é avaliado o poder de alterar preços dos geradores termelétricos no *tight pool*. Em seguida é avaliado o poder de mercado de todos os geradores (termelétricos e hidrelétricos) em um esquema geral de oferta de preços. Serão aplicadas também ao sistema brasileiro, as medidas de concentração de mercado apresentadas no Capítulo 5.

Os resultados da aplicação da metodologia para o estabelecimento de estratégias ótimas de oferta, detalhada no Capítulo 6, são apresentados no Capítulo 8. Mais uma vez serão apresentados resultados da aplicação ao *tight pool* e a um esquema geral de oferta de preços.

No Capítulo 9 são apresentadas as conclusões e sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

Finalmente, nos Apêndices A, B e C podem ser encontrados em seqüência: um detalhamento metodológico do modelo utilizado na formação do preço de curto prazo no sistema brasileiro, uma formulação matemática para um gerador de números aleatórios com função densidade de probabilidade triangular e os principais dados utilizados nas avaliações.