

8 LEILÕES DE ENERGIA EXISTENTE

O objetivo dos leilões de compra de energia existente, onde os geradores disputam ofertando preços e quantidades, ou apenas quantidades dados os preços correntes do leilão, é obter o maior montante de energia para atender à demanda, minimizando o valor pago pelas distribuidoras. Portanto, como estratégia de atuação, para o caso onde os geradores são “price takers”, pode-se estabelecer as curvas de oferta dos geradores e então simular a dinâmica do leilão.

Neste capítulo serão abordados os casos univariado (mono-produto) e multivariado (multi-produto) de leilões de preço uniforme. Para o caso mono-produto o resultado do leilão pode ser obtido através da simples composição agregada das curvas de oferta individuais, conforme será mostrado no item 8.1. Entretanto, para o caso multi-produto, o resultado do leilão não pode ser obtido da mesma forma, pois as CDC's tornam-se superfícies multivariadas. Assim, o processo deve ser simulado, a fim de se estimar o ponto de equilíbrio do leilão. Desta forma, será realizado um estudo de caso do Leilão de Transição, que ocorrerá em dezembro de 2004 e onde serão leiloados aproximadamente 50% da demanda do Brasil em cinco produtos (contratos com datas de início variando de 2005 a 2009) simultaneamente.

8.1 Leilão mono-produto

Considerando apenas um único produto, ou seja, um contrato de mesma duração e data de início, pode-se calcular o preço de equilíbrio do leilão da seguinte forma:

Supondo que há I empresas de geração competindo no leilão, e que os contratos em questão têm duração de T períodos, a renda com o contrato de cada gerador ($i=1, \dots, I$), para cada cenário hidrológico ($s=1, \dots, S$), pode ser escrita como:

$$R_{c_{ts}} = E_c P + (G_{ts}^i - E_c) \pi_{ts} \quad (8-1)$$

onde,

P É o preço de contrato (\$/MWh).

E_c Montante contratado (MWh).

π_{ts} Preço de curto prazo – spot – (\$/MWh), para o período t , cenário s .

G_{ts}^i Geração da empresa i , no período t , série s .

Utilizando a metodologia do item 7.3, a curva de oferta para cada gerador i é tal que:

$$E_{c_i}^*(P) = \arg\text{Max}_{(E_c)} \sum_{t=1}^T [1/S \sum_{s=1}^S U_G(R_{c_{tis}})] / (1+J)^t \quad (8-2)$$

Onde, se a função de utilidade for linear por partes, pode ser encontrada através do PL definido em (7-6).

Para uma demanda total D (MWh), o preço de equilíbrio do leilão pode ser escrito da seguinte forma:

$$\sum_{i=1}^I E_{c_i}^*(P^{eq}) = D \quad (8-3)$$

Dado que se busca o preço único, tal que o total de oferta e demanda sejam iguais, como só existe um único produto sendo leilado, para cada preço P só existe uma oferta total. Assim, pode-se encontrar o P^{eq} através da curva de disposição agregada, conforme a expressão (8-3) acima. Essa busca pode ser facilmente realizada traçando as curvas (ofertas) individuais (como visto no capítulo 7) para uma gama de preços de leilão e somando-as preço a preço. Assim, basta encontrar o preço que torne a oferta igual à demanda.

A Figura 8-1 abaixo ilustra esse procedimento.

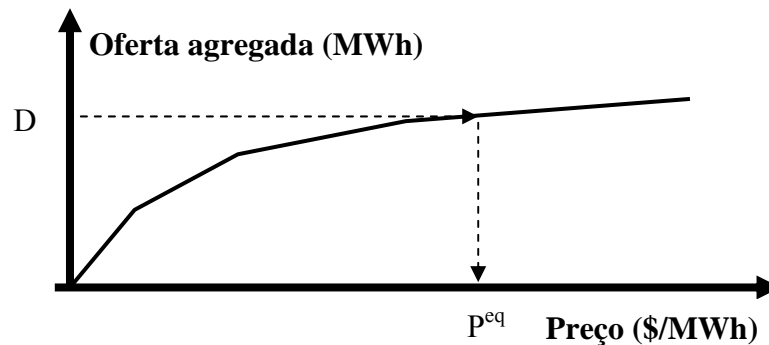


Figura 8-1 – Preço de equilíbrio pela curva de oferta agregada.

