

# CAPÍTULO 8

## RESULTADOS: ESTRATÉGIA ÓTIMA DE OFERTA DE PREÇOS NO MERCADO BRASILEIRO DE ENERGIA ELÉTRICA

### 8.1 INTRODUÇÃO

No Capítulo 7 foi mostrado que no *tight pool* o potencial para os agentes termelétricos exercerem poder de mercado é bastante reduzido no sistema brasileiro. Já em um esquema geral de oferta de preços, geradores com grande participação na capacidade instalada do sistema, como a CHESF, teriam capacidade para exercer poder de mercado no MAE.

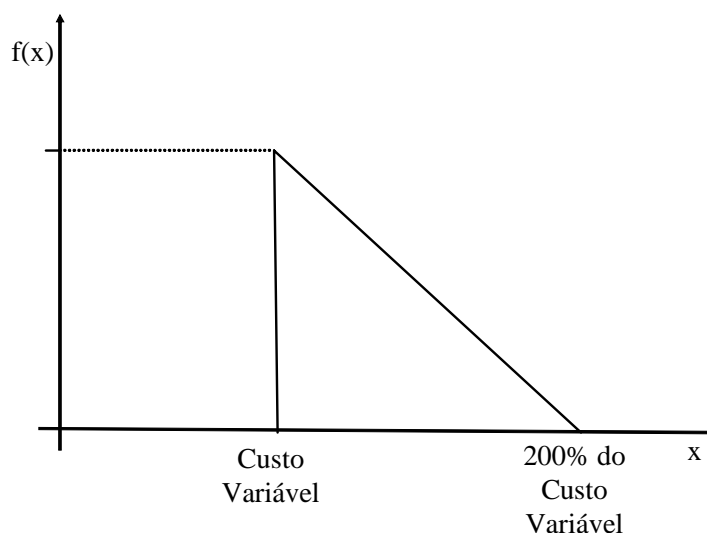
Neste capítulo são aplicadas ao Sistema Interligado Nacional as formulações do problema de estabelecimento de estratégias ótimas de oferta de preços apresentadas no Capítulo 6. Inicialmente é determinada a estratégia ótima para um gerador termelétrico no *tight pool*. Em seguida é determinada a estratégia ótima para geradores termelétricos e hidrelétricos no esquema geral de ofertas de preços apresentado no Capítulo 4. Como no Capítulo 7, são novamente utilizadas configurações do sistema consideradas pelo ONS no Planejamento Mensal da Operação (PMO) de abril de 2002 [62], dados básicos apresentados no Anexo C.

### 8.2 ESTRATÉGIA ÓTIMA NO *TIGHT POOL*

Nesta seção são apresentados resultados da aplicação do algoritmo apresentado na Figura 6.2 ao *tight pool*. Para a diminuição do esforço computacional foi considerado que todos os geradores termelétricos fazem uma mesma oferta para todas as horas do dia seguinte. Inicialmente, foi utilizado o maior gerador termelétrico do sistema que é a usina de Angra II (1309MW). Posteriormente, foi avaliado um caso fictício onde toda a capacidade instalada térmica estaria concentrada em uma única empresa, e esta faria uma única oferta de preço para todo o conjunto de usinas termelétricas.

Como detalhado na Seção 6.4.4.2, o comportamento dos geradores termelétricos competidores foi modelado por uma distribuição triangular. O limite

superior da distribuição foi considerado igual a 200% do custo variável da termelétrica, como ilustrado na Figura 8.1. No cálculo da utilidade de receita operacional bruta foram utilizadas amostras de 30 cenários, apenas para as ofertas dos agentes competidores, ou seja, não foram consideradas incertezas na carga e na disponibilidade de geração. Para representar o perfil de aversão a risco do gerador foi utilizada a função utilidade apresentada na Expressão (6.5), com um parâmetro de aversão a risco igual a 0,5.



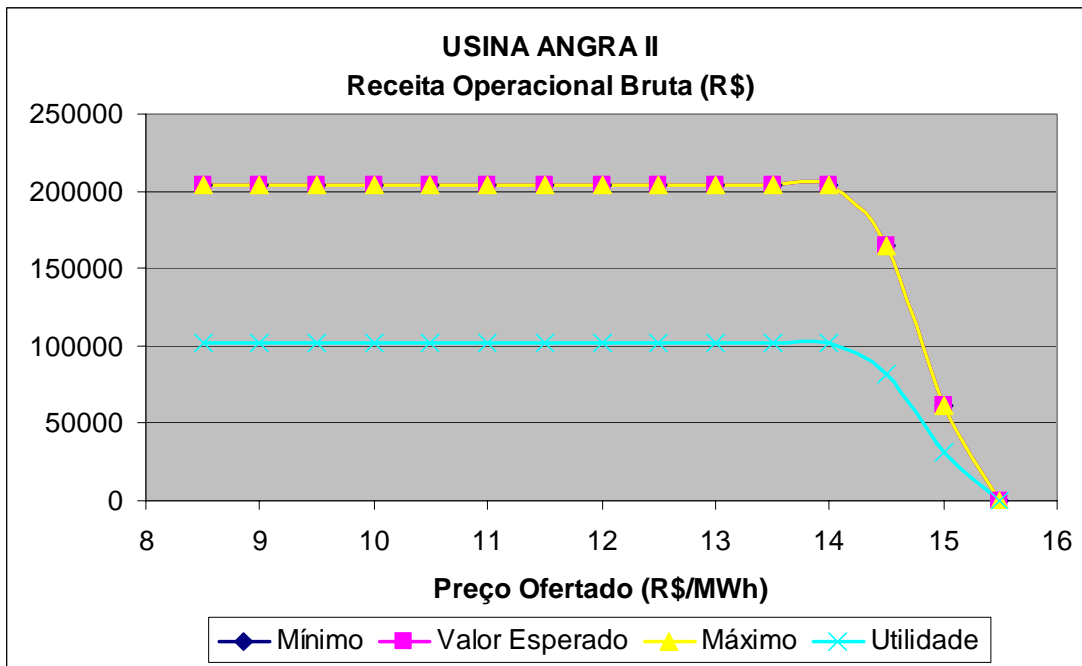
**Figura 8.1 – Modelagem do Comportamento dos Geradores Termelétricos**

Como no Capítulo 7, foram considerados três níveis de armazenamento iniciais nas simulações com o Programa DESSEM:

- Nível Alto ( $\approx 70\%$  do máximo)
- Nível Médio ( $\approx 46\%$  do máximo)
- Nível Baixo ( $\approx 24\%$  do máximo)

### 8.2.1 RESULTADOS PARA NÍVEL DE ARMAZENAMENTO ALTO

Foi considerado que a usina de Angra II estaria vendo toda a sua energia no mercado spot, pois esta é a situação em que o poder de mercado de usina seria máximo. Para um nível de armazenamento alto, a Figura 8.2 apresenta a variação com a oferta de preço do valor esperado, máximo, mínimo, e utilidade da receita operacional bruta da usina de Angra II.

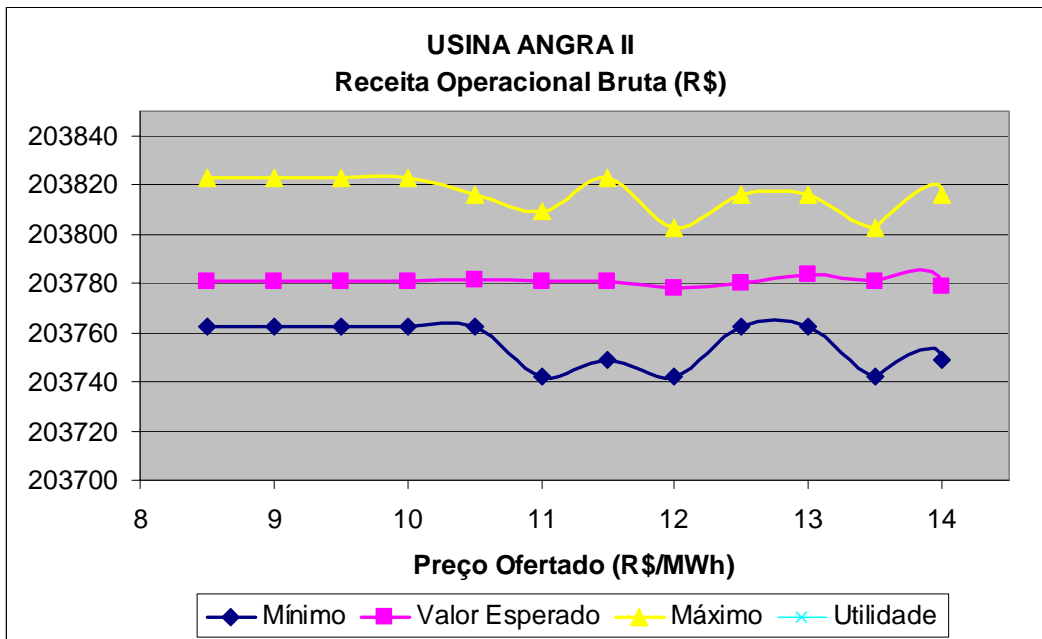


**Figura 8.2 - Variação da Receita Operacional Bruta – Angra II  
(Nível de Armazenamento Alto)**

Nota-se que a usina não consegue aumentar nem o valor esperado nem a utilidade da receita operacional bruta aumentando as suas ofertas de preço. Isto significa que a usina, mesmo totalmente no mercado spot, não tem poder de mercado para aumentar sua receita, apesar de como mostrado na Seção 7.2.1, Angra II conseguir aumentar um pouco o preço spot se ofertar um preço igual a R\$ 350 /MWh. Entretanto, neste caso a usina não estaria sendo despachada. Observa-se também que a partir de um certo nível de oferta, aproximadamente R\$ 14 /MWh, a usina passa a ter a sua receita reduzida em função da redução do despacho.

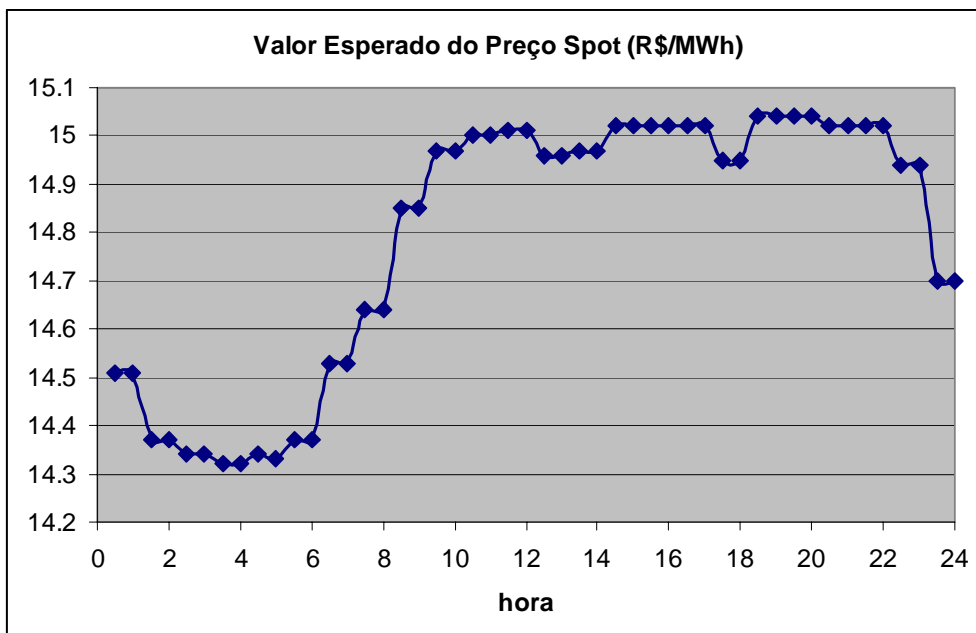
A figura anterior mostra também que a incerteza na receita operacional bruta associada ao comportamento de ofertas das outras usinas térmicas é muito pequena, mas apesar de pequena esta incerteza existe, como mostrado na Figura 8.3.

O coeficiente de variação ( $\beta$ ) médio, calculado utilizando a Expressão (6.10), para as estimativas do valor esperado da receita operacional bruta foi da ordem de 0,001%, indicando que em função da pequena incerteza uma amostra de tamanho 30 é mais do que suficiente, neste caso.



**Figura 8.3 – Zoom da Variação da