

Organizador: Eduardo Nery

Mercados e Regulação de Energia Elétrica



EDITORA INTERCIÊNCIA



cigré-Brasil

Rio de Janeiro – 2012

Copyright © 2012, by Eduardo Nery

Direitos Reservados em 2012 por Editora Interciência Ltda.

Diagramação: Maria de Lourdes Oliveira
Claudia Regina S. L. Medeiros

Revisão Ortográfica: Maria Paula da Mata Ribeiro
Maria Helena de Aguiar Huebra

Capa: Paula Almeida

CIP-Brasil. Catalogação-na-Fonte
Sindicato Nacional dos Editores de Livros, RJ

M524

Mercados e regulação de energia elétrica / [coordenação de Eduardo Nery].
- Rio de Janeiro: Interciência, 2012.
722 p.: il.; 25 cm.

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7193-279-1

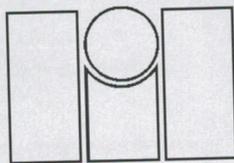
1. Energia Elétrica. 2. Energia elétrica - Brasil. 3. Energia elétrica -
Distribuição. 4. Profissionais. I. Nery, Eduardo.

12-0819.

CDD 333.790981
CDU 620.91

É proibida a reprodução total ou parcial, por quaisquer meios,
sem autorização por escrito da editora.

www.editorainterciencia.com.br



Editora Interciência Ltda.

Rua Verna Magalhães, 66 - Engenho Novo
Rio de Janeiro - RJ - 20710-290

Tels.: (21) 2581-9378 / 2241-6916 - Fax: (21) 2501-4760

e-mail: vendas@editorainterciencia.com.br

Impresso no Brasil - Printed in Brazil

LEILÕES DE COMPRA E VENDA DE ENERGIA ELÉTRICA NO AMBIENTE DE CONTRATAÇÃO LIVRE DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO – UMA VISÃO TEÓRICA

Eduardo Henrique Diniz Fittipaldi

Francisco S. Ramos

RESUMO

O Ambiente de Contratação Livre – ACL do setor elétrico brasileiro cresceu fortemente desde a sua criação com o surgimento de um número expressivo de consumidores livres. De 2007 a 2008 esse número decresceu um pouco com o retorno de alguns agentes para o ambiente regulado, como consumidores cativos. Mesmo assim, volumes consideráveis de energia e de dinheiro vêm sendo negociados nesse ambiente com o fechamento de contratos em períodos que vão de um mês até vários anos.

Uma das formas que mais têm sido utilizadas nesses processos de comercialização são os leilões com diferentes sistemáticas. Se o agente comprador ou vendedor for uma empresa sob o controle estatal, é obrigatória, inclusive, a compra e venda dessa energia utilizando essa forma de comercialização.

O artigo tem como finalidade analisar as diversas sistemáticas que vêm sendo utilizadas pelos agentes nos leilões de compra e venda de energia elétrica no Ambiente de Contratação Livre – ACL do setor elétrico brasileiro. Diversas formas e modalidades de leilões estão sendo utilizadas em leilões de ajuste (prazo de fornecimento de um mês) e em leilões de mais longo prazo (alguns meses até vários anos) nesse ambiente livre. Leilões abertos e/ou fechados, com jogadores conhecidos ou não, de primeiro e de segundo preço são algumas das formas que são usadas para a realização do melhor negócio

possível seja para compradores, seja para vendedores. Além disso, a análise consistirá também na descrição de cada forma e modalidade de leilão feita de um modo detalhado com a discussão dos pontos fortes e pontos fracos de cada uma delas.

Dessa forma, o artigo pretende servir de referência para as empresas que ainda não têm prática com essa forma de comercialização e desejam conhecer e utilizar de uma forma mais completa o potencial oferecido por essa ferramenta para compra e venda de energia elétrica.

4.1 TEORIA DOS JOGOS E TEORIA DOS LEILÕES: ALGUNS CONCEITOS

O universo de atuação da Teoria dos Jogos corresponde a qualquer situação de disputa, de impasse ou de confronto entre dois ou mais agentes (FUNDENBERG & TIROLE, 1991; GIBBONS, 1992 e OSBORNE & RUBINSTEIN, 1994). Além disso, espera-se que esses agentes, os jogadores do processo, ajam sempre de forma racional, buscando os melhores resultados para si dentro dessa situação de disputa. De acordo com Nash (1950), nessa teoria, os participantes agem independentemente e a noção de um Ponto de Equilíbrio é um ingrediente básico para se definir o resultado do jogo. Muito tem-se discutido sobre esse assunto, desde que surgiu pela primeira vez a publicação do livro *Game Theory and Economic Behavior* de Von Neumann & Morgenstern em 1944. A partir desses autores, pioneiros no desenvolvimento dessa teoria, podem-se estabelecer as principais ferramentas a serem utilizadas e que permitem analisar qualquer situação de conflito entre dois ou mais agentes que estão em uma determinada situação de disputa. Dessa forma, inúmeras foram as situações passíveis de serem estudadas e analisadas à luz dessa nova teoria emergente: a disputa por um cargo em suas mais diferentes formas, seja através de eleições ou outro mecanismo qualquer, o fechamento de um contrato entre duas empresas, a compra e a venda de um determinado objeto, uma situação de guerra entre dois ou mais países e até mesmo a simples disputa de quem seria o primeiro carro a passar em um cruzamento sem sinalização quando os dois estivessem ali ao mesmo tempo (VARIAN, 1992). O universo de abrangência de atuação dessa teoria é ilimitado, sob o ponto de vista de estudos e análises, e dá a qualquer situação de disputa um caráter científico com base nas teorias econômicas envolvidas.

Kreps (1990, 2001) e Mas-Collel *et alii* (1995) estabelecem que os elementos essenciais que constituem a base dessa teoria seriam os jogadores, agentes ativos ou passivos no processo; as ações desses jogadores, que correspondem aos atos

ou às “jogadas” que eles podem fazer; as estratégias, representando a(s) linha(s) de atuação que o jogador irá seguir para atingir seus objetivos determinados antes do início do processo; as informações disponíveis para cada jogador, sendo o conjunto de dados de que dispõe cada agente antes do desenvolvimento das suas estratégias; os resultados ou benefícios para os jogadores, correspondendo aos chamados *payoffs* ou “pagamentos” do jogo; o equilíbrio de jogo, se ele existe ou não além da natureza do jogo em si.

A Teoria dos Jogos pode ser dividida, de acordo com esses autores (KREPS, 1990; FUNDENBERG & TIROLE, 1991; GIBBONS, 1992; VARIAN, 1992; OSBORNE & RUBINSTEIN, 1994 e MAS-COLLEL *et alii*, 1995), em Jogos Cooperativos, em que os jogadores interagem cooperativamente entre eles para conseguir os melhores resultados para todos e Jogos Não Cooperativos, onde os agentes agiriam de forma racional, buscando os melhores resultados para si, sem se preocupar com o que estaria acontecendo com os outros competidores, sem haver ajuda entre eles. Ainda de acordo com aqueles autores, os Jogos Não Cooperativos podem ser divididos, por sua vez, em Jogos Estáticos (onde os jogadores agem ao mesmo tempo sem conhecer as jogadas do(s) outro(s) jogador(es)) e Jogos Dinâmicos (onde os jogadores movem-se em sequência conhecendo as ações anteriores uns dos outros). O jogo pode ser ainda de informações completas, quando o *payoff* de cada jogador é de conhecimento comum entre todos os jogadores, ou de informações incompletas, quando pelo menos um jogador possui incerteza em relação ao *payoff* de outro(s) jogador(es). Além disso, esse jogo pode possuir ainda informações perfeitas, quando todos os movimentos ou decisões dos jogadores são conhecidos por todos os outros jogadores, ou informações imperfeitas, quando pelo menos um jogador desconhece ou tiver dúvidas com relação ao movimento ou ação de outro(s) jogador(es) durante a realização do jogo.

Essa teoria vem sendo utilizada em inúmeras áreas do conhecimento, desde relações humanas que envolvam situações de conflitos e disputas até análises econômicas que envolvam o destino da população de um país, por exemplo. Shahidehpour, Yamin & Li (2002) aplicam diversos resultados da Teoria dos Jogos na análise do crescimento da competitividade no mercado de energia elétrica a fim de determinar os melhores *payoffs* para os “jogadores” em várias situações de operação dos mesmos.

Mecanismos de leilões têm sido bastante utilizados na comercialização de vários produtos de diferentes espécies, uma vez que representam processos que têm como finalidade criar um ambiente competitivo para a compra e a venda desses produtos. Nos setores elétricos de vários mercados pelo mundo, montantes de energia têm sido comercializados por geradores, produtores independentes e comercializadores que são demandados por distribuidores, consumidores livres

e cativos, e outros comercializadores. A análise de leilões como jogos de informações incompletas surgiu originalmente no artigo de Vickrey (1961). Dessa forma, a Teoria dos Leilões pode ser considerada como uma partição da Teoria dos Jogos, porém com regras, conceitos e embasamentos matemáticos bem definidos. Além disso, de acordo com Krishna (2002), os leilões, de uma forma geral, seriam jogos de informações imperfeitas e incompletas a serem “jogados” por agentes que representariam os vendedores de um lado e os compradores de outro. De acordo com as características apresentadas pelos diferentes tipos de leilão, eles têm sido o objeto de estudo de inúmeros pesquisadores. Klemperer (1999, 2000 e 2002) delimitou as principais características da Teoria dos Leilões e suas inúmeras aplicabilidades em três artigos já clássicos sobre o assunto (*Auction Theory: A Guide to Literature*, 1999, *Why Every Economist Should Learn Some Auction Theory*, 2000 e *What Really Matter in Auction Design*, 2002). Wolfstetter (1999) define o leilão como um mecanismo de lances descrito por um conjunto de regras que especificam como o ganhador é determinado e quanto ele pagará pelo bem adquirido. Rasmusen (2001) define que o leilão é usado como meio para extrair informação dos compradores quando os vendedores não sabem ao certo o valor do bem que está sendo vendido e desejam extrair o máximo benefício possível com a venda desse bem. De acordo com Silva (2003), o leilão funcionaria, portanto, como um mecanismo de formação de preços em que o próprio mercado revela, no decorrer do leilão, o valor do bem.

Em linhas gerais, de acordo com Krishna (2002), os leilões por sua vez podem ser divididos em leilões de objetos simples, quando apenas um único objeto será leiloado e leilões de múltiplos objetos, quando mais de um objeto, idênticos, semelhantes ou distintos, seriam leiloados. Dekrajangpetch & Sheblé (1999) classificam essas modalidades de leilão como de produtos homogêneos e heterogêneos. Correia (2005) classifica, de acordo com esse ponto de vista, em leilões de objetos únicos e leilões de objetos distintos. Com relação aos leilões de objetos únicos, o autor considera ainda que eles poderiam ser classificados como objetos indivisíveis e divisíveis. O leilão de um objeto de arte seria um leilão de um objeto único indivisível; já o leilão de um lote de energia seria de um objeto único, porém, divisível uma vez que ele poderia vir a ser adquirido ou vendido por mais de uma empresa. No entanto, mesmo no caso de objetos idênticos, serão considerados aqui leilões de múltiplos objetos quando mais de um objeto estiver sendo leiloado, mesmo que esse objeto possa ou não ser divisível. Esse aspecto é fundamental no que se espera que ocorra com o leilão a partir dos tipos específicos de agentes que participem deste. Tanto para leilões de objetos simples quanto para leilões de múltiplos objetos, vários são os tipos e modalidades que poderão ser utilizadas nesse mecanismo de compra e venda dos produtos.