8.2 Leilão multi-produto

Em leilões multi-produto, não é possível encontrar a curva de disposição a contratar agregada, pois cada empresa oferta sob uma superfície contida no espaço (R^5, R^5) , por exemplo, no caso de 5 produtos diferentes, onde para cada vetor de cinco preços é mapeado um vetor de cinco ofertas ótimas. Assim, o leilão deve ser simulado e cada empresa deve atuar segundo suas superfícies de disposição a contratar. Desta maneira, serão traçadas “trajetórias” de ofertas em função dos preços correntes, que decorrerão do processo de competição entre os agentes, até que se encontre algum ponto deste espaço que atenda às condições de parada.

A diferença entre essa abordagem e a abordagem adotada para leilões mono-produto, é que neste caso, o processo do leilão está sendo realmente simulado, ou seja, os preços de equilíbrio de cada produto serão “estimados” através de um processo iterativo (multiestágio) igual ao do leilão real. Por isso devem ser introduzidos alguns conceitos deste processo, para que se possa desenvolver a estratégia de oferta para essa abordagem.

Em geral, os leilões multiestágio de preço uniforme iniciam com um preço conhecido (preço inicial) e, para cada rodada, à medida que as ofertas são realizadas, o leiloeiro as contabiliza (processando segundo as regras do leilão), verifica a condição de parada, e informa aos competidores os novos preços correntes e o quanto de suas respectivas ofertas foi aceita e ficará comprometida em cada produto. Assim, quando o leilão for finalizado (dependendo da regra, que em geral envolve uma condição sob os preços e sob o balanço entre oferta e demanda), os montantes que estiverem comprometidos serão liquidados aos

preços correntes finais. O processo do leilão pode ser visualizado no esquema abaixo, que ilustra o fluxo de informações que ocorre a cada rodada.

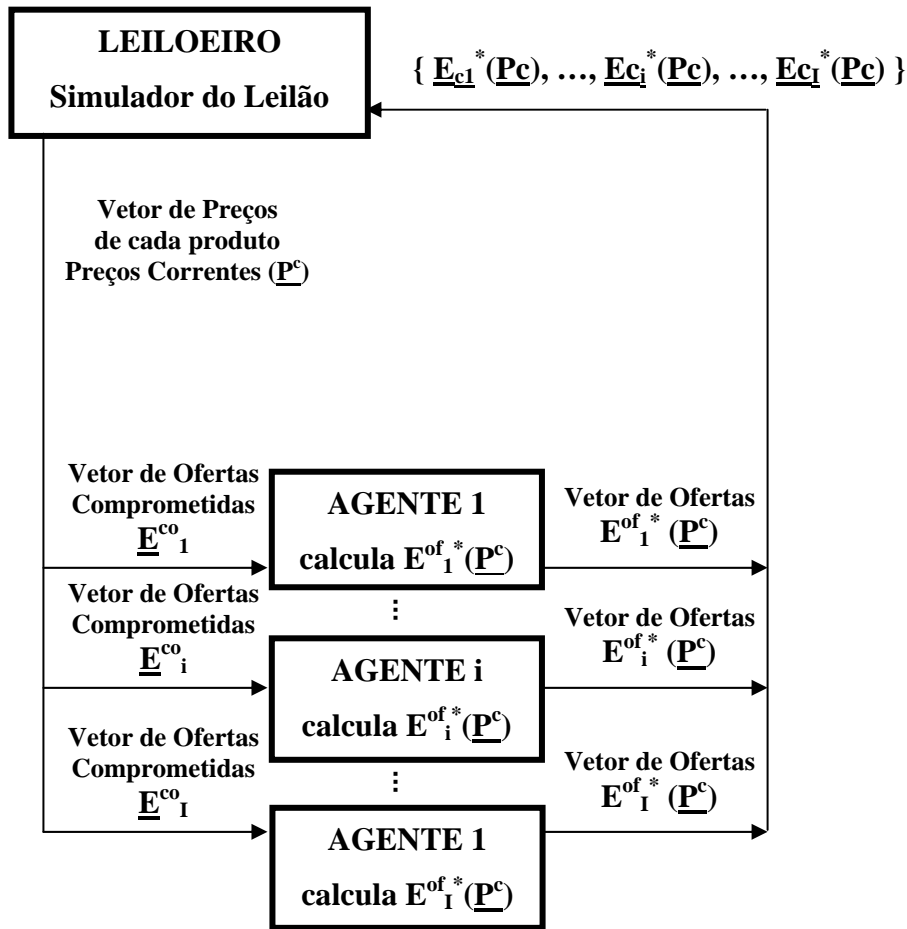


Figura 8-2 – Esquema de uma rodada de um leilão multi-rodadas .

