

7

Leilões de Contratos de Energia

A obrigatoriedade de leilões para a negociação de contratos de energia é somente para o ambiente regulado (ACR), porém tal mecanismo proporciona uma eficiente forma de se acessar os limites de disposição a contratar dos geradores. Neste sentido, serão estudados dois modelos de leilão amplamente utilizados na comercialização de energia: (i) leilão dinâmico de preço único, onde a cada rodada os vendedores recebem um preço corrente e ofertam as quantidades que estão dispostos a contratar, e (ii) leilão estático de preço único, no qual os vendedores ofertam, uma única vez, pares de preço e quantidade que caracterizam suas curvas de oferta (no formato escada). Em ambos os leilões, o intuito da comercializadora, que desempenha o papel de compradora, é o de obter contratos suficientes para lastrear uma venda de um ou mais contratos para consumidores livres (ACL).

As regras dos leilões são de extrema importância para que exista eficiência na colocação dos bens leiloados e nas estratégias dos compradores dos leilões. Os leilões podem ser classificados de diversas maneiras. Os principais tipos são os seguintes [28]:

Leilões de lances abertos

Os lances propostos são expostos para todos os participantes do leilão, ou seja, todos têm acesso às informações contidas nos lances do leilão.

Leilões de lances fechados

Os lances são feitos através de envelopes fechados, que são abertos pelo leiloeiro, que será o único a saber da oferta, pois cada participante desconhece as ofertas dos outros.

Leilões de preço final uniforme

O comprador ou licitante paga um único preço para mais de uma unidade que é colocada a venda no leilão. O preço a ser pago aos vendedores é o maior dentre os preços dos itens selecionados.

Leilões de preço final múltiplo

O comprador ou licitante paga o preço que é ofertado para cada item do leilão.

Combinando tais características surgem suas classificações, e temos os seguintes formatos subsequentes ([21][28]):

Leilões do tipo inglês (ascendente)

É o tipo de leilão mais utilizado para a venda de produtos. Basicamente funciona da seguinte forma: quando existe um único produto a ser vendido é estipulado um preço abaixo do qual o item não é leiloado, o qual é chamado de preço de reserva específico, a partir dele os participantes do leilão dão seus lances superiores a este preço, até que somente um participante aceite comprar o produto pelo preço corrente. Quando existem várias unidades de produto, primeiro observa-se a demanda por cada preço e compara com a quantidade ofertada, se a demanda é maior que a oferta, o leiloeiro passa para o lance seguinte que é superior e novamente compara a demanda com a oferta, tal mecanismo se repete até que a demanda se iguale a oferta. A oferta é vendida a um único preço, por isso é conhecido também como leilão aberto de preço único.

Uma característica deste tipo de leilão, por ser de lances abertos, é que todos os participantes têm conhecimento do lance corrente, e a toda hora podem rever o quanto aquele bem vale para eles, aumentando o preço até seu valor privado. Valor privado é o quanto aquele item significa em termos econômicos para o comprador, cada indivíduo tem uma avaliação subjetiva do quanto vale o bem.

Leilões do tipo holandês (descendente)

Neste tipo de leilão os lances são abertos, como no leilão inglês, porém possui uma propriedade totalmente inversa deste, pois o leiloeiro inicia o leilão com um lance extremamente alto, e vai decrescendo o preço até que algum participante decida investir em tal lance.

Quando existem várias unidades de produto, o preço vai decrescendo e cada participante pode comprar uma fração da oferta ao preço desejado. Por isso é considerado um leilão aberto e de múltiplos preços.

O leilão aberto holandês é estrategicamente equivalente ao leilão selado de 1º preço, pois o fato de ser aberto não permite informação adicional aos participantes.

Leilão discriminatório ou leilão de 1º preço

O leilão de 1º preço é um tipo de leilão de lance fechado (ou envelope fechado). Quando for um leilão de um único item, o participante vencedor será aquele que oferecer o maior lance. Quando for de vários itens de um mesmo bem, é chamado também de leilão discriminatório, e os lances em envelopes fechados são dispostos em ordem decrescente de preços, e os itens são vendidos até que a quantidade ofertada acabe. É também conhecido por ser um leilão de lances fechados e preços múltiplos.