Cada uma dessas modalidades poderá ser utilizada para a comercialização do(s) produto(s), mas um determinado tipo deverá ser escolhido para atingir os objetivos propostos pelo organizador do leilão ou o leiloeiro. A escolha da forma vai depender sobremaneira das características e hipóteses definidas para o mecanismo do leilão e os agentes envolvidos com este.

Dessa forma existem vários tipos e modalidades de leilões com características específicas para cada um deles as quais fazem com que um determinado leilão em particular venha a se tornar melhor do que outros para atingir determinados objetivos da comercialização. No entanto, de acordo com Klemperer (2000), não importa o tipo de leilão utilizado, sob certas condições, todos os tipos de leilão levam ao mesmo rendimento esperado (Princípio do Rendimento Equivalente). Apesar disso, determinados leilões se mostram mais eficientes que outros em determinados tipos de mercado de compra e venda de energia e se as condições mencionadas não forem satisfeitas, rendimentos e resultados bem distintos serão obtidos em cada um deles. Para que o resultado do leilão seja mantido, mesmo com diferentes formas de leilão sendo utilizadas, é necessário, como já afirmado, que algumas condições sejam satisfeitas:

- **Independência:** os valores estimados pelos agentes participantes são distribuídos de forma independente, ou seja, a avaliação de um agente não influencia a avaliação de outro agente.
- **Neutralidade ao Risco:** todos os agentes envolvidos são considerados neutros ao risco e procuram maximizar seus lucros esperados.
- **Sem Restrições Orçamentárias:** todos os agentes ofertantes são capazes de honrar suas ofertas sem restrições.
- **Simetria:** os valores estimados pelos agentes são distribuídos de acordo com uma mesma função de distribuição.

Dessa forma observa-se que apenas se todas essas condições forem verificadas é que os resultados são insensíveis ao tipo de leilão escolhido. Um modelo que obedeça a todas essas condições descritas é conhecido como Modelo Simétrico (KRISHNA, 2002). Ou seja, qualquer desvio em uma ou mais dessas condições anteriores já seria suficiente para que o resultado de um determinado leilão fosse sensível à modalidade escolhida.

Leilões, por sua vez, podem ser classificados de diversas formas estabelecendo muitas combinações para se formatar um determinado leilão de certo produto com o intuito de atingir alguns objetivos preliminares traçados pelo organizador do mesmo. A classificação a seguir é baseada em Khrisna (2002):

a) Classificação quanto à Natureza

De acordo com a natureza, o leilão se classifica pela maneira como os participantes, vendedores e compradores, atuam no mesmo. Dessa forma, os leilões classificam-se como:

- **Leilões de Oferta ou de Compra:** O leiloeiro ou os compradores determinam o(s) produto(s) que eles estão dispostos a adquirir (com as suas quantidades especificadas de acordo com o produto). Os vendedores, por sua vez, ofertam esses produtos com seus preços ao leiloeiro ou aos compradores diretamente podendo existir um preço reserva teto acima do qual os compradores não estão dispostos a pagar. Vence o ofertante que lançar o menor preço. Nesse leilão os compradores teriam uma posição passiva no decorrer do leilão enquanto os vendedores teriam uma posição ativa durante o mesmo.
- **Leilões de Demanda ou de Venda:** Os compradores fazem lances de demanda com os seus preços fixados para os produtos postos à venda pelos vendedores. Vence o jogador que oferecer o maior preço ao leiloeiro, que representa os vendedores, ou a esses agentes diretamente que sempre desejam vender o produto ao maior preço possível. Nesse leilão pode existir também um preço de reserva que seria o mínimo valor com que os vendedores estariam dispostos a negociar o produto. Diferentemente do leilão anterior, nesse tipo de leilão são os compradores que têm uma posição ativa enquanto os vendedores apresentam uma posição passiva durante o leilão.
- **Leilão Duplo:** Vendedores e compradores fazem ofertas simultâneas podendo haver ou não a participação do leiloeiro. O preço de fechamento desse tipo de leilão é determinado no intervalo entre os lances de oferta e de demanda, de acordo com regras estabelecidas no início do processo. Normalmente não há preços de reserva nesse leilão duplo uma vez que o preço de fechamento, como já explicitado, estará sempre compreendido entre os preços dos vendedores e dos compradores. Nesse leilão, tanto os compradores quanto os vendedores têm uma posição ativa, ofertando preços e/ou quantidades diretamente entre si ou sob a coordenação de um leiloeiro.

b) Classificação quanto à Forma

Define-se a forma de um leilão a partir do modo como os lances dos agentes são realizados:

- **Leilão Aberto:** Os participantes determinam seus lances de forma aberta e explícita, de forma que todos saibam o quanto foi estabelecido pelo

participante em questão. A oferta é sempre conhecida, porém o ofertante pode ou não ser divulgado, dependendo das regras estabelecidas. Esse leilão é assim, um processo dinâmico. O leilão aberto pode ser de Preços Ascendentes ou Leilão Inglês (em que os compradores dão lances pelo produto ofertado) ou de Preços Descendentes (em que os vendedores dão lances para os bens demandados). Um caso particular de leilões de preços descendentes é o Leilão Holandês em que o preço decresce continuamente até que um jogador aceite pagar esse preço terminando assim o leilão.

- **Leilão Fechado:** Os lances são apresentados ao leiloeiro pelos participantes em envelopes fechados e ocorre com apenas uma jogada (*one shot game*). Vencem os melhores lances, quer sejam de oferta ou de demanda. Num leilão ascendente, a maior oferta seria a vencedora e o contrário ocorreria num leilão descendente. Esse leilão pode ser de primeiro preço, em que a melhor oferta vence o leilão sendo pago esse valor, ou de segundo preço (ou de Vickrey), em que a melhor oferta leva o prêmio sendo pago o segundo melhor lance verificado no processo. Um tipo específico de leilão, dentro dessa classificação, seria o leilão no qual todos pagam, mas só a melhor oferta leva o prêmio (*all pay sealed-bid auction*).

Reynolds (1996) afirma que, nos leilões abertos, os jogadores participantes podem obter informações vantajosas observando e analisando os lances dos outros jogadores. A maior disponibilização de informações seria benéfica à atuação dos agentes. Ainda segundo essa autora, se vários jogadores permanecem no leilão, isto dá ao jogador a confiança de que a sua avaliação do produto estava correta e ele tende a dar lances maiores. De acordo com Khoroshilov & Dodonova (2004), um vendedor que quer maximizar sua receita esperada deve implementar o leilão inglês (aberto). Enquanto isso, Myerson (1981) salienta que o preço de reserva em um leilão inglês aberto deve ser maior que a avaliação do vendedor para o objeto.

c) Classificação quanto ao Preço de Fechamento

As classificações anteriores mostram como podem ser dados os lances de oferta nos leilões e como definir o jogador vitorioso no leilão. Essa classificação define o quanto o agente vencedor do leilão vai pagar ou receber pelo objeto leilado. De acordo com as regras do preço com que o produto será negociado, os leilões podem ser:

- **Leilão de Preço de Fechamento Uniforme:** Diferentes agentes compradores e/ou vendedores que vencem o leilão comercializarão os produtos pelo mesmo preço. Esses leilões podem ter ainda o preço uniforme de

fechamento de primeiro preço (em que o melhor lance é o preço a todos os vencedores) ou de segundo preço ou de Vickrey (em que o segundo melhor lance será o preço de fechamento aos vencedores do mesmo).

- **Leilão de Preço de Fechamento Discriminatório:** Nesse caso, cada agente vencedor no leilão pagará o seu valor de lance pelo produto adquirido. É um leilão que desencoraja o uso do poder de mercado que alguns agentes possuem para fixar o seu lance no produto requerido.

De acordo com Wolfstetter (1999), leilões de segundo preço tendem a ter seu preço de fechamento inferior ao preço ótimo devido à falta de conhecimento dos agentes ativos no processo de que a estratégia dominante é dar um lance igual ao seu preço de oportunidade daquele bem. Vickrey (1961) ressalta ainda que o leilão de segundo preço é incentivador, uma vez que leva os agentes participantes a apregoar lances equivalentes à sua valoração real do item. Por sua vez, Sheblé (1999) adianta que o leilão de primeiro preço é o tipo de leilão preferido dos vendedores, pois tendem a gerar preços superiores ao ótimo.

Segundo Silva (2003), diferentes modelos de leilões poderiam ser avaliados através de diferentes parâmetros para se medir o "sucesso" do referido leilão. Ainda segundo esse autor, pode-se avaliar um leilão em função de um dos seguintes parâmetros:

- Quantidade Negociada: Considera-se que um leilão atingiu seu objetivo, se ele consegue negociar o objeto posto em leilão ou negociar a máxima quantidade do objeto sendo ele um produto divisível.
- Excedentes Produzidos: Esses montantes são determinados a partir da diferença entre os preços dos compradores e dos vendedores multiplicada pela quantidade negociada. Um dos objetivos do leilão seria a maximização desses excedentes.
- Volume Negociado: Esse parâmetro é definido a partir do produto do preço final pela quantidade negociada e um dos objetivos do leilão poderia ser a maximização ou a minimização nesse volume.
- Preço de Fechamento: A classificação dos leilões quanto ao preço de fechamento, já definida anteriormente, mostrou que esse preço pode ser uniforme (primeiro ou segundo preço) e discriminatório; o objetivo do leilão poderia ser a maximização ou minimização nesses valores.

Klemperer (2000), Krishna (2002) e Menezes & Monteiro (2005) afirmam que as avaliações que os agentes dão aos produtos que estão sendo leiloados dependem do destino que os mesmos darão a esses produtos: para uso

próprio ou para revenda. Quando o produto vier a ser utilizado pelo próprio agente participante do processo, diz-se que o leilão é de Valores Privativos ou Particulares (*Private Values*), mas se o produto for adquirido para revenda, o leilão será de valores Interdependentes (*Interdependent Values*). Dessa forma, os autores consideram que a utilidade que os agentes destinam para o produto adquirido no leilão pode gerar valores distintos para esse produto. Ainda, segundo esses autores, um caso particular de leilão com valores interdependentes é aquele em que o valor do produto, embora desconhecido durante o leilão, seria o mesmo para todos os jogadores. Esse leilão é chamado de Leilão de Valores Comuns (*Common Values*).

No ACL os compradores do produto ofertado podem ser comercializadores ou consumidores livres. Dessa forma, agentes podem adquirir a energia para revenda ou para uso final. Com isso, de acordo com a classificação dada anteriormente, os leilões de venda seriam de valores privativos ou de valores interdependentes. O fato de os leilões serem classificados como um tipo ou outro irá influenciar sobremaneira no resultado final do leilão. Os teóricos afirmam que leilões de valores interdependentes podem produzir maiores receitas em leilões de segundo preço do que em leilões de primeiro preço.

Os autores revelam também a existência de agentes neutros, aversos e propensos ao risco de acordo com a sua disposição de arriscar ou não sua participação em jogos ou loterias. Sob esse ponto de vista, leilões de primeiro preço tenderiam a produzir maiores receitas esperadas do que os leilões de segundo preço, desde que os agentes participantes sejam aversos ao risco.