Onde,

\underline{P}^c Vetor de preços correntes de cada rodada.

\underline{E}^{co}_i Vetor energia comprometida a cada rodada do agente i .

$E^{of}_i^*(\underline{P}^c)$ Vetor de oferta do agente i em função dos \underline{P}^c de cada rodada.

8.2.1 Estratégia de oferta

Independente da dinâmica que o leilão siga, a metodologia de oferta de quantidade descrita ao longo deste capítulo pode ser facilmente adaptada e aplicada apenas levando em consideração os preços correntes de cada rodada e os montantes comprometidos em cada produto. Essa, então, será a melhor oferta (que

maximiza a “satisfação” – utilidade esperada) que o gerador pode realizar, dada as informações disponíveis para o mesmo.

Considerando agentes “price takers” e que a toda informação que cada um deles possui em cada rodada são os preços correntes da rodada e os seus montantes comprometidos em produtos fechados, o melhor que estes podem fazer é otimizar suas ofertas para os preços correntes.

Para tanto, o gerador deve incorporar os montantes comprometidos em produtos fechados a um preço igual ao preço corrente, e encontrar os montantes de contratos candidatos que maximizam a utilidades esperada da renda da empresa.

Então, para uma dada rodada r , a expressão da renda de uma dada geradora i pode ser expressa por:

$R_{irts} = \sum_{j=1}^{Npr} P_{jr}^c (E_{ijrt}^{co} + Q_{ijt}^{max} E_{ijr}^{of}) + [G_{its} - \sum_{j=1}^{Npr} (E_{ijrt}^{co} - Q_{ijt}^{max} E_{ijr}^{of})] \pi_{ts}$	(8-4)
--	-------

Onde,

- E_{ijr}^{of} Variável de decisão que representa o **percentual da energia máxima** que pode ser ofertada de cada produto por período.
- Q_{ijt}^{max} **Energia máxima** que pode ser ofertada por cada empresa i em cada produto j por período t .
- P_{jr}^c Preço corrente do produto j na rodada r .
- E_{ijrt}^{co} Energia dos lances comprometidos da empresa i no produto j , na rodada r em cada período de tempo t .
- G_{its} Representa o total dos créditos de energia de todas as usinas da empresa i , no período t , série hidrológica s .
- π_{ts} Preço spot no período t , série s .
- Npr Número de produtos (5 diferentes contratos).

Neste caso, os diferentes produtos (contratos) têm diferentes datas, os montantes comprometidos variam por período, sendo diferentes de zero apenas

para os seus respectivos intervalos de duração. Assim, o percentual de energia ofertada (variável de decisão) é multiplicado por um vetor de energia que varia por período e por produto, valendo zero para os períodos onde cada produto não é definido e valendo um valor máximo de contratação possível para os períodos onde são. Este valor máximo pode ser definido, por exemplo, como a energia assegurada total da empresa em cada período. Para este caso, os períodos estão expressos em anos, assim as variáveis já representam os valores agregados anuais.

Pode-se, então, definir a estratégia ótima de oferta de cada empresa, através do seguinte PL:

$$\{E_{ijr}^{of*}\}_{j=1,\dots,Npr} = \arg\text{Max } 1/S \sum_{t=1}^{TA} \sum_{s=1}^S \delta_{irts} / (1-J)^t \quad (8-5)$$

Sujeito a:

$$\delta_{irts} \leq a_{Gk}(R_{irts}) + b_{Gk} \quad \text{para } k=1,\dots, K, \quad t=1,\dots,TA \text{ e } s=1,\dots,S \quad (1)$$

$$E_{ijr}^{of} \leq 1 \quad \text{para } j=1,\dots,Npr \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{Npr} E_{ijrt}^{co} + Q_{ijt}^{\max} E_{ijr}^{of} \leq EA_{it} \quad \text{para } t=1,\dots,TA \quad (3)$$

Onde,

δ_{irts} É um vetor de variáveis de decisão auxiliares, que representam a utilidade da renda de cada empresa i , na rodada r , período t , série s . É a única variável irrestrita deste PL.