Leilão de 2º preço

Este leilão é de lances fechados. Quando é um leilão de um único bem, o participante a vencer o leilão será aquele que fizer a maior oferta, porém pagará o preço associado ao segundo maior lance. Quando for um leilão de múltiplos produtos, todas as propostas vencedoras pagarão o mesmo preço. Por isso, este tipo de leilão também é conhecido por ser de lances fechados e preço único.

7.1

Modelo de Comercialização de Energia Renovável no ACL

Nesta seção será estudado como estabelecer a composição de contratos de geração por diferentes fontes de energia renovável alternativa (PCH, Biomassa e Eólica) de modo a maximizar o lucro esperado, restringindo o risco do agente comprador (Comercializadora) que irá revender esta energia para Consumidores Livres. A Comercializadora deverá atuar sobre duas frentes, uma como compradora de energia das fontes renováveis e outra como vendedora para um consumidor livre.

A renda líquida da Comercializadora se dará pela diferença destas operações (receita obtida com a venda menos custos de compras). As funções da receita e dos custos são obtidas através de parâmetros de incerteza e das variáveis de decisão.

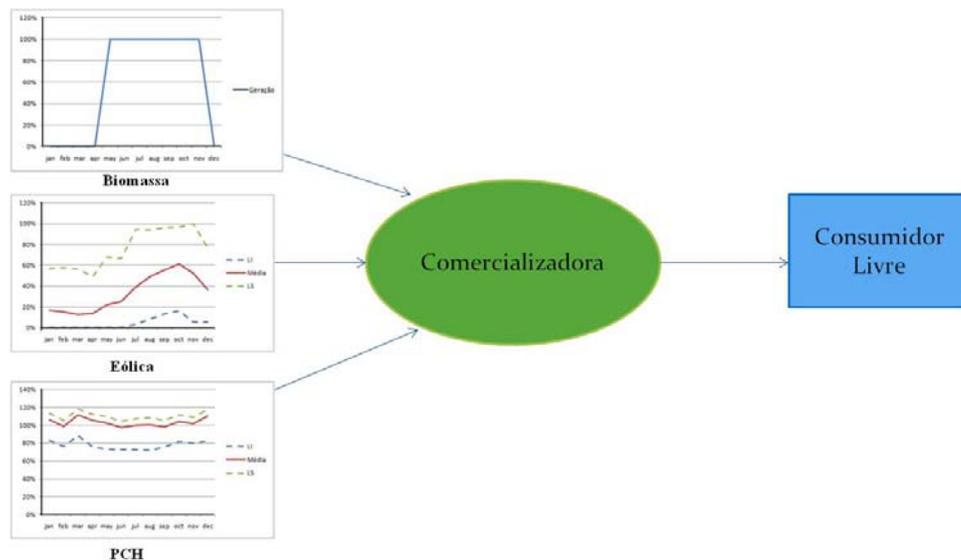


Figura 7-1 - Representação das Operações de Compra e Venda por Parte de uma Comercializadora.

As transações de compra e venda de contratos têm como variáveis de decisão, respectivamente, as quantidades de Garantia Física (MW médio) que devem ser contratadas de cada fonte renovável (BIO, EOL e PCH) através de contratos por disponibilidade e a quantidade de energia (MWmed) a ser vendida ao consumidor livre através de contrato por quantidade. Assim a Comercializadora deverá formar uma carteira de contratos ótima composta pelas três fontes que, como visto anteriormente, possuem perfis de geração complementares.

Em termos matemáticos, a Comercializadora deverá vender uma determinada quantidade de energia E^V (MWmed), a um preço P^V (R\$/MWh), predefinido. A renda R_t^C obtida neste contrato (somente a parcela fixa), em cada período t , com duração de “ h_t ” horas é:

$$R_t^C = P^V \cdot E^V \cdot h_t, \forall t \in T \quad (7-1)$$

Os custos em que a comercializadora incorrerá com as compras no leilão das fontes complementares serão correspondentes aos lances ou preços (R\$/MWh)

pagos a cada uma das fontes, P^{BIO} , P^{EOL} , P^{PCH} , às quantidades (MWmed), Q^{BIO} , Q^{EOL} , Q^{PCH} . Tais custos podem ser representados pela seguinte equação:

$$C_t = \sum_{f \in \{BIO, EOL, PCH\}} P^f \cdot Q^f \cdot h_t \quad \forall t \in T \quad (7-2)$$