4.2 TEORIA DOS LEILÕES APLICADA AO SETOR ELÉTRICO: PROCESSOS DE COMPRA E VENDA DE ENERGIA ELÉTRICA

Leilões têm sido utilizados ativamente na comercialização de energia elétrica em vários mercados mundiais pela própria natureza que essa forma de negociação pode revelar em termos de preços e condições de pagamento e recebimento. Nesse ambiente, os jogadores participantes do processo seriam as empresas geradoras, empresas distribuidoras, empresas comercializadoras e consumidores finais de energia; as estratégias a serem adotadas por cada um deles representariam o conjunto de ações ou movimentos a serem realizados por eles no decorrer do leilão; os *payoffs* seriam os valores a serem recebidos pelos jogadores ao final do jogo ou os produtos adquiridos por eles, enquanto que regras específicas a serem estabelecidas pelo(s) órgão(s) responsável(is) definiriam a estrutura do jogo.

Por possuir alguns aspectos que as distinguem de outros bens, a compra e a venda de energia elétrica entre os diversos agentes produtores, consumidores e comercializadores apresentam algumas nuances e especificidades que devem ser discutidas, estudadas e analisadas de uma maneira mais aprofundada para que os mecanismos dos leilões possam vir a atingir os objetivos básicos definidos para cada um desses processos. Alguns artigos podem ser citados dentro dessa área de atuação da Teoria dos Leilões: Ethier *et alii* (1997) discutem sobre o *design* de leilões para mercados de energia elétrica competitivos enquanto Fabra, von der Fehr & Harbord (2002) fazem uma análise da utilização de várias formas de leilão para a comercialização em mercados de energia, explorando, inclusive a utilização de leilões de Vickrey nesses processos.

Além desses artigos que discutem a aplicabilidade dos leilões na comercialização de energia elétrica, outros trabalhos vêm sendo desenvolvidos na própria análise dos mercados de eletricidade em si, discutindo formas e modalidades para a aquisição desse bem em diferentes ambientes e estruturas do setor. Hunt & Shuttleworth (1996) propuseram quatro alternativas estruturais para os mercados de produção e comercialização de energia elétrica:

- Modelo 1: Monopólio em todos os níveis (geração, distribuição) até chegar ao consumidor final.
- Modelo 2: Agência compradora adquirindo energia aos geradores e repassando-a aos distribuidores.
- Modelo 3: Competição no atacado em que distribuidores escolhem uma agência compradora ou um gerador de quem adquirem a energia.
- Modelo 4: Competição no varejo em que os consumidores finais escolhem de quem irão adquirir a energia elétrica que irão consumir.

A energia elétrica é um produto de comercialização que não possui, sob o ponto de vista do mercado brasileiro, nenhuma diferenciação do ponto de vista técnico. Ao se comercializar esse produto, realiza-se um contrato puramente financeiro que não tem correspondência com a entrega física dessa energia. Dessa forma, empresas de produção não utilizam alguns parâmetros ou índices de qualidade para diferenciação dos seus produtos. A energia entra num ambiente de um grande *pool* comercial onde são realizados contratos bilaterais de compra e venda dessa energia. Com isso, a energia elétrica em si deveria ser considerada como um produto homogêneo de acordo com a classificação de Dekrajangpetch & Sheblé (1999). No entanto, o fato de poderem ser comercializados lotes de energia com diferentes prazos de fornecimento (e a partir daí, preços diferen-

ciados entre os produtos) fez com que se estabelecessem produtos heterogêneos para a energia elétrica ainda de acordo com a classificação daqueles dois autores.

Dekrajangpetch & Sheblé (1999) propuseram também algumas estruturas e formulações para os leilões de compra e venda de energia nos setores elétricos. De acordo com esses autores podem-se estabelecer leilões com os participantes do mesmo identificados (realizando negócios diretamente entre si) ou não identificados (em que os negócios são realizados a partir de uma "bolsa" onde ocorre o leilão). Esses participantes, jogadores do processo, seriam os vendedores e os compradores. Ainda segundo esses autores, os leilões podem envolver produtos com as mesmas características (produtos homogêneos) e com características distintas (produtos heterogêneos). Em cada um desses leilões, por sua vez, os lances (preços e/ou quantidades dos produtos) podem ser determinados pelos vendedores ou pelos compradores que definiriam, por sua vez, as características do leilão conforme as classificações mostradas anteriormente.

a) Leilão com Produtos Homogêneos e Jogadores Identificados

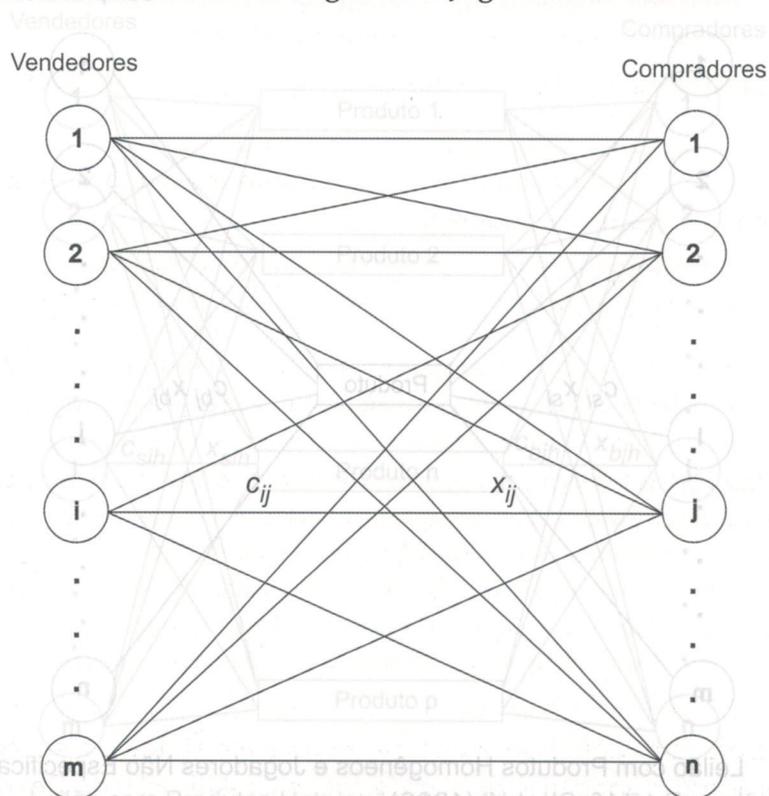


FIGURA 4.1 Leilão com Produtos Homogêneos e Jogadores Especificados.
Fonte: Dekrajangpetch & Sheblé (1999).

Nesse leilão existem m vendedores e n compradores com quantidades e preços especificados entre cada par de jogadores diretamente. Os preços das ofertas podem ser, por sua vez, determinados pelos vendedores (leilão de compra), pelos compradores (leilão de venda) ou por ambos, vendedores e compradores (leilão duplo). Do ponto de vista do organizador do leilão, pretende-se determinar os preços c_{ij} e as quantidades x_{ij} entre o vendedor i e o comprador j que atinjam os objetivos traçados para esse leilão específico. Esses objetivos poderiam ser a maximização da quantidade negociada, maximização dos excedentes produzidos no processo, minimização dos preços finais para a energia entre outros e que produziram restrições específicas no leilão. As restrições físicas envolvidas também devem ser levadas a termo na obtenção do resultado final, entrando como limitações no processo.

b) Leilão com Produtos Homogêneos e Jogadores Não Identificados

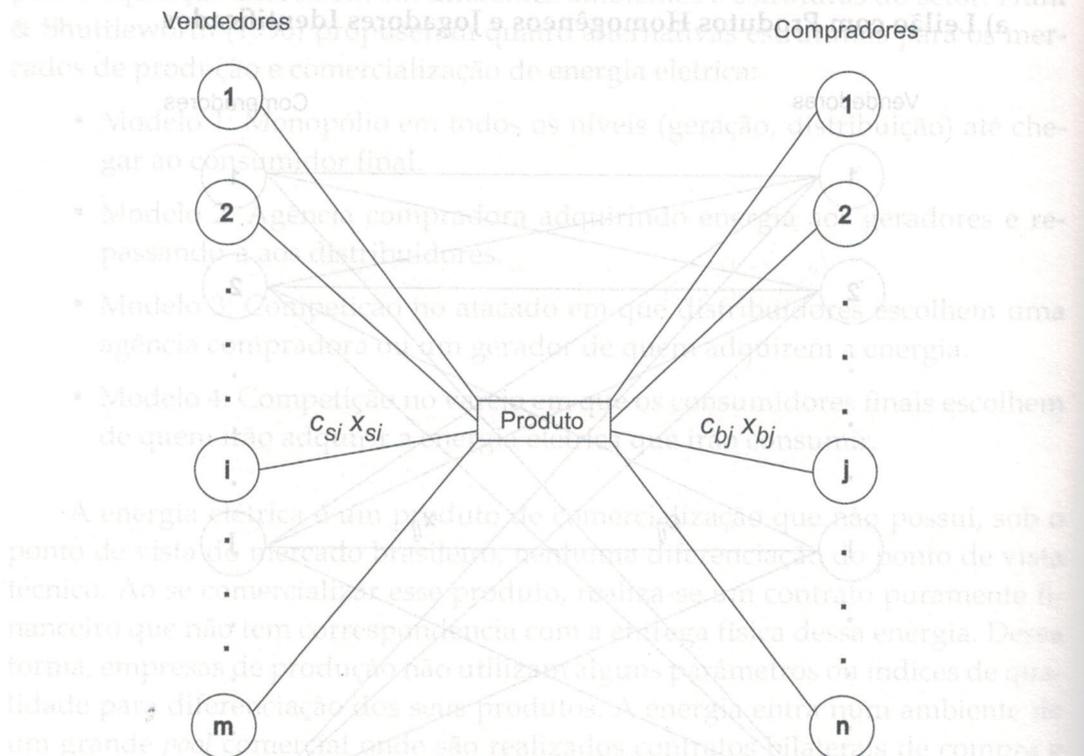


FIGURA 4.2 Leilão com Produtos Homogêneos e Jogadores Não Especificados.

Fonte: Dekrajangpetch & Sheblé (1999).