EA_{it} É a energia assegurada total da empresa i em cada período t .

TA Número de períodos (em anos).

8.3 Estudo de Caso para o Leilão de Transição (2004)

No caso do leilão de transição, que ocorrerá em dezembro de 2004, inicialmente seriam leiloados cinco produtos simultaneamente, contratos com diferentes datas de início e diferentes durações (2005, 2006 e 2007, com duração de no mínimo 8 anos, 2008 e 2009, com duração de no mínimo 5 anos). Entretanto, o Ministério de Minas e Energia optou por retirar os dois últimos produtos deste leilão (2008 e 2009), fazendo assim um leilão com apenas os 3 primeiros produtos. Os produtos retirados e serão leiloados no início de 2005. Pode-se argumentar que a expectativa dos preços de energia deste próximo leilão afetará a disposição a contratar dos agentes no leilão de transição. Neste trabalho, a simulação foi realizada com os cinco produtos iniciais.

O objetivo deste leilão é de recontratar a energia liberada dos contratos iniciais, absorver a energia existente à medida que aumenta a demanda e criar um ambiente de “steady state” já em 2005. A Figura 8-3 abaixo ilustra graficamente o que seria o balanço de energia para os anos de 2005 a 2012 e os diferentes produtos leiloados.

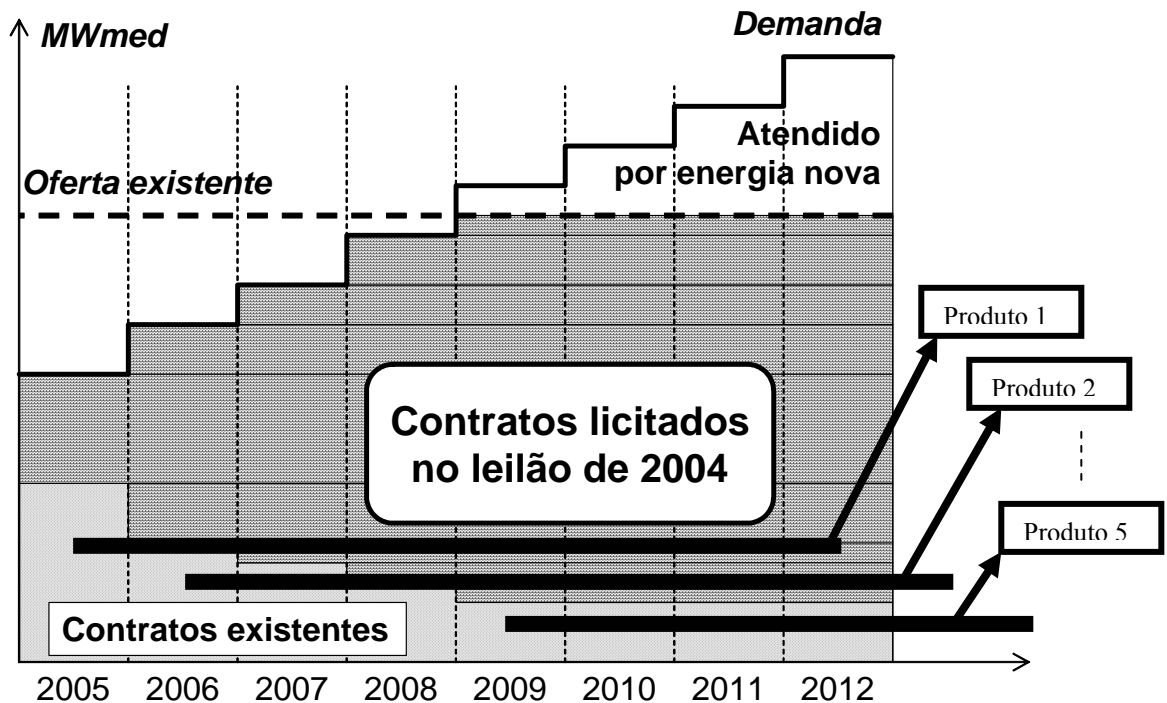


Figura 8-3 – Balanço de energia e espaço de contratação.