A comercializadora deverá escolher um portfólio ótimo formado pelas três fontes que deverá lastrear a quantidade de energia a ser vendida E^V , a qual está limitada à soma das Garantias Físicas (lastros) adquiridas com as fontes três fontes. Podemos representar esta restrição pela desigualdade abaixo:

$$\sum_{f \in \{BIO, EOL, PCH\}} Q^f \geq E^V \quad (7-3)$$

A renda líquida no mercado de curto prazo é dada pela diferença entre a venda da energia produzida pela geração contratada e a compra da energia vendida ao consumidor livre, lembrando que a geração eólica será contratada e liquidada totalmente no subsistema Nordeste (NE), ao preço π_t^{NE} , e as demais transações serão realizadas no Sudeste (SE), ao preço π_t^{SE} . A renda líquida pode assumir valores positivos, caso a soma das gerações e a venda no NE ocorrerem em cenários satisfatórios, ou negativos, caso a soma das gerações seja menor do que a energia contratada pelo consumidor livre. Esta parcela, referente à receita líquida da liquidação de diferenças entre produção e contrato de venda, é representada pela expressão abaixo.

$$R_t^S = G_{eol,ts} \cdot \pi_{ts}^{NE} + \left(\sum_{f \in \{PCH, BIO\}} (G_{fts}) - E^V \cdot h_t \right) \cdot \pi_{ts}^{SE} \quad \forall t \in T \quad (7-4)$$

O lucro da comercializadora em cada período é dado pela soma da renda do contrato de venda de energia para consumidor livre com a renda oriunda da liquidação no mercado de curto prazo, subtraída do custo de compra dos contratos por disponibilidade.

$$L_{ts} = R_t^C + R_t^S - C_t \quad \forall t \in T \quad (7-5)$$

A estratégia ótima de compra dos contratos de Garantia Física será determinada pela maximização do valor esperado deste lucro, porém restringindo o CVaR do mesmo a um resultado mínimo requerido. Em geral este valor mínimo será negativo, aceitando-se, portanto, certa perda (controlada) nos piores cenários.

7.1.1

Estratégia de Contratação em Leilões Dinâmicos de Preço Único

O leilão dinâmico é um tipo de leilão iterativo e análogo ao que é praticado no ACR. O leiloeiro irá representar a demanda da comercializadora e um esquema de preço único decrescente por fonte será praticado pelos geradores.

Consideraremos um leilão multiproduto, e os produtos serão os contratos correspondentes aos três tipos de fonte de energia. A comercializadora fará um lance para cada fonte ao mesmo tempo, pois os três produtos possuem interdependências (complementaridades), isto é, são, ao mesmo tempo, substitutos e complementares.

O preço de abertura é definido pelo leiloeiro e decrescido a cada lance, enquanto a quantidade ofertada for maior que a demanda pela fonte. Ao longo de sucessivas rodadas do leilão, os geradores fazem suas ofertas que são menores ou iguais as do lance anterior, e com isso uma curva de oferta dos geradores é revelada a cada lance.

Assim como a oferta é revelada a cada lance, a demanda da comercializadora também poderá mudar a cada lance do leilão, pois ela realiza uma análise levando em consideração os preços ofertados de cada fonte e as respectivas quantidades. Como as curvas de oferta e demanda são parcialmente reveladas, a estratégia de oferta da comercializadora (demanda por cada fonte) estará restrita aos montantes ofertados em cada rodada.

A estratégia ótima de compra dos contratos é feita a cada lance do leilão através da solução de um problema de otimização que maximiza o valor esperado do lucro da comercializadora sujeito a um resultado de CVaR mínimo requerido.

A seguir a formulação matemática para o problema de otimização utilizado a cada lance do leilão, assim como uma breve explicação sobre os parâmetros e restrições utilizados:

$$\underbrace{\text{Maximizar}}_{(E^V, x, \delta_s, z)} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} p_s \cdot L_{ts} \cdot \beta^t \quad (7-6)$$

s. t.:

$$L_{ts} = R_{ts} - C_t, \quad \forall t \in T, \forall s \in S \quad (7-7)$$

$$R_{ts} = P^V \cdot E^V \cdot h_t + G_{eol,ts} \cdot x_{eol}^C \cdot \pi_{ts}^{NE} + \left(\sum_{f \in \{PCH, BIO\}} (G_{fts} \cdot x_f^C) - E^V \cdot h_t \right) \cdot \pi_{ts}^{SE}, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (7-8)$$

$$C_t = \sum_{f \in F} P_f \cdot Q_f \cdot h_t \cdot x_f^C \quad \forall t \in T \quad (7-9)$$

$$\sum_{f \in F} Q_f \cdot x_f^C \geq E^V \quad (7-10)$$

$$\delta_s \geq z - \sum_{t=1}^T L_{ts}, \forall s \in S \quad (7-11)$$

$$z - \frac{\sum_{s \in S} p_s \cdot \delta_s}{(1 - \alpha)} \geq R^{min}, \forall s \in S \quad (7-12)$$

$$x_f^C \in [0,1] \quad \forall f \in F, \quad E^V \in \left[0, \sum_{f \in F} Q_f \right], \quad (7-13)$$

$$\delta_s \geq 0 \quad \forall s \in S, z \geq 0, C_t \geq 0 \quad \forall t \in T \quad (7-14)$$

Onde,

- L_{ts} : lucro da operação de compra de Garantia Física e venda de energia no período t e cenário s (variável de decisão);
- P^V : Preço, em R\$/MWh, a receber do consumidor livre;
- E^V : Quantidade de energia, em MWmed, vendida ao consumidor livre (variável de decisão);
- $P_{BIO,EOL,PCH}$: Em R\$/MWh, contratados de cada fonte, respectivamente;
- $Q_{BIO,EOL,PCH}$: São os vetores de quantidades de energia (MWmed), correspondente ao lastro, ofertadas a cada lance do leilão, disponíveis de cada fonte;
- $G_{BIO,EOL,PCH,t}$: Geração estocástica de cada fonte no período t, respectivamente (É considerado que todas as usinas possuem o mesmo perfil de geração, de acordo com sua fonte correspondente);
- h_t : É o número de horas do período t;
- $\pi_{ts}^{NE,SE}$: Preço spot de um subsistema (Nordeste e Sudeste) no período t e cenário s;
- $x_{BIO,EOL,PCH}$: São os respectivos percentuais de energia contratada de cada fonte (variável de decisão);
- p_s : Probabilidade de ocorrência do cenário s;
- β : Fator de desconto = $(1 + K)^{-1}$, onde K é a taxa de desconto para o capital próprio da comercializadora;
- z : Variável auxiliar para o cálculo do CVaR; representa o VaR do portfolio ao nível de confiança $\alpha\%$ (variável de decisão);
- δ_s : Variável auxiliar para o cálculo do CVaR; representa a função truncamento para cenários de lucro que superam o VaR

- (variável de decisão);
- α : Nível de confiança relacionado ao valor condicional em risco (CVaR);
- R^{\min} : Requisito mínimo para o CVaR do lucro, em \$;

A restrição (7-8) é referente à receita da comercializadora, sendo que a primeira parcela corresponde à renda do contrato por quantidade, mostrada na equação (7-1). A segunda parcela é referente à venda da energia eólica. E a terceira parcela é a energia que será liquidada no subsistema do Sudeste, que é a diferença entre a energia gerada pelas usinas à biomassa e PCH e a vendida ao consumidor livre, estas duas últimas são mostradas na equação (7-4). Caso esta diferença seja negativa, a comercializadora deverá comprá-la no mercado de curto prazo, caso contrário poderá vendê-la.

O custo total por fontes é representado pela restrição (7-9). A restrição (7-10) é análoga a (7-3) e referente à quantidade vendida ser menor ou igual a soma das compradas.

As restrições (7-11) e (7-12) são referentes ao cálculo do CVaR. (7-13) garante que a comercializadora não poderá contratar uma quantidade maior que a ofertada pela fonte f , e (7-10) que a quantidade vendida ao consumidor livre não poderá ser maior que a soma das quantidades contratadas. A restrição (7-7) é referente ao cálculo do lucro da operação, que é formado pela diferença das restrições (7-8) e (7-9). E por fim, o lucro da comercializadora, (7-6), deverá ser maximizado levando em consideração o máximo valor esperado da operação. As variáveis de decisão que serão encontradas por este modelo são E^V e x_f^C , referentes à quantidade ótima a ser vendida ao consumidor livre e quantidade ótima demandada da fonte f . As demais variáveis auxiliares do modelo são L_{ts} , R_{ts} e C_t , tendo as duas primeiras como variáveis irrestritas, e z e δ_s como variáveis utilizadas para o cálculo do CVaR.

O portfolio ótimo de fontes renováveis será formado pelas variáveis x_f^C . A cada lance do leilão, o problema de contratação ótima é resolvido e são encontrados novos valores para a carteira de contratos de cada fonte e a quantidade de venda ótima.

Como este tipo leilão é de preços decrescentes, com lances e ofertas abertos, a cada lance do leilão a oferta das geradoras deverá ser menor ou igual à do lance anterior. A curva de ofertas de uma fonte f pode ser representada pela figura 7-2.

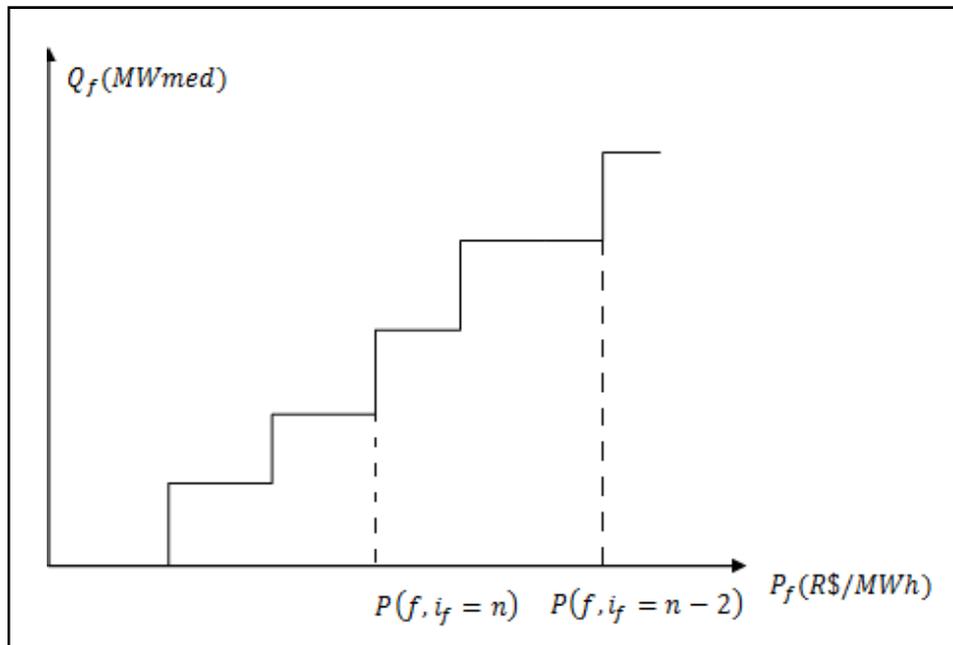


Figura 7-2 - Oferta Geradoras da Fonte f no Leilão Dinâmico

Neste leilão, cada vendedor oferta uma quantidade Q_f de acordo com o preço corrente, com isso a curva de ofertas vai sendo revelada a cada lance do leilão.

A determinação da estratégia de preço-oferta de cada vendedor está fora do escopo desta dissertação. O único requisito que estas devem atender é serem quantidades decrescentes à medida que o lance do leilão também decresce.

O leilão termina quando a demanda da comercializadora por cada fonte, acrescida de uma “folga”, for maior ou igual às respectivas ofertas. Assim a comercializadora comprará a quantidade ótima encontrada $D_f = Q_f \cdot x_f^{C*}$ da fonte f , ao preço dado pelo lance corrente do leilão.

Neste modelo de leilão, como a curva de ofertas das fontes é apresentada aos poucos (a cada lance do leilão) pode acontecer que a comercializadora ache soluções piores do que se tivesse a curva integralmente à sua disposição. Por exemplo, pode ocorrer uma situação em que os produtos com a eólica e biomassa estejam ambos fechados, porém o produto PCH, ainda com sobre oferta, permita

um próximo lance. Se nesta situação, em função do decréscimo de preço do produto PCH, a oferta desta fonte sofrer uma forte redução, a comercializadora não mais poderá se aproveitar da sinergia entre as fontes e ficará com dois produtos que sem a presença do terceiro (PCH) certamente não terá o mesmo valor. Neste exemplo, a comercializadora experimentará um forte arrependimento, oriundo da falta de informação sobre a disposição a contratar dos vendedores, o que nos motiva a estudar o próximo formato de leilão: estático, onde as curvas de oferta são integralmente informadas ao leiloeiro sob informação completa.

7.1.2

Estratégia de Contratação em Leilões Estáticos de Preço Único

O leilão estático possui certa semelhança com os leilões praticados em países onde todo dia são licitadas para cada hora do dia seguinte as quantidades de energia a serem contratadas, onde as ofertas e demandas são submetidas ao leiloeiro em única rodada (“envelope fechado”). Estas ofertas consistem em pares de preço e quantidade crescentes, que descrevem a disposição a contratar dos compradores e dos vendedores. Após a submissão dos lances (curvas), o leiloeiro as processa e assim são determinadas as ofertas aceitas e não aceitas.

Neste tipo de leilão, vamos considerar que os vendedores (usinas a Biomassa, Eólicas e PCH) submeterão ao leiloeiro suas curvas de oferta em forma de escada – pares de preço e quantidade. Neste contexto, a comercializadora possui a informação completa da disposição a contratar dos vendedores, o que permite fazer a análise das ofertas em conjunto e de maneira ótima global¹⁰, diferentemente do que ocorre no leilão dinâmico onde a análise é feita a cada lance.

O preço pago pela comercializadora aos vendedores é o mesmo para todos os blocos de cada fonte, e igual ao preço do bloco mais caro necessário para se atender à demanda (preço único). A garantia física contratada visa lastrear a venda no ACL do contrato de energia por quantidade E^V em MW médios (MWmed) a um preço P^V , em R\$/MWh.

¹⁰ Neste caso, a palavra global está relacionada ao processo do leilão.

O custo de compra de cada fonte é dado pelo produto entre a demanda da comercializadora pela fonte e o preço do bloco mais caro (leilão de preço uniforme). Este custo pode ser definido pela seguinte expressão, em que se assume, sem perda de generalidade, que os blocos estejam ordenados do menor preço para o maior:

$$C_{ft}(D_f) = \left\{ P_{fi} \cdot D_f \quad \text{se } D_f \in \left(\sum_{j=1}^{i-1} Q_{jf}, \sum_{j=1}^i Q_{jf} \right] \quad \forall i \in B_f \right\} \cdot h_t \quad (7-15)$$

Onde B_f representa o conjunto de blocos (“degraus” da curva de oferta) ofertados por cada fonte (pares de preço e quantidade). Para melhor compreensão, a figura abaixo tenta mostrar, de forma gráfica, como ocorre a escolha do bloco.

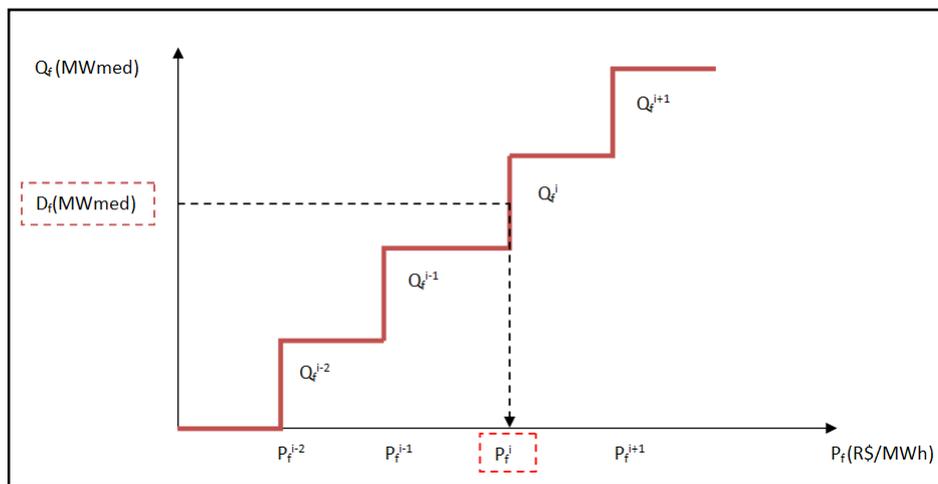


Figura 7-3 - Oferta Geradoras da Fonte f no Leilão Estático

A dificuldade presente na equação (7-15) é que esta não se traduz em uma função convexa com relação à quantidade demandada, D_f , de contratos de disponibilidade demandado por cada fonte (figura 29), o que impossibilita a utilização de algoritmos baseados em programação convexa (no caso, programação linear) para se obter o ótimo global¹¹. Para solução deste problema é proposto um modelo de *Programação Linear Inteira Mista* (PLIM).

¹¹ Neste contexto a palavra global está relacionada ao espaço de soluções do problema (forma que usualmente é empregada no contexto de otimização).

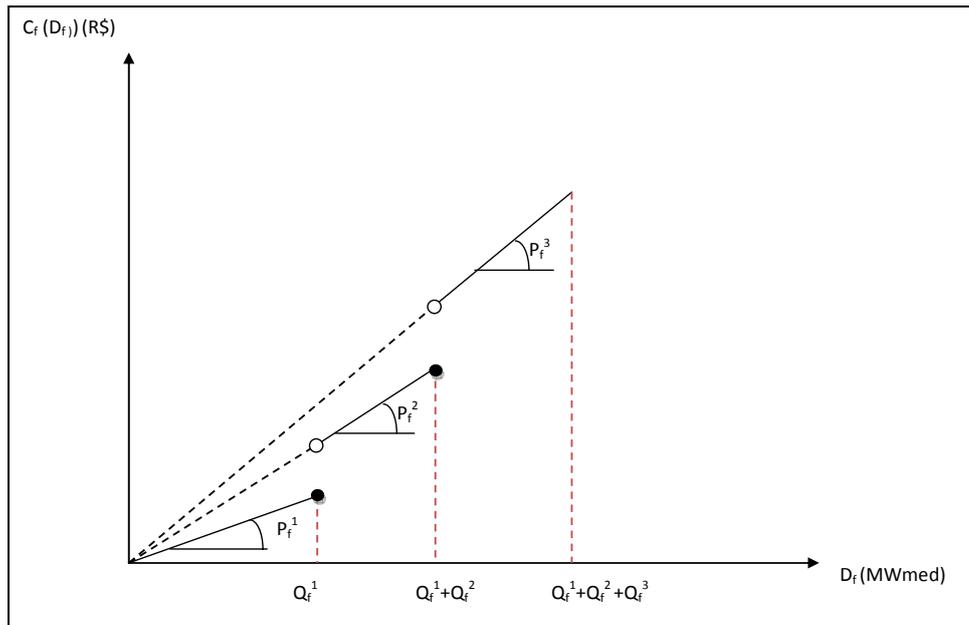


Figura 7-4 - Curva de Custo de Compra em Função da Quantidade Demandada por Cada Fonte

Para compor a equação do total demandado a ser utilizada no problema de maximização, devemos utilizar a lógica sugerida em (7-15), com o uso de variáveis binárias y_{if} , para gerar restrições disjuntivas, que de maneira simplista deverão produzir o seguinte efeito: y_{if} assumirá o valor “1” quando $D_f \in (\sum_{j=1}^{i-1} Q_{jf}, \sum_{j=1}^i Q_{jf})$ e “0” caso contrário. As restrições disjuntivas que proporcionam este comportamento são apresentadas abaixo:

$$\begin{aligned}
 -M \cdot (1 - y_{if}) + y_{if} \cdot \sum_{j=1}^{i-1} Q_{jf} &\leq D_f \\
 &\leq y_{if} \cdot \sum_{j=1}^i Q_{jf} + M \cdot (1 - y_{if}) \quad \forall f \in F, i \in B_f
 \end{aligned} \tag{7-16}$$

$$\sum_{i \in B_f} y_{if} = 1 \quad \forall f \in F \tag{7-17}$$

Onde, $y_{if} \in \{0,1\} \quad \forall f \in F, i \in B_f$ e “M” é um número suficientemente grande para relaxar a restrição quando necessário. O menor valor de M é $\sum_{i \in B_f} Q_{if}$, pois funcionará como um limite superior para D_f que é a quantidade demandada, o qual nunca poderá ser maior que a quantidade ofertada.

Para reproduzir o custo decorrente da contratação de uma demanda D_f , conforme a restrição (7-15), pode-se utilizar o mesmo procedimento para compor a função custo:

$$C_{ft}(D_f) = C_f(D_f) \cdot h_t \quad (7-18)$$

Assim, a restrição referente ao custo com o pagamento do preço marginal aos vendedores será dada por:

$$-W \cdot (1 - y_{if}) \leq C_f(D_f) - P_{fi} \cdot D_f \leq W \cdot (1 - y_{if}) \quad \forall f \in F, i \in B_f \quad (7-19)$$

Onde W é também um número suficientemente grande, não necessariamente igual ao anterior, mas utilizado de maneira similar. O menor valor de W é o produto entre o preço do bloco mais caro ofertado e do total de energia ofertada, pois este é um limite superior para o custo com a fonte.

Para achar a geração referente à soma do bloco contratado basta fazer

$$g_{fts} = \frac{G_{fts}}{\sum_{i \in B_f} Q_{if}} \quad \forall f \in F, t \in T, \quad (7-20)$$

Pois considera-se que todas as usinas possuem o mesmo perfil de geração, de acordo com sua fonte correspondente. A princípio esta hipótese pode parecer bastante restritiva, porém uma análise rápida de alguns fatos pode justificá-la: (i) a consideração de apenas um gerador de cada tipo, ou (ii) a consideração de um POOL de energia formado pelos ofertantes de cada tipo de fonte.

Assim, o modelo de PLIM pode ser traduzido através do seguinte problema de maximização:

$$\underset{(y, x^V, D)}{\text{Maximizar}} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} p_s \cdot L_{ts} \cdot \beta^t \quad (7-21)$$

s. t.:

$$L_{ts} = R_{ts} - C_t \quad \forall t \in T, \forall s \in S \quad (7-22)$$

$$R_{ts} = P^V \cdot E^V \cdot h_t + g_{eol,ts} \cdot D_{eol} \cdot \pi_{ts}^{NE} + \left(\sum_{f \in \{PCH, BIO\}} (g_{fts} \cdot D_f) - E^V \cdot h_t \right) \cdot \pi_{ts}^{SE}, \quad \forall t \in T, \forall s \in S \quad (7-23)$$

$$C_t = \sum_{f \in F} C_f(D_f) \cdot h_t \quad \forall t \in T \quad (7-24)$$

$$\text{restrições (7 - 16), (7 - 17) e (7 - 19)} \quad (7-25)$$

$$\delta_s \geq z - \sum_{t=1}^T L_{ts}, \forall s \in S \quad (7-26)$$

$$z - \frac{\sum_{s \in S} p_s \cdot \delta_s}{(1 - \alpha)} \geq R^{min}, \forall s \in S \quad (7-27)$$

$$D_f \geq 0, \quad \forall f \in F \quad (7-28)$$

$$y_{if} \in \{0,1\} \quad \forall f \in F, i \in B_f \quad (7-29)$$

$$x^V \in [0,1] \quad (7-30)$$

$$E^V \in \left[0, \sum_{f \in F} Q_f \right], \delta_s \geq 0 \forall s \in S, z \geq 0, C_t \geq 0 \forall t \in T \quad (7-31)$$

Onde, $\beta = (1 + K)^{-1}$, K é o custo de capital da comercializadora e E é o valor esperado do lucro da operação de compra de Garantia Física e venda de energia no período t e cenário s .

A restrição (7-23) é referente à receita da comercializadora. A primeira parcela corresponde à renda do contrato por quantidade, mostrada na equação (7-1) e a segunda parcela, a venda de energia proveniente de fonte eólica no subsistema do Nordeste. A terceira parcela corresponde à energia que será liquidada no subsistema do Sudeste, que é a diferença entre a energia gerada pelas usinas à biomassa e PCH e a vendida ao consumidor livre. Caso esta diferença seja negativa, a comercializadora deverá comprar esta diferença no mercado de curto prazo, caso contrário poderá vendê-la.

A restrição (7-24) é referente aos custos que a comercializadora tem com os contratos por disponibilidade de cada uma das fontes. A restrição (7-22) é referente ao lucro da comercializadora e é dada pela diferença entre as restrições (7-23) e (7-24). As restrições (7-26) e (7-27) são referentes às restrições de renda CVaR.

O lucro da comercializadora (7-21) deverá ser maximizado levando em consideração o máximo valor esperado da operação de maneira análoga ao modelo de maximização empregado ao leilão dinâmico. Contudo, como a comercializadora terá em mãos a curva de oferta das geradoras, só precisará

resolver este problema de decisão uma única vez. A solução permite que a comercializadora escolha as quantidades ótimas que proporcionam o maior valor esperado possível, resguardado o valor mínimo de CVaR e sem a possibilidade de “arrependimento” (ver argumentação final da seção anterior).

As variáveis a serem encontradas por este modelo são E^V e D_f , referentes à quantidade ótima a ser vendida ao consumidor livre e quantidade ótima demandada da fonte f . As variáveis auxiliares do modelo seguem a mesma lógica descrita na seção anterior.