Nesse tipo de leilão, os negócios são fechados entre os vendedores e o leiloeiro ou entre os compradores e o leiloeiro, que nesse caso representam a contraparte na negociação. Os preços definidos pelos vendedores nos leilões de venda seriam representados por c_{si} (preço do vendedor i para o produto) enquanto as quantidades negociadas entre esses vendedores e o leiloeiro seriam x_{si} . Por outro lado, caso os preços sejam determinados pelos compradores, os preços e as quantidades negociadas entre o comprador j e o leiloeiro seriam, respectivamente, c_{bj} e x_{bj} . No caso do leilão duplo (vendedores e compradores dando lances de preços e/ou quantidades), as incógnitas do problema seriam as já definidas anteriormente (c_{si} , c_{bj} , x_{si} e x_{bj}) cujos valores finais devem ser ajustados para a obtenção dos objetivos específicos traçados para esse leilão. Salienta-se que nesse processo existem algumas restrições como capacidade de fornecimento ou de demanda que devem ser levadas em consideração na definição do resultado final.

c) Leilão com Produtos Heterogêneos e Jogadores Não Identificados

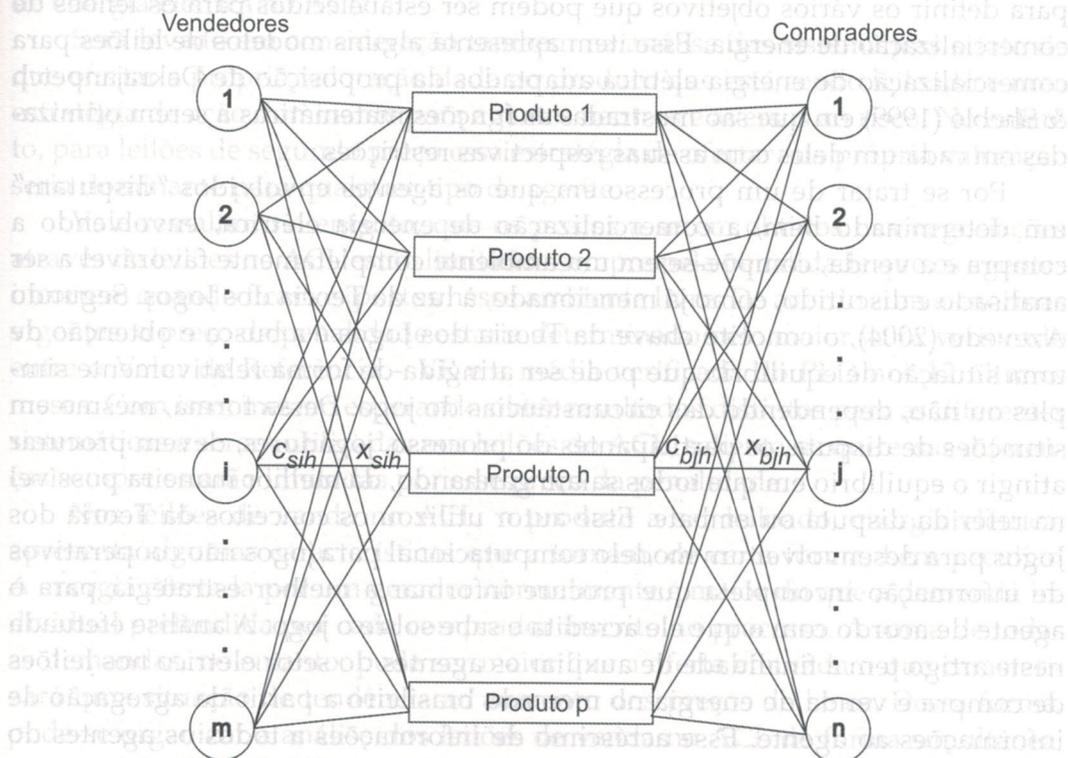


FIGURA 4.3 Leilão com Produtos Heterogêneos e Jogadores Não Especificados.

Fonte: Dekrajangpetch & Sheblé (1999).

O leilão de produtos heterogêneos representa uma espécie de leilão simultâneo de vários produtos homogêneos a partir de um leiloeiro que determina as regras e os resultados do referido leilão. Os vendedores podem realizar negócios com cada um dos mercados representados. Dessa forma, representa-se como x_{sih} a quantidade que sai do vendedor i para o produto h a um preço c_{sih} determinado pelo vendedor. Por outro lado, tem-se x_{bjh} como a quantidade que sai do produto h para o comprador j a um preço c_{bjh} definido pelo comprador. Esses parâmetros teriam as mesmas designações caso o leilão fosse do tipo duplo. O resultado final do leilão seriam as quantidades e os preços negociados por cada vendedor para cada produto atendendo ou não a cada um dos compradores. Esse resultado, definido pelo leiloeiro do processo, visa atender a determinados objetivos traçados quando da definição das regras desse leilão. De acordo com a obtenção ou não do objetivo ou objetivos originais traçados para o leilão em questão é que se pode avaliar o grau de sucesso ou fracasso do mesmo. No item 4.3, que trata da análise de vários tipos de leilão com suas funções objetivo a serem otimizadas aliadas às restrições envolvidas, serão analisados esses parâmetros de avaliação para definir os vários objetivos que podem ser estabelecidos para os leilões de comercialização de energia. Esse item apresenta alguns modelos de leilões para comercialização de energia elétrica adaptados da proposição de Dekrajanpetch & Sheblé (1999) em que são mostradas as funções matemáticas a serem otimizadas em cada um deles com as suas respectivas restrições.

Por se tratar de um processo em que os agentes envolvidos "disputam" um determinado bem, a comercialização de energia elétrica, envolvendo a compra e a venda, compõe-se em um ambiente completamente favorável a ser analisado e discutido, como já mencionado, à luz da Teoria dos Jogos. Segundo Azevedo (2004), o conceito chave da Teoria dos Jogos é a busca e obtenção de uma situação de equilíbrio que pode ser atingida de forma relativamente simples ou não, dependendo das circunstâncias do jogo. Dessa forma, mesmo em situações de disputa, os participantes do processo, jogadores, devem procurar atingir o equilíbrio em que todos saiam ganhando, da melhor maneira possível na referida disputa ou embate. Esse autor utilizou os conceitos da Teoria dos Jogos para desenvolver um modelo computacional para jogos não cooperativos de informação incompleta que procure informar a melhor estratégia para o agente de acordo com o que ele acredita e sabe sobre o jogo. A análise efetuada neste artigo tem a finalidade de auxiliar os agentes do setor elétrico nos leilões de compra e venda de energia no mercado brasileiro a partir da agregação de informações ao agente. Esse acréscimo de informações a todos os agentes do mercado, ainda de acordo com Azevedo (2004), concorreria para a diminuição do excedente e o aumento da liquidez nos leilões. A análise efetuada permite definir a participação de uma determinada empresa nos leilões de compra e venda de energia elétrica a partir das informações particulares disponíveis pela

mesma além da sua crença na atuação dos outros jogadores e da expectativa das crenças que os demais agentes possuem a seu respeito (*type* do agente). Busca-se, assim, a otimização da atuação da empresa nesse processo através da melhor estratégia de ação para a mesma.

De acordo com as características apresentadas anteriormente, pode-se considerar que os leilões de energia elétrica no ACL são Leilões de Valores Privativos, em determinadas situações, ou de Valores Interdependentes, em outras situações. Os agentes compradores participantes são empresas comercializadoras e consumidores livres que podem estar interessados em adquirir um determinado lote de energia para suprir uma necessidade específica da empresa ou para otimizar o seu portfólio de contratos nesse ambiente. Além disso, pode-se considerar também que os agentes participantes do leilão são aversos ou, no máximo, neutros ao risco. Como os montantes envolvidos nesse negócio de compra e venda de energia elétrica são muito vultosos, não se considera a existência de empresas propensas ao risco nesse mercado. Com isso, essas serão as hipóteses que serão adotadas na definição das sistemáticas dos leilões de compra e venda de energia elétrica no ACL.

Será levado em consideração também na análise das sistemáticas o fato de que ofertar a própria valoração dada ao produto que está sendo leiloado é uma estratégia de ação dominante para agentes neutros e aversos ao risco. No entanto, para leilões de segundo preço essa estratégia de ofertar sua própria valoração seria dominante para qualquer tipo de agente.

Vale ressaltar, no entanto, que os preços a serem obtidos nas negociações através de leilões no ACL estão limitados sempre pela penalidade que os agentes incorrem quando ficam expostos nesse ambiente livre. De acordo com as normas vigentes, o preço da penalidade estaria determinado pelo maior valor verificado entre o Valor de Referência - VR e a média verificada do PLD nos 12 últimos meses. Com isso, mesmo esperando obter resultados distintos para as diferentes sistemáticas a serem utilizadas nos leilões do ACL, salienta-se que essas diferenças sempre estarão limitadas por esse preço da penalidade.

Nos leilões de venda no ACL, o produto a ser leiloado, energia elétrica, apresenta algumas características que a tornam, de certa forma, bem peculiar. A energia ofertada por um gerador normalmente é maior do que a demanda individual pretendida por cada comprador inscrito no processo. A soma de todas as demandas, no entanto, pode ser maior que a oferta efetuada o que caracterizará uma situação de tendência ao aumento dos preços de lance. Dessa forma, pode-se organizar a análise dos leilões de venda no ACL de forma simultânea, com a oferta de toda quantidade de energia de uma só vez, ou sequencial, em que são ofertados lotes de energia um após o outro. Krishna (2002) e Menezes & Monteiro (2005) concluíram que leilões simultâneos produzem resultados distintos dos leilões sequenciais, considerando agentes neutros ou aversos ao risco.

4.3 MODELOS PARA LEILÕES DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

O objetivo deste item é apresentar diversos modelos que podem ser utilizados para leilões de compra e venda de energia elétrica com as suas características, objetivos e processos de otimização. Serão apresentados os modelos de leilões para sistemas elétricos de potência de acordo com as estruturas e formulações propostas por Dekrajangpetch & Sheblé (1999), nas quais se baseia todo esse item. A partir do conhecimento de todos esses modelos, pode-se estabelecer uma base comparativa para se definir qual seria o modelo mais indicado para atingir, de uma forma mais abrangente possível, as premissas e metas traçadas pelo agente que deseja adquirir ou vender energia elétrica no ambiente de contratação livre do mercado brasileiro.

De acordo com esses autores, os modelos em análise serão diferenciados entre si de acordo com as seguintes hipóteses:

- Tipos de produtos envolvidos no leilão: homogêneos (produtos iguais) ou heterogêneos (produtos com algum grau de distinção).
- Agentes participantes no leilão: especificados (quando os outros agentes sabem quem está realizando as ofertas) ou não especificados (quando os agentes participantes e ofertantes são desconhecidos dos demais agentes).
- Agentes ofertantes de preços e/ou quantidades: vendedores, compradores ou ambos.
- Leilão com ou sem preços de reserva estabelecidos pelos agentes ofertantes de preços.

Quando os preços são ofertados pelos agentes vendedores, tem-se o chamado Leilão de Compra de energia que é um leilão de preços descendentes a partir da oferta de venda dos agentes ativos nesse processo. Por outro lado, quando os preços são definidos pelos agentes compradores (ativos no processo), tem-se o Leilão de Venda com preços ascendentes. Em cada um desses leilões podem existir ou não os preços de reserva que representam o máximo preço que os compradores estariam dispostos a pagar pelo produto e o mínimo preço que os vendedores estariam dispostos a vender seus produtos. Caso os preços sejam definidos pelos vendedores e compradores, tem-se o Leilão Duplo onde não há necessidade de definição de preços de reserva uma vez que ambas as partes podem especificar os preços de acordo as suas disponibilidades para negociar.

De acordo com essas hipóteses estabelecidas, pode-se ter uma possibilidade muito grande de modelos específicos para leilões de comercialização de energia

elétrica em sistemas de potência. A seguir serão analisados alguns desses modelos com o problema de otimização correspondente associado a partir dos objetivos traçados em cada um deles. As variáveis utilizadas na representação desses modelos e suas respectivas otimizações são as seguintes:

TABELA 4.1 Variáveis para as Estruturas e Formulações de Modelos de Comercialização

i	Índice para os vendedores
j	Índice para os compradores
h	Índice para os tipos de produtos
C_{sij}	Preço do vendedor i para o comprador j , produtos homogêneos, agentes especificados
C_{bjj}	Preço do comprador j para o vendedor i , produtos homogêneos, agentes especificados
C_{si}	Preço do vendedor i , produtos homogêneos, agentes não especificados
C_{bj}	Preço do comprador j , produtos homogêneos, agentes não especificados
$C_{si,h}$	Preço do vendedor i , produtos heterogêneos de uma classe específica h
$C_{bj,h}$	Preço do comprador j , produtos heterogêneos de uma classe específica h
π_{si}	Preço de reserva definido pelo vendedor i
π_{bj}	Preço de reserva definido pelo comprador j
X_{ij}	Montante vendido pelo vendedor i para o comprador j , agentes especificados (homogêneo)
X_{si}	Montante vendido pelo vendedor i , agentes não especificados (homogêneo)
X_{bj}	Montante comprado pelo comprador j , agentes não especificados (homogêneo)
$X_{si,h}$	Montante vendido pelo vendedor i (produto heterogêneo de uma classe h)
$X_{bj,h}$	Montante comprado pelo comprador j (produto heterogêneo de uma classe h)
Y_{si}	Montante não vendido de um vendedor i
Y_{bj}	Montante não comprado pelo comprador j
S_i	Capacidade de suprimento do vendedor i
D_j	Demanda potencial do comprador j
m	Número total de vendedores
n	Número total de compradores
l	Número de classes de produtos (heterogêneos)

Fonte: Dekrajangpetch & Sheblé (1999).

A partir dessas variáveis definidas serão apresentados a seguir alguns modelos que podem ser utilizados na comercialização de energia elétrica juntamente com as funções que se pretende otimizar em cada um deles. Em todos esses modelos, a função a otimizar são os excedentes financeiros produzidos em cada um deles. Essa otimização será definida pelo organizador do leilão que procurará atingir o(s) objetivo(s) traçado(s) por ele quando da formatação do referido leilão. Como se trata de excedentes financeiros, a otimização constituiria a minimização da função custo no caso dos leilões de venda, da maximização da função receita no caso dos leilões de compra e da maximização da diferença entre a função receita e a função custo, no caso de leilões duplos.

A partir dos tipos de produtos a serem comercializados e da determinação dos preços dos mesmos, os seguintes modelos de formatação de leilões para a comercialização em mercados de energia podem ser definidos juntamente com suas funções de otimização:

a) Produtos Homogêneos, Agentes Especificados, Preços Determinados pelos Vendedores e Sem Preços de Reserva:

Nesse modelo de leilão de compra, a otimização será definida a partir da minimização da função custo total dos compradores determinada pelos preços dos produtos comercializados entre os agentes especificados e suas respectivas quantidades, sujeita às restrições de capacidade e demanda dos agentes participantes.

$$\begin{aligned} & \text{Mín.} \quad \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{sij} x_{ij} \\ \text{s.a} \quad & \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq S_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (\text{capacidade de fornecimento dos vendedores}) \\ & \sum_{i=1}^m x_{ij} \geq D_j \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (\text{demanda potencial dos compradores}) \\ & x_{ij} \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m \quad \text{e} \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

OBS: c_{sij} seria o preço mínimo final ofertado pelo vendedor i ao comprador j e x_{ij} seria a quantidade negociada do produto entre esses agentes i e j .

b) Produtos Homogêneos, Agentes Especificados, Preços Determinados pelos Vendedores e Com Preços de Reserva (definidos pelos compradores):

Nesse modelo de leilão de compra, a otimização será definida a partir da minimização da função custo total dos compradores determinada pelos preços dos produtos comercializados entre os agentes especificados e suas respectivas quantidades, acrescida dos montantes não adquiridos pelos compradores em virtude dos preços de reserva terem sido atingidos e valorados por esses preços, ainda sujeita às restrições de capacidade e demanda dos agentes participantes.

$$\text{Mín.} \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{sij} x_{ij} + \sum_{j=1}^n \pi_{bj} \gamma_{bj} \right)$$

$$\text{s.a.} \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq S_i \quad i = 1, 2, \dots, m \text{ (capacidade de fornecimento dos vendedores)}$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} + \gamma_{bj} \geq D_j \quad j = 1, 2, \dots, n \text{ (demanda potencial dos compradores)}$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m \text{ e } j = 1, 2, \dots, n$$

OBS.: c_{sij} seria o preço mínimo final ofertado pelo vendedor i ao comprador j e x_{ij} o montante comercializado entre esses agentes, π_{bj} é o preço acima do qual o comprador não aceita comprar (reserva) e γ_{bj} seria o montante não adquirido pelo comprador j .

c) Produtos Homogêneos, Agentes Especificados, Preços Determinados pelos Compradores e Sem Preços de Reserva:

Nesse modelo de leilão de venda, a otimização será definida a partir da maximização da função receita total dos vendedores determinada pelos preços dos produtos comercializados entre os agentes especificados e suas respectivas quantidades, sujeita às restrições de capacidade e demanda dos agentes participantes.

$$\text{Máx.} \quad \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{bij} x_{ij}$$

$$\text{s.a.} \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq S_i \quad i = 1, 2, \dots, m \text{ (capacidade de fornecimento dos vendedores)}$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq D_j \quad j = 1, 2, \dots, n \text{ (demanda potencial dos compradores)}$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m \text{ e } j = 1, 2, \dots, n$$

OBS.: c_{bij} seria o preço máximo final ofertado pelo comprador j ao vendedor i e x_{ij} a quantidade comercializada entre esses agentes.

d) Produtos Homogêneos, Agentes Especificados, Preços Determinados pelos Compradores e Com Preços de Reserva (definidos pelos vendedores):

Nesse modelo de leilão de venda, a otimização será definida a partir da maximização da função receita total dos vendedores determinada pelos preços dos produtos comercializados entre os agentes especificados e suas respectivas quantidades, acrescida agora dos montantes não vendidos pelos vendedores em virtude dos seus preços de reserva terem sido atingidos e valorados por esses preços, sujeita às restrições de capacidade e demanda dos agentes participantes.

$$\text{Máx.}_{x_{ij}, \gamma_{si}} \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{bij} x_{ij} + \sum_{i=1}^m \pi_{si} \gamma_{si} \right)$$

s.a $\sum_{j=1}^n x_{ij} + \gamma_{si} \leq S_i \quad i = 1, 2, \dots, m$ (capacidade de fornecimento dos vendedores)

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq D_j \quad j = 1, 2, \dots, n \text{ (demanda potencial dos compradores)}$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m \text{ e } j = 1, 2, \dots, n$$

OBS.: c_{bij} seria o preço máximo final ofertado pelo comprador j ao vendedor i e x_{ij} a quantidade do produto negociada entre eles, π_{si} é o preço abaixo do qual o vendedor i não aceita negociar (reserva) e γ_{si} seria a quantidade não comercializada pelo vendedor i .

e) Produtos Homogêneos, Agentes Especificados, Preços Determinados pelos Vendedores e pelos Compradores e Sem Preços de Reserva:

Nesse modelo de leilão duplo, a otimização será definida a partir da maximização da função receita total dos vendedores determinada pela diferença dos preços finais ofertados pelos compradores e pelos vendedores especificados e

suas respectivas quantidades, sujeita às restrições de capacidade e demanda dos agentes participantes.

$$\text{Máx. } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (c_{bij} - c_{sij}) x_{ij}$$

s.a $\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq S_i$ $i = 1, 2, \dots, m$ (capacidade de fornecimento dos vendedores)

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq D_j$$
 $j = 1, 2, \dots, n$ (demanda potencial dos compradores)
$$x_{ij} \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m \quad \text{e} \quad j = 1, 2, \dots, n$$

OBS.: c_{bij} seria o preço máximo final ofertado pelo comprador j ao vendedor i , c_{sij} seria o preço mínimo final ofertado pelo vendedor i ao comprador j e x_{ij} seria o montante comercializado entre cada par de agentes i e j .

f) Produtos Homogêneos, Agentes Não Especificados, Preços Determinados pelos Vendedores e Sem Preços de Reserva:

Nesse modelo de leilão de compra, a otimização será definida, mais uma vez, a partir da minimização da função custo total dos compradores. No entanto, no caso de agentes não especificados, a função a minimizar será determinada pelo produto dos preços comercializados por cada agente vendedor e suas respectivas quantidades, sujeita às restrições de capacidade e demanda dos agentes participantes.

$$\text{Mín. } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{si} x_{si}$$

s.a $x_{ij} \leq S_i$ $i = 1, 2, \dots, m$ (capacidade de fornecimento dos vendedores)

$$\sum_{i=1}^m x_{si} \geq \sum_{j=1}^n D_j$$
 (demanda potencial dos compradores)
$$x_{ij} \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m$$

OBS.: c_{si} seria o preço mínimo final ofertado por cada vendedor i para o produto e x_{si} seria a quantidade vendida do produto por cada um desses vendedores.

g) Produtos Homogêneos, Agentes Não Especificados, Preços Determinados pelos Vendedores e Com Preços de Reserva (definidos pelo leiloeiro):

Nesse modelo de leilão de compra, a otimização será definida a partir da minimização da função custo total dos compradores determinada pelo produto dos preços de cada agente vendedor e suas respectivas quantidades, acrescida ainda do montante do produto homogêneo não adquirido pelos compradores em virtude do preço de reserva desse produto ter sido atingido e valorados por esse preço, ainda sujeita às restrições de capacidade e demanda dos agentes participantes. Saliente-se que, uma vez que os agentes não são especificados, o preço de reserva, único por produto, será determinado pelo leiloeiro a partir de sinais de custos ou de disponibilidade a pagar emitidos pelos compradores.

$$\text{Mín. } (x_{si}, \gamma_b) \left(\sum_{i=1}^m c_{si} x_{si} + \pi_b \gamma_b \right)$$

s.a $x_{ij} \leq S_i$ $i = 1, 2, \dots, m$ (capacidade de fornecimento dos vendedores)

$$\sum_{i=1}^m x_{si} + \gamma_b \geq \sum_{j=1}^n D_j \text{ (demanda potencial dos compradores)}$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \gamma_b \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m$$

OBS.: c_{si} seria o preço mínimo final ofertado por cada vendedor i para o produto e x_{si} seria a quantidade do produto vendida por cada um deles, π_b é o preço acima do qual nenhum comprador aceita comprar tal produto (reserva) e γ_b seria o montante não adquirido do produto em questão pelos compradores (uma vez que o seu preço de reserva foi atingido).

h) Produtos Homogêneos, Agentes Não Especificados, Preços Determinados pelos Compradores e Sem Preços de Reserva:

Nesse modelo de leilão de venda, a otimização será definida também a partir da maximização da função receita total dos vendedores determinada pelos preços máximos de cada comprador para o produto e suas respectivas quantidades, sujeita às restrições de capacidade e demanda dos agentes participantes.

$$\text{Máx. } (x_{bj}) \sum_{j=1}^n c_{bj} x_{bj}$$

s.a $x_{bj} \leq D_j$ $j = 1, 2, \dots, n$ (demanda potencial dos compradores)

$$\sum_{j=1}^n x_{bj} \leq \sum_{i=1}^m S_i \quad i=1, 2, \dots, m \text{ (capacidade de fornecimento dos vendedores)}$$

$$x_{bj} \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

OBS.: c_{bj} seria o preço máximo final ofertado por cada comprador j para o produto e x_{bj} seria a quantidade do produto adquirida por cada um desses compradores.

i) Produtos Homogêneos, Agentes Não Especificados, Preços Determinados pelos Compradores e Com Preços de Reserva (definidos pelo leiloeiro):

Nesse modelo de leilão de venda, a otimização será definida a partir da maximização da função receita total dos vendedores determinada pelo produto dos preços máximos de cada agente comprador e suas respectivas quantidades, acrescida ainda do montante do produto homogêneo não comercializado pelos vendedores em virtude do preço de reserva desse produto ter sido atingido e valorados por esse preço, ainda sujeita às restrições de capacidade e demanda dos agentes participantes. Mais uma vez, saliente-se que a partir da não especificação dos agentes, o preço de reserva, único por produto, será determinado pelo leiloeiro a partir de sinais de custos ou de disponibilidade a receber emitidos pelos vendedores.

$$\text{Máx.} \left(\sum_{j=1}^n c_{bj} x_{bj} + \pi_s \gamma_s \right)$$

$$\text{s.a.} \quad \sum_{j=1}^n x_{bj} \leq D_j \quad j=1, 2, \dots, n \text{ (demanda potencial dos compradores)}$$

$$\sum_{j=1}^n x_{bj} + \gamma_s \leq \sum_{i=1}^m S_i \quad \text{(capacidade de fornecimento dos vendedores)}$$

$$x_{bj} \geq 0 \quad \gamma_s \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

OBS.: c_{bj} seria o preço máximo final ofertado por cada comprador j para o produto e x_{bj} é a quantidade adquirida por cada comprador j , π_s é o preço abaixo do qual nenhum vendedor aceita vender tal produto (reserva) e γ_s seria o montante não vendido do produto em questão pelos vendedores (uma vez que o seu preço de reserva foi atingido).

j) Produtos Homogêneos, Agentes Não Especificados, Preços Determinados pelos Vendedores e pelos Compradores e Sem Preços de Reserva:

Nesse modelo de leilão duplo, a otimização será definida a partir da maximização da função receita total dos vendedores determinada pela diferença entre o montante obtido pelo produto do preço máximo ofertado pelos compradores e suas respectivas quantidades e o montante obtido pelo preço mínimo oferecido pelos vendedores com suas quantidades específicas. Essa função ainda estaria sujeita às restrições de capacidade e demanda dos agentes participantes.

$$\begin{aligned} & \text{Máx.}_{x_{si}, x_{bj}} \left[\sum_{j=1}^n c_{bj} x_{bj} - \sum_{i=1}^m c_{si} x_{si} \right] \\ \text{s.a } & x_{si} \leq S_i \quad i = 1, 2, \dots, m \text{ (capacidade de fornecimento dos vendedores)} \\ & x_{bj} \leq D_j \quad j = 1, 2, \dots, n \text{ (demanda potencial dos compradores)} \\ & \sum_{i=1}^m x_{si} - \sum_{j=1}^n x_{bj} = 0 \\ & x_{si} \geq 0, \quad x_{bj} \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m \text{ e } j = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

OBS.: c_{bj} seria o preço máximo final ofertado pelo comprador j para o produto com x_{bj} sendo a quantidade adquirida por cada agente comprador a esse preço, c_{si} seria o preço mínimo final ofertado pelo vendedor i para o mesmo produto e x_{si} é a quantidade do produto vendida por cada um desses agentes.

k) Produtos Heterogêneos, Agentes Não Especificados, Preços Determinados pelos Vendedores e pelos Compradores e Sem Preços de Reserva:

No caso de produtos heterogêneos sendo comercializados através de um mercado, o problema de otimização pode ser encarado como similar aos anteriormente analisados e discutidos considerando cada um dos múltiplos produtos como se fosse um produto homogêneo em particular. Dessa forma, cada uma das funções a serem otimizadas como apresentadas nos itens anteriores deverá ser considerada para cada um dos produtos heterogêneos.

Para o caso particular do leilão duplo já mostrado, a otimização será definida a partir da maximização da função receita total dos vendedores determinada pela diferença entre o montante obtido pelo produto do preço máximo ofertado pelos compradores e suas respectivas quantidades e o montante obtido pelo preço mínimo oferecido pelos vendedores com suas quantidades específicas. Essa

função deveria ser maximizada para cada um dos produtos heterogêneos (h classes de produtos) e ainda estaria sujeita às restrições de capacidade e demanda dos agentes participantes.

$$\begin{aligned} & \text{Máx.} \\ & x_{si,h} / x_{bj,h} \sum_{h=1}^l \left[\sum_{j=1}^n c_{bj,h} x_{bj,h} - \sum_{i=1}^m c_{si,h} x_{si,h} \right] \\ \text{s.a.} \quad & \sum_{h=1}^l x_{si,h} \leq S_i \quad i=1, 2, \dots, n \text{ (capacidade de fornecimento dos vendedores)} \\ & \sum_{h=1}^l x_{bj,h} \leq D_j \quad j=1, 2, \dots, n \text{ (demanda potencial dos compradores)} \\ & \sum_{i=1}^m x_{si,h} - \sum_{j=1}^n x_{bj,h} = 0 \quad h=1, 2, \dots, l \\ & x_{si,h} \geq 0, \quad x_{bj,h} \geq 0 \quad i=1, 2, \dots, m, \quad j=1, 2, \dots, n \quad \text{e} \quad h=1, 2, \dots, l \end{aligned}$$

OBS.: $c_{bj,h}$ seria o preço máximo final ofertado pelo comprador j para o produto h com $x_{bj,h}$ sendo a quantidade adquirida do produto em questão por cada agente comprador a esse preço, $c_{si,h}$ seria o preço mínimo final ofertado pelo vendedor i para o mesmo produto e $x_{si,h}$ é a quantidade do produto h vendida por cada um desses agentes.

Os modelos propostos por Dekrajangpetch & Sheblé (1999) representam as funções, com suas respectivas restrições, que devem ser otimizadas do ponto de vista do leiloeiro ou organizador do leilão. Como já definido anteriormente, a função a otimizar em todas esses modelos era o excedente financeiro produzido em cada operação com suas restrições associadas. Em todos os modelos apresentados, observam-se como variáveis a serem determinadas pelo problema as quantidades dos produtos a serem ofertadas por agentes vendedores e/ou compradores. O projeto desses mecanismos de leilão considera os preços finais ofertados por vendedores e/ou compradores como variáveis previamente definidas antes do processo de otimização. Dessa forma, a otimização irá determinar as quantidades a serem adquiridas e/ou vendidas a partir de um nível de preços previamente estabelecido por vendedores e/ou compradores. A determinação desses preços finais está além do escopo das otimizações apresentadas, sendo realizada durante o leilão e antes do processo de maximização ou minimização em si. Essa definição dos preços finais ofertados vai depender fortemente das es-

estratégias a serem adotadas pelos diversos agentes participantes e de suas características notadamente aquelas voltadas ao seu comportamento perante o risco.

Os modelos anteriores formularam os problemas de otimização considerando quatro possibilidades para diferenciá-los: produtos homogêneos ou heterogêneos, agentes ofertantes especificados ou não especificados, preços definidos por vendedores, por compradores ou por ambos e com e sem preços de reserva. A energia elétrica, em termos de sua estrutura física, é um produto homogêneo já que se trata de um fluxo de elétrons multiplicado pela diferença de potencial a que esse fluxo se acha submetido considerado em um tempo específico. No entanto, o formato do leilão pode considerar características específicas para essa energia como período de fornecimento, reajustes nos preços de pagamento, prazos para pagamento e outras considerações dessa ordem. Pode-se até estabelecer diferenças na qualidade da energia fornecida como fatores de diferenciação do produto. No entanto, com os sistemas interligados, a energia física entregue ao comprador não é necessariamente produzida pelo vendedor correspondente. Dessa forma, muitas vezes, os contratos de compra e venda de energia são contratos apenas financeiros, amparados por lastros de energia alocados aos vendedores de acordo com os seus montantes de geração próprios ou adquiridos e das garantias estabelecidas por eles, sem ter a obrigatoriedade da entrega física do produto. Com essas diferenciações, a energia elétrica vem sendo tratada em muitos ambientes de comercialização como um produto heterogêneo (DEKRAJANGPETCH & SHEBLÉ, 1999) ou múltiplo (KRISHNA, 2002). Essa consideração, por sua vez, abre a possibilidade de um número crescente de formas e modalidades para o leilão a ser realizado na comercialização dos produtos.

O leiloeiro define as regras e procedimentos para o mesmo. A partir dessas regras e das características de cada agente jogador, os preços a serem ofertados para os produtos vão sendo definidos através de suas estratégias de atuação até atingirem seus valores finais. Os modelos em análise, a partir da definição desses preços finais, alocam as quantidades entre os agentes de acordo com suas ofertas sempre visando à otimização requerida na formatação do leilão, seja ela de maximização ou de minimização. Os modelos apresentados sempre consideraram como funções de otimização a minimização do montante a ser pago pelos agentes compradores, quando eles são definidores de preços ou a maximização do montante a ser recebido pelos agentes vendedores, quando eles são os determinantes dos preços ou em leilões duplos. Ou seja, os modelos de Dekrajangpetch & Sheblé (1999) procuram sempre maximizar os excedentes do leilão. Os leilões são tratados como um problema de atribuição (*assignment problem*) devendo ser resolvidos por algoritmos específicos.

Etapa 1: No entanto, outras funções poderiam vir a serem utilizadas na otimização e alocação dos produtos entre os agentes a partir de suas ofertas finais. Silva (2003) considera um modelo de leilão em duas etapas: a primeira compreendendo um processo de maximização dos excedentes, de acordo com os modelos anteriores e a segunda considerando um modelo de maximização da quantidade negociada em que são introduzidas novas restrições que farão com que os vendedores e compradores com os melhores lances tenham preferência no negócio sem detrimento da quantidade negociada. A formulação matemática desse modelo encontra-se representada a seguir, sendo as variáveis envolvidas semelhantes às dos modelos anteriores.

1º Caso: Agentes Especificados

Etapa 1: Maximização da Quantidade Negociada

$$\text{Máx. } x_{ij} \quad \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij}$$

$$\text{s.a. } \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq S_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (\text{restrições dos vendedores})$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq D_j \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (\text{restrições dos compradores})$$

$$0 \leq x_{ij} \leq u_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, m \text{ e } j = 1, 2, \dots, n$$

Onde u_{ij} representa o universo de possíveis negócios entre o vendedor i e o comprador j . Esse universo corresponde aos máximos valores de disponibilidade do vendedor ou de demanda do comprador, desde que o preço a pagar do comprador seja maior ou igual ao preço de venda do vendedor. Assim $u_{ij} = x_{bj}$ se o preço do comprador for maior que o do vendedor e $x_{si} \geq x_{bj}$; $u_{ij} = x_{si}$ se o preço do comprador for maior e $x_{si} < x_{bj}$. Se o preço do comprador for menor que o do vendedor, $u_{ij} = 0$.

Etapa 2: Maximização dos Excedentes

$$\begin{aligned} & \text{Máx. } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (c_{bij} - c_{si}) x_{ij} \\ \text{s.a. } & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij}^{-1} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (x_{ij}^{-1} x_{ij} \text{ é o montante definido na etapa anterior}) \\ & \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq S_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (\text{capacidade de fornecimento dos vendedores}) \\ & \sum_{i=1}^m x_{ij} \leq D_j \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (\text{demanda potencial dos compradores}) \\ & x_{ij} \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m \quad \text{e } j = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

2º Caso: Agentes Não Especificados

Etapa 1: Maximização da Quantidade Negociada

$$\begin{aligned} & \text{Máx. } \sum_{i=1}^m x_{si} + \sum_{j=1}^n (c_{bij} - c_{si}) x_{ij} \\ \text{s.a. } & x_{si} \leq S_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (\text{capacidade de fornecimento dos vendedores}) \\ & x_{bj} \leq D_j \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (\text{demanda potencial dos compradores}) \\ & \sum_{i=1}^m x_{si} - \sum_{j=1}^n x_{bj} = 0 \\ & 0 \leq x_{si} \leq u_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, m \\ & 0 \leq x_{bj} \leq u_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

Onde u_{ij} representa o universo de possíveis negócios entre o vendedor i e a bolsa de comercialização e entre o comprador j e a bolsa. Esse universo corresponde aos máximos valores de disponibilidade do vendedor ou de demanda do comprador, desde que o preço a pagar do comprador seja maior ou igual ao preço de venda do vendedor de acordo com o que já foi apresentado anteriormente.

Etapa 2: Maximização dos Excedentes

$$\begin{aligned} & \text{Máx. } \sum_{j=1}^n c_{bj} x_{bj} - \sum_{i=1}^m c_{si} x_{si} \\ & \text{s.a. } x_{si} \leq S_i \quad i = 1, 2, \dots, m \text{ (capacidade de fornecimento dos} \\ & \quad \quad \quad \text{vendedores)} \\ & \quad \quad \quad x_{bj} \leq D_j \quad j = 1, 2, \dots, n \text{ (demanda potencial dos compradores)} \\ & \text{s.a. } \sum_{i=1}^m x_{si} = \sum_{i=1}^m x_{ij}^{-1} \quad (x_{ij}^{-1} \text{ é o montante definido na etapa anterior)} \\ & \quad \quad \quad \sum_{j=1}^n x_{si} = \sum_{j=1}^n x_{ij}^{-1} \quad (x_{ij}^{-1} \text{ é o montante definido na etapa anterior)} \\ & \quad \quad \quad x_{si} \leq S_i \quad i = 1, 2, \dots, m \text{ (capacidade de fornecimento dos} \\ & \quad \quad \quad \text{vendedores)} \\ & \quad \quad \quad x_{bj} \leq D_j \quad j = 1, 2, \dots, n \text{ (demanda potencial dos compradores)} \\ & \quad \quad \quad \sum_{i=1}^m x_{si} - \sum_{j=1}^n x_{bj} = 0 \\ & \quad \quad \quad x_{si} \geq 0, \quad x_{bj} \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m \text{ e } j = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

De acordo com as formas de leilão discutidas e apresentadas nos modelos anteriores, fez-se a otimização dos excedentes produzidos no mesmo. Como observado, para os leilões de compra em que os preços são definidos pelos vendedores, o excedente do vendedor produzido seria:

$$EV = (P_{Final} - P_{Vendedor}) * Q_{Negociada}$$

já para o leilão de venda com os preços definidos pelos compradores, o excedente do vendedor agora seria:

$$EC = (P_{Comprador} - P_{Final}) * Q_{Negociada}$$

e para o caso do leilão duplo, esse excedente seria o Benefício Social cuja função a otimizar seria:

$$BS = (P_{Comprador} - P_{Vendedor}) * Q_{Negociada}$$

De acordo com outros parâmetros de avaliação, podem-se ainda considerar diferentes formatos para as funções de otimização do leilão a especificar. Para a comercialização de energia elétrica, algumas outras formas de avaliação para os leilões também podem ser utilizadas. O leiloeiro pode formatar o leilão, maximizando a quantidade de produto negociada (no caso em questão, lotes de energia elétrica), em que a função de otimização seria como a anteriormente apresentada. Outra forma de modelar o leilão seria a partir da maximização do volume financeiro negociado, em que a função de otimização seria o produto entre a quantidade negociada e o preço a pagar e/ou a receber por cada unidade negociada. Um outro formato para o leilão poderia ser ainda a otimização (maximização ou minimização) no preço de fechamento verificado no leilão, seja ele definido pelos vendedores, pelos compradores ou por ambos.

A partir das funções a otimizar definidas anteriormente, das restrições observadas para cada caso particular, das hipóteses adotadas para as regras de desenvolvimento do leilão, das características dos jogadores participantes do mesmo (sejam eles neutros, aversos ou propensos ao risco), dos parâmetros em que se deseja avaliar um leilão e dos objetivos finais a serem atingidos em cada um deles, deve-se escolher, a partir do ponto de vista do leiloeiro, o formato ou modalidade do leilão a utilizar com a correspondente função a otimizar e suas restrições.

4.4 ALGUNS EXEMPLOS DE LEILÕES DE COMPRA E VENDA DE ENERGIA ELÉTRICA NO AMBIENTE DE CONTRATAÇÃO LIVRE

Para a compra e venda de energia elétrica no Ambiente de Contratação Livre - ACL do setor elétrico brasileiro, várias têm sido as formas e modalidades de leilões utilizadas nos diversos processos verificados. Salienta-se que essas sistemáticas utilizadas para os leilões de compra e venda de energia elétrica levam em considerações as premissas discutidas e analisadas no item anterior, ou seja, leilões de valores privativos ou interdependentes com agentes neutros ou aversos ao risco em leilões simultâneos ou sequenciais. Dessa forma, todas as formas e modalidades de leilões propostas que vêm sendo utilizadas apresentam vantagens e desvantagens em relação às outras. Vale salientar que não existe uma forma otimizada de modelar um leilão pelo simples fato de existir incerteza no tipo dos agentes e no que eles poderão fazer. Obviamente supõe-se que todos os agentes são racionais e buscam sempre os melhores resultados para si. Mesmo assim, atitudes aparentemente irracionais podem, para um determinado agen-

te, ser perfeitamente racionais. A falta de informações e o caráter temporal que existem no processo (há um leilão hoje e haverá outro leilão no próximo mês, por exemplo) é que tornam o jogo interessante. A Teoria dos Leilões, apesar de ser uma ciência, não pode ser considerada como exata, pois não são modelados nas propostas de leilões aspectos psicológicos que, muitas vezes, norteiam a atitude e as ações dos agentes participantes do leilão.

Exemplos de Leilões no ACL:

1) Leilões de Venda

Ofertante: Empresas vendedoras de energia elétrica (geradores, comercializadores, produtores independentes, autoprodutores e importadores).

Jogadores/Participantes: Empresas compradoras de energia elétrica (consumidores livres, comercializadores, distribuidores, geradores).

- **Leilão Aberto com Preços Ascendentes**

Os jogadores ofertam quantidade de energia e/ou preço de compra; as ofertas de maiores preços são as vencedoras do leilão. Nos leilões de primeiro preço, a oferta vencedora paga o seu próprio preço ofertado; já no de segundo preço, a oferta vencedora irá pagar o segundo maior preço ofertado. Nessa modalidade de leilão, os compradores podem alterar suas ofertas no decorrer do leilão.

- **Leilão Fechado com Preços Ascendentes**

Os compradores ofertam, de uma só vez, a quantidade desejada de energia e/ou os preços de compra. As maiores ofertas de preço são as vencedoras do processo podendo pagar o próprio preço ofertado (primeiro preço) ou o segundo maior preço ofertado (segundo preço). Nesse leilão, os compradores não podem alterar sua oferta realizada que será, então, única.

- **Leilão de Produto Único**

O produto a ser leiloado consiste em um montante de energia único (um lote) que pode ser arrematado por uma só empresa ou que pode ser dividido em vários submontantes arrematados por empresas distintas (bem divisível). Nesse caso os jogadores podem ofertar quantidade e preço; a maior oferta será a vencedora podendo pagar o seu próprio preço ou o segundo maior preço.

- **Leilão de Múltiplos Produtos**

A quantidade de energia ofertada é dividida em vários lotes que podem ser leiloados de uma só vez (leilão simultâneo) ou um lote de cada vez

(leilão sequencial). Esses leilões, por sua vez, podem ser abertos ou fechados e de primeiro preço ou de segundo preço.

2) Leilões de Compra

Ofertante: Empresas compradoras de energia elétrica (consumidores livres, comercializadores, distribuidores, geradores).

Jogadores/Participantes: Empresas vendedoras de energia elétrica (geradores, comercializadores, produtores independentes, autoprodutores e importadores).

- Leilão Aberto com Preços Descendentes

Os jogadores ofertam quantidade de energia e/ou preço de venda; as ofertas de menores preços são as vencedoras do leilão. Nos leilões de primeiro preço, a oferta vencedora recebe o seu próprio preço ofertado; já no de segundo preço, a oferta vencedora irá receber o segundo menor preço ofertado. Nessa modalidade de leilão, os vendedores podem alterar suas ofertas no decorrer do leilão.

- Leilão Fechado com Preços Descendentes

Os vendedores ofertam, de uma só vez, a quantidade desejada de energia e/ou os preços de venda. As menores ofertas de preço são as vencedoras do processo podendo receber o próprio preço ofertado (primeiro preço) ou o segundo menor preço ofertado (segundo preço). Nesse leilão, os vendedores não podem alterar sua oferta realizada que será, então, única.

- Leilão de Produto Único

O produto a ser leiloado consiste em um montante de energia único (um lote) que pode ser arrematado por uma só empresa ou que pode ser dividido em vários submontantes arrematados por empresas distintas (bem divisível). Nesse caso os jogadores podem ofertar quantidade e preço; a menor oferta será a vencedora podendo receber o seu próprio preço ou o segundo maior preço.

- Leilão de Múltiplos Produtos

A quantidade de energia ofertada é dividida em vários lotes que podem ser leiloados de uma só vez (leilão simultâneo) ou um lote de cada vez (leilão sequencial). Esses leilões, por sua vez, podem ser abertos ou fechados e de primeiro preço ou de segundo preço.

Além das formas e modalidades apresentadas e descritas anteriormente, observa-se uma grande possibilidade de desenvolver outras formas de leilão,

bastando para isso associar as diversas formas mostradas. Consequentemente, podem-se ter leilões com uma fase aberta e uma fase fechada, ou vice-versa, leilões simultâneos em uma parte e sequencial em outra. As possibilidades são muitas. O leiloeiro, organizador do leilão, precisa analisar todos os detalhes envolvidos no processo para modelar um leilão que atinja os objetivos traçados pelo mesmo. A análise deve envolver o tipo de agente envolvido com o leilão (neutro, averso ou propenso ao risco), a valoração que os jogadores dão para o produto (valores privados e valores interdependentes) bem como o tipo de leilão que pode ser realizado com o produto ofertado (leilão de objeto simples, leilão de múltiplos objetos simultâneo ou sequencial).

Nos leilões de compra e venda de energia elétrica no ACL, observa-se que pelo menos uma das características do modelo simétrico não é atendida, ou seja:

- os valores da energia para os agentes não são independentes (uma vez que a valoração de um agente para a energia ofertada pode influenciar a valoração que outro agente dá a essa energia);
- há algum jogador no processo que não é neutro ao risco (sendo averso ou até mesmo propenso ao risco) ou que tenha alguma restrição orçamentária;
- a valoração dada pelos agentes para a energia ofertada não segue a mesma função de distribuição (os agentes não seriam simétricos).

Consequentemente, nesses leilões de compra e venda de energia elétrica, a forma e a modalidade utilizadas irão influenciar nos resultados obtidos nos mesmos. Krishna (2002) e Menezes & Monteiro (2005) demonstram que na presença de agentes aversos ao risco, a receita esperada de um leilão de primeiro preço excede aquela de um leilão de segundo preço. Além disso, a questão da assimetria entre os jogadores não afeta suas participações e comportamentos em leilões de segundo preço, mas afeta nos de primeiro preço. Esses autores estabelecem ainda que vendedores aversos ao risco preferem os leilões de primeiro preço aos de segundo preço, pois entendem que nesse caso poderiam obter maiores receitas. Vickrey (1961) e Krishna (2002) determinam que no caso da existência de jogadores assimétricos, o leilão de segundo preço é eficiente enquanto o leilão de primeiro preço não é. Já Holt (1980) estabeleceu que jogadores aversos ao risco tendem a ofertar maiores lances em leilões de primeiro preço do que em leilões de segundo preço. Krishna (2002) ressalta que ofertar a própria valoração do agente para o produto ofertado é uma estratégia dominante tanto para jogadores neutros quanto aversos ao risco em leilões de segundo preço. Por sua vez, Milgrom (1981) determinou que os leilões de valores interdependentes podem produzir maiores receitas esperadas no leilão de segundo preço.

Diante das afirmações desses autores, surgem algumas questões primordiais: "Qual a melhor modalidade de leilão?", "Qual é o leilão de venda que produz o maior preço?", "Qual é o leilão de compra que produz o menor preço?". Na verdade, não existe uma resposta única ou específica para alguma dessas perguntas. A partir da avaliação dos tipos dos jogadores envolvidos no processo de leilão, bem como das suas valorações para os produtos ofertados, a escolha do tipo e da modalidade do leilão serão fundamentais para o sucesso ou não deste. Dessa forma, é imperativo que se faça uma análise criteriosa e detalhada de todos esses aspectos envolvidos com o leilão em si e com os participantes do mesmo. A escolha equivocada do mecanismo do leilão pode levar a um resultado não desejado para este.

Inúmeros têm sido os leilões utilizados na compra e venda de energia elétrica tanto no ambiente regulado quanto no ambiente livre. A tendência, pelo que se tem observado no mercado brasileiro, é que essa ferramenta se solidifique como a principal forma de comercialização de energia elétrica no mercado brasileiro independente dos tipos de agentes envolvidos no processo. Vários mercados de energia no mundo vêm utilizando essa forma de comprar e vender energia elétrica que tem-se mostrado extremamente eficiente e apresentado resultados satisfatórios tanto para as empresas vendedoras quanto para as empresas compradoras de energia.

4.5 CONCLUSÕES

Pelo que foi discutido e apresentado, é fundamental conhecer todas as características envolvidas com o processo de leilão que se deseja realizar: tipos dos agentes, valoração que os mesmos podem dar para a energia, produtos a ser leiloados (único ou múltiplo) e assim por diante. O conhecimento das respostas a essas questões será obtido com a experiência na realização de leilões, com a análise de leilões realizados por outras empresas e através do estudo das bases teóricas da Teoria dos Leilões. Salienta-se que não existe uma resposta satisfatória à pergunta: "Qual a melhor forma ou modalidade de leilão para a compra e venda de energia elétrica?", uma vez que o tipo de leilão a ser utilizado depende sobremaneira das características envolvidas com o mesmo. O que se pode adiantar é que existem várias formas e modalidades de leilões com características bem distintas que podem produzir melhores ou piores resultados para esses processos. Salienta-se que essa forma de comercialização vem sendo usada em vários mercados mundiais, não apenas de energia elétrica, mas também de outros bens e serviços.

O Ambiente de Contratação Livre - ACL do mercado brasileiro de energia elétrica tem experimentado os mais diversos leilões de compra e venda de energia elétrica. Leilões abertos e fechados, de primeiro preço, ascendentes e descendentes, de objeto único ou de múltiplos objetos simultâneos ou sequenciais têm sido utilizados tanto por empresas vendedoras de energia (geradores, comercializadores, produtores independentes, autoprodutores e importadores) quanto por agentes compradores (consumidores livres, comercializadores, entre outros). O essencial nesse assunto é conhecer bem todas as nuances dos leilões em si e dos agentes envolvidos com o mesmo. Para isso, faz-se necessário, como já observado anteriormente, um investimento da própria empresa no aprofundamento acerca da Teoria dos Leilões, pois a cada dia, a cada novo detalhamento do mercado de energia, novos aspectos surgirão e afetarão, em um maior ou menor grau, os resultados dos leilões realizados. É preciso conhecer bem a teoria para que se utilize, em favor da própria empresa e do resultado que ela deseja obter, a melhor forma possível de leilão dentro das regras definidas e estabelecidas para o mercado de energia elétrica brasileiro.

4.6 REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, E. M. *Modelo Computacional de Teoria dos Jogos Aplicado aos Leilões Brasileiros de Energia Elétrica*. Campinas - SP, 136p. (Doutorado - Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP), 2004.
- CORREIA, P. B. Comunicação verbal, 2005.
- DEKRAJANGPETCH, S. & SHEBLÉ, G. B. *Structures and Formulations for Electric Power Auctions*. Electric Power Systems Research, U.S.A.; 54 (2000), 159-167, 1999.
- ETHIER, R.; MOUNT, T.; SCHULZE, W.; ZIMMERMAN, R. & THOMAS, R. *Auction Design for Competitive Electricity Markets*. In: HICSS Conference, Maui, Hawaii, 1997.
- FABRA, N.; VON DER FEHR, N. H. & HARBORD, D. *Modeling Electricity Auctions*. s.l.; s.ed.; 2002.
- FUNDENBERG, D. & TIROLE, J. *Game Theory*. Cambridge, MA, MIT, Press, 1991.
- GIBBONS, R. *Game Theory for Applied Economists*. Princeton - NJ, Princeton University Press, 1992.
- HOLT, C. A. *Competitive Bidding for Contracts under Alternative Auction Procedures*, Journal of Political Economy, 88: 433-45, 1980.
- HUNT, S. & SHUTTLEWORTH, G. *Competition and Choice in Electricity*. New York, John Wiley & Sons, Inc.; 1996.

- KHOROSHILOV, Y. & DODONOVA, A. *Optimal Auction Design When Bidders Are Loss Averse*. School of Management, University of Ottawa, Canada, 2004.
- KLEMPERER, P. *Auction Theory: A Guide to Literature*. Journal of Economics Survey. Oxford, England, 13(3), p. 227-286, 1999.
- KLEMPERER, P. *Why Every Economist Should Learn Some Auction Theory*. Oxford University, England, Nuffield College, 2000.
- KLEMPERER, P. *What Really Matter in Auction Design*. Forthcoming in Journal of Economic Perspectives, Oxford University, England, Nuffield College, 2002.
- KLEMPERER, P. *Auctions: Theory and Practice*. Princeton, NJ, Princeton University Press, 2004.
- KREPS, D. *A Course in Microeconomic Theory*. Princeton, NJ, Princeton University Press, 1990.
- KREPS, D. M. *Game Theory and Economic Modellings*. Oxford, England, Clarindon Class, 2001.
- KRISHNA, V. *Auction Theory*. U.S.A.; Academic Press, 2002.
- MAS-COLELL, A.; WHINSTON, M. D. & GREEN, J. R. *Microeconomic Theory*. New York - U.S.A.; Oxford University Press, 1995.
- MENEZES, F. M. & MONTEIRO, P. K. *An Introduction to Auction Theory*, Oxford University Press, New York, USA, 2005.
- MILGROM, P. *Rational Expectations, Informations Acquisition, and Competitive Bidding*. Econometrica, 49, 921-943, 1981.
- MYERSON, R. B. *Optimal Auction Design*. Mathematics of Operations Research, England, 6, 58-73, 1981.
- NASH, J. *The Bargain Problem*. Econometrica, 18, 1950.
- OSBORNE, M. & RUBINSTEIN, A. *A Course in Game Theory*. U.S.A.; Cambridge, MA, MIT Press, 1994.
- RASMUSEN, E. *Games and Information: An Introduction to Game Theory*. 3^a ed. pp. 323-339, Blackwell Publishers, Indiana University, Bloominton, 2001.
- REYNOLDS, K. *Going, Going, Gone! A Survey of Auction Types*. Agorics Inc, s.l.; 1996.
- SHAHIDEHPOUR, M.; YAMIN, H. & LI, Z. *Market Operations in Electric Power Systems: Forecasting, Scheduling and Risk Management*. IEEE, Wiley-Interscience A John Wiley & Sons, Inc.; Publication, New York, 2002.
- SHEBLÉ, G. B. *Computacional Auction Mechanisms for Reestructured Power Industry Operation*. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, 1999.

- SILVA, A. J. *Leilões de Certificados de Energia Elétrica: Máximo Excedente versus Máxima Quantidade Negociada*. Campinas - SP. 99p. (Mestrado - Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP), 2003.
- VARIAN, H. *Microeconomics Analysis*. Third Edition. New York -U.S.A.; Norton, 1992.
- VICKREY, W. *Counterspeculation, Auctions and Competitive Sealed Tenders*. *Journal of Finance*, 16(1), pp. 8-37, 1961.
- VICKREY, W. *Auction and Bidding Games*. *Recent Advances in Game Theory*. Princeton, New Jersey: The Princeton University Conference, 1962.
- VON NEUMANN, J. & MORGENSTERN, O. *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton - NJ, Princeton University Press, 1944.
- WOLFSTETTER, E. *Topics in Microeconomics. Industrial Organization, Auctions and Incentives*. Cambridge University Press, Chinese Edition, Berlin, 1999.

João Carlos Oliveira Helle

5.1 PRIMEIRA GERAÇÃO: DESCRIÇÃO

Este capítulo foi produzido durante alguns meses no ano de 2003 a partir da experiência do autor; consultas a outros especialistas; acesso à informação disponível na rede mundial e consultas bibliográficas. Algumas das informações foram verificadas em mais de uma fonte, para garantir a qualidade dos dados obtidos e reproduzir com fidelidade os fatos. Não existe nenhum juízo de valor nas colocações encontradas neste capítulo, mas sim a constatação de que os países mais importantes da economia mundial estão trilhando um caminho em direção à eficiência e à competição no setor. Os resultados positivos encontrados mundo afora são impressionantes e merecem atenção. Até aquele momento as reformas introduzidas nos setores elétricos mundiais alcançaram os resultados resumidos a seguir:

- O aumento da competição trouxe mais opções para os consumidores e melhorias no serviço, em consequência dos seguintes fatores: (i) avanços tecnológicos na geração de energia (e. g., ciclo combinado); (ii) maior controle de custos com a entrada do capital privado na geração permitiu reduções significativas em novos investimentos; (iii) a liberdade de escolha para os consumidores permitiu uma otimização das suas compras de energia; e (iv) a melhoria na qualidade dos serviços comerciais passou a ser um fator de atração para novos consumidores.