As barras horizontais na Figura 8-3 representam os contratos (produtos) e suas respectivas datas de início e duração. Desta forma, por se tratar de um leilão multivariado, não se consegue encontrar o equilíbrio através de uma simples curva (como no caso univariado), conforme argumentado no início deste capítulo. Assim, deve-se implementar a dinâmica real do leilão e, para cada iteração do leilão, calcular o vetor de montantes ótimos dados os preços correntes desta rodada. Os preços correntes, por sua vez, são determinados pela dinâmica entre os agentes competidores.

8.3.1 Dinâmica do Leilão de Transição

Inicialmente o leilão seria realizado em varias rodadas, onde para cada uma delas os participantes teriam um determinado tempo para ofertar um par preço (R\$/MWh) e uma quantidade (MWmed) com a informação dos preços correntes de cada produto da rodada anterior e os respectivos montantes de energia de seus lances ativos em cada produto, também da ultima rodada.

Neste desenho, os preços correntes são definidos ao final de cada rodada, independentemente por produto e correspondem ao maior preço ofertado tal que a soma dos montantes seja igual à demanda, como em um despacho de mínimo custo. Para o caso onde a quantidade ofertada de um dado produto seja inferior à demanda, o preço corrente deste é igualado ao preço corrente da rodada anterior. Na primeira rodada o preço corrente é definido pelo preço inicial.

O lance ativo corresponde aos lances aceitos pelo leiloeiro e que no caso do término do leilão, serão liquidados ao preço corrente. Um determinado lance pode deixar de ser ativo e ser “expulso” de um produto, à medida que os participantes ofertem quantidades a preços mais baratos que este e ao término de uma dada rodada o total de lances ordenados igualem a demanda antes do mesmo.

Os agentes podem ofertar quantas vezes (rodadas) quiserem, porem sempre a um preço menor (pelo menos uma unidade inteira – 1R\$) que o preço corrente de cada produto.

O leilão é finalizado à medida que não existam mais ofertas aos respectivos produtos e os preços de todos eles estejam abaixo do preço de reserva. Este preço não é divulgado aos participantes e no caso de uma rodada sem ofertas com algum preço corrente acima do preço de reserva, a demanda do respectivo produto é

reduzida de uma quantidade predeterminada, de forma a “expulsar” algum lance e fomentar a competição por este “espaço” de demanda perdida, forçando assim que o preço deste produto decresça até ficar abaixo do preço de reserva. A descrição completa e detalhada deste leilão encontra-se em [42].

Entretanto, este desenho tinha o inconveniente de ser muito demorado, ou seja, os preços tendiam a decrescer muito lentamente, dado que as empresas poderiam fazer novas propostas quantas vezes desejassem, deslocando as ofertas mais caras. Assim, os preços tendiam a decrescer de unidade em unidade, em ordem cronológica de produto (primeiro o produto 2005, depois 2006, e assim por diante). Ao passo que um produto se tornasse barato, os participantes migrariam suas ofertas aos produtos subseqüentes até que todos os produtos estivessem sendo oferecidos a preços correntes onde nenhum participante estivesse disposto a contratar mais nenhum MWmed de energia.

Então, este desenho foi modificado [43], e na nova versão, os participantes ofertam somente quantidades, e os preços são determinados pelo balanço entre a oferta e a demanda de cada produto por um algoritmo que não será declarado aos participantes, mas que basicamente atualizará o preço segundo alguma função decrescente com a sobre oferta de cada produto e possivelmente com a proximidade entre os preços correntes e os preços de reserva. Outra modificação realizada foi a introdução do conceito de produtos abertos (produtos onde em uma dada rodada a oferta é maior que a demanda) e fechados (produtos onde para uma dada rodada a oferta é inferior à demanda). Os lances já ofertados a produtos fechados são mantidos “comprometidos” ao longo das rodadas até que a primeira fase termine ou até que o produto seja aberto por uma sobre oferta devido a novos lances (ofertas) a este produto. Os lances em produtos abertos são zerados e a decisão de oferta a estes produtos deve ser refeita a cada rodada ao preço corrente.

Assim, a primeira fase é finalizada caso a oferta total seja menor ou igual que a demanda total acrescida de um fator de referência percentual (para estimular a competição na segunda fase com uma “pequena sobre oferta”) e o preço corrente de cada produto seja inferior ao seu respectivo preço de reserva.

A descrição completa e detalhada desta segunda proposta de desenho de leilão encontra-se em [62].

8.3.2 Resultados da simulação da 1ª. fase do Leilão de Transição

Neste estudo de caso foram modeladas doze empresas geradoras representativas do setor elétrico brasileiro, através da simulação e otimização de seus fluxos de caixa em etapas mensais.

Para isso, foi necessário simular 200 cenários de geração por usina, de preços *spot* para todos os subsistemas, simular as regras do MRE, a fim de se obter os créditos de energia de cada usina, para cada subsistema e então produzir os cenários da renda líquida de todas as doze empresas.

Para se obter os cenários de geração física e de preços *spot* utilizou-se o software de despacho hidrotérmico SDDP para encontrar uma política de operação do sistema sob uma hipótese de cenário de expansão. Estes dados, então, foram submetidos ao programa SMAE, que simula as regras do MRE, para então se obter os cenários de créditos de energia alocados aos subsistemas. Com esses dados pode-se simular as rendas de cada empresa segundo a expressão

(8-4) e resolver o problema (8-5) para cada rodada do leilão, como descrito no item 8.3.1.

Na tabela abaixo, as empresas consideradas neste estudo de caso e seus respectivos espaços de contratação por ano:

Empresa	Espaço de Contratação (MWmed)				
	2005	2006	2007	2008	2009
CDSA_G	215.0	215.0	215.0	215.0	215.0
CEEE_G	280.4	422.8	429.5	429.5	429.5
CEMIG_G	2,604.3	3,875.4	3,874.9	3,874.6	3,874.6
CESP_G	2,907.8	3,696.5	3,696.4	3,696.3	3,696.1
CHESF_G	3,441.4	4,517.6	4,915.0	4,958.1	5,292.6
CIEN_G	436.8	436.8	436.8	436.8	436.8
COPEL_G	1,047.0	1,621.5	1,621.5	1,621.5	1,671.5
DUKE_G	677.8	910.9	910.7	930.5	930.3
ELETRONORTE	2,199.2	2,578.0	2,644.0	2,644.0	2,669.0
FURNAS_G	6,461.2	7,757.6	7,787.5	7,787.5	7,802.4
PETROBRAS_G	918.3	942.3	961.6	961.6	961.6
TRACTEBEL_G	1,592.0	2,197.1	2,197.1	2,234.9	2,234.9

Tabela 8-1 – Espaço de contratação total anual das empresas consideradas.

Os valores da Tabela 8-1 acima correspondem ao total de MWmed disponíveis a cada ano para a contratação no leilão. Esses valores podem ser encontrados através da subtração do montante total de contratos existentes de cada

empresa de suas respectivas energias asseguradas totais. Os dados de contratos foram inferidos através de dados públicos disponíveis na Internet, como por exemplo, licitações públicas e audiências públicas de revisão tarifária das distribuidoras.

É importante ressaltar que, para este caso, onde o perfil de risco de cada agente é uma informação sigilosa e não disponível, a FU proporciona a grande vantagem de expressar um comportamento, um perfil, e não uma métrica específica de risco, o que nos permite, em uma simulação, representar atitudes racionais dos agentes, frente aos riscos conhecidos do setor. Assim, o procedimento adotado para levantar as curvas de utilidade dos agentes foi a seguinte:

1. Resolver o problema (8-5) para um caso de neutralidade a risco (utilidade com os coeficientes angulares constantes – equivalente a maximizar o valor esperado da renda)
2. Definir as quebras dos segmentos dentro dos quantis da distribuição da renda obtida com a contratação realizada no item 1.
3. Impor um perfil de risco que aproxime os resultados para os contratos existentes, capturando assim, não o exato comportamento de quem realmente tomará as decisões de cada empresa, mas um comportamento típico e racional de decisões de contratação para as diversas empresas.

Após definir as FULP's para cada empresa, o processo da primeira fase do leilão foi simulado e em 66 rodadas (iterações) o leilão convergiu, sendo finalizado com o seguinte resultado (os preços de reserva foram inseridos):

	Preços (R\$/MWh) por Produto	
	Reserva	Fechamento
Prod(2005):	80	63
Prod(2006):	90	71
Prod(2007):	96	79
Prod(2008):	100	100
Prod(2009):	100	****

Tabela 8-2 – Preços de Reserva e Fechamento do Leilão.

EMPRESA	2005	2006	2007	2008	2009	TOTAL
Furnas	5,829.0	1,557.0	210.0	40.0	0.0	7,636.0
Chesf	2,472.0	1,057.0	240.0	220.0	0.0	3,989.0
Cemig	600.0	0.0	3,199.0	69.0	0.0	3,868.0
Cesp	10.0	0.0	3,578.0	100.0	0.0	3,688.0
eletronorte	0.0	2,490.0	0.0	0.0	0.0	2,490.0
tractebel	717.0	588.0	749.0	170.0	0.0	2,224.0
Copel	0.0	0.0	1,569.0	40.0	0.0	1,609.0
petrobras	780.0	0.0	169.0	0.0	0.0	949.0
Duke	69.0	229.0	509.0	110.0	0.0	917.0
Cien	30.0	0.0	0.0	290.0	0.0	320.0
Ceee	0.0	110.0	168.0	39.0	0.0	317.0
Cdsa	50.0	0.0	40.0	30.0	0.0	120.0
Total	10,557.0	6,031.0	10,431.0	1,108.0	0.0	28,127.0
Oferta	10,557.0	6,031.0	10,431.0	1,108.0	0.0	28,127.0
Demanda	15,640.0	7,722.0	3,131.0	1,663.0	0.0	28,156.0
Balanco	-5,083.0	-1,691.0	7,300.0	-555.0	0.0	-29.0

Tabela 8-3 – Resumo dos montantes liquidados por empresa e produto.

Oferta vs Demanda (MWmed)

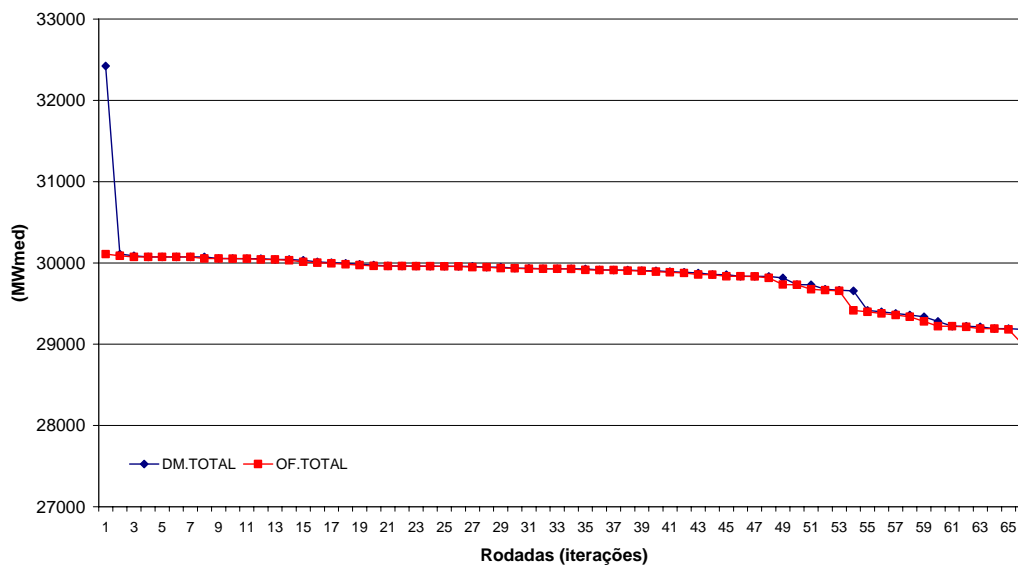


Figura 8-4 – Evolução da oferta e demanda total.

Na Figura 8-4 acima, nota-se que ao longo das iterações a oferta decresce em função da diminuição da disposição a contratar dos agentes, à medida que os preços dos produtos decrescem.

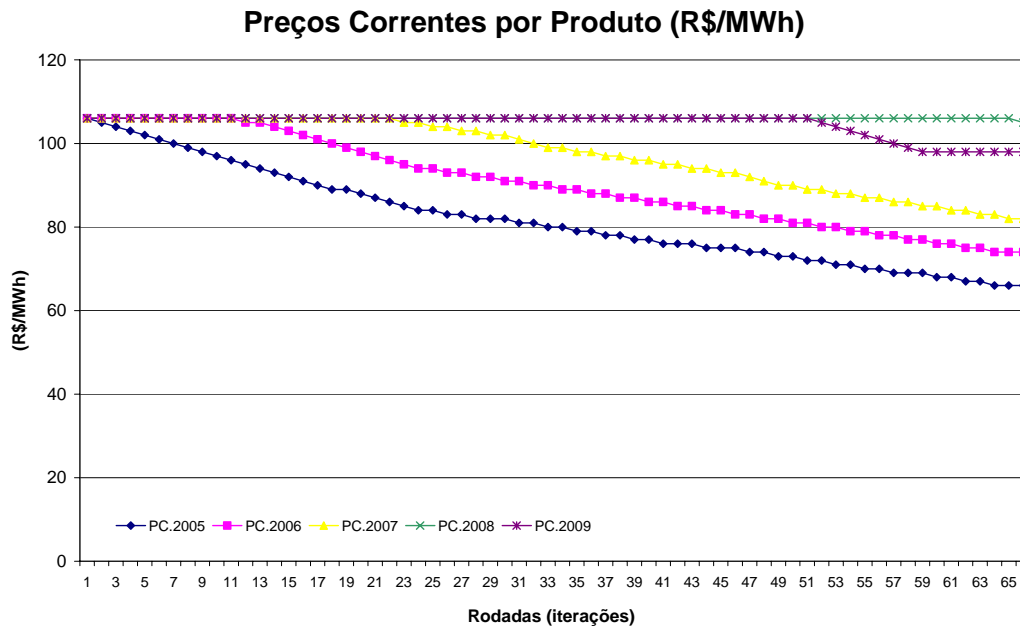


Figura 8-5 – Evolução dos preços correntes por produto.

Os preços, por sua vez, decrescem em função da sobre oferta de cada produto. Na Figura 8-5, os preços decaem em ordem cronológica, conforme esperado para um comportamento onde cada agente busca maximizar a sua utilidade esperada.

Assim, os primeiros produtos recebem mais oferta e então têm os seus preços decrescidos mais rapidamente que os seus subseqüentes. No decorrer das iterações, ao passo que as disposições a contratar multivariadas de cada agente percebem preços mais altos nos produtos cronologicamente mais a frente, a ofertar é deslocada para estes e assim, os preços dos mesmos tendem a decrescer. Desta maneira, teoricamente os preços de fechamento do leilão formam uma “escada” expressando a “preferência” (maior procura / competição) por produtos que iniciam mais cedo. Entretanto, devido à regra de corte de demanda estabelecida neste desenho, a qual diz que para o caso onde oferta total seja menor que demanda total, a diferença será preferencialmente retirada da demanda dos produtos cronologicamente mais a frente (ordem decrescente no tempo), esta forma intuitiva (“escada” de preços) pode não ocorrer, conforme ilustrado na Figura 8-5 acima. Neste caso, à medida que a demanda do produto 2009 foi reduzida por um déficit de oferta total (balanço entre a soma de todos os

produtos), o preço deste produto foi decrescido a níveis abaixo dos preços do produto 2008.

Como uma das condições de encerramento do leilão é o balanço total (soma de todos os produtos) entre oferta e demanda, conforme explicado no item 8.3.1, a preferência por produtos que iniciam mais cedo faz com que os preços sejam reduzidos a valores nos limites das disposição a contratar dos geradores. Assim os balanços finais entre as ofertas e demandas dos produtos mais requisitados, terminaram negativos (oferta menor que a demanda). Este fato pode ser constatado na Tabela 8-3 de resultados do leilão. Durante as iterações finais do leilão, a disposição a contratar das geradoras diminuiu a oferta total, devido à redução dos preços dos primeiros produtos, à medida que esta oferta não migrou completamente para os produtos finais, somente parte dela. Com isso, o balanço total de energia tornou-se negativo, condição para reduzir a demanda do produto final para o inicial. Assim, a demanda do produto 2009 foi completamente zerada e o produto extinto do leilão. A segunda condição de parada (preços correntes menores ou iguais aos respectivos preços de reserva) foi atendida quando os preços correntes de 2005 a 2007 já se encontravam abaixo dos seus respectivos preços de reserva e o produto 2008 atingiu o seu preço de reserva, no valor de 100 R\$/MWh. Assim, dado que os preços de reserva são parâmetros definidos pelo leiloeiro e não são revelados aos competidores, nesta simulação, onde foi criado um “*proxy*” para os preços de energia (no final da fase 1) em função da disposição a contratar dos agentes, o preço de 100 R\$/MWh pode representar uma expectativa de preço para o ano 2008 e os demais preços (de 2005 a 2007) a disposição a contratar dos agentes competindo entre si, dada essa expectativa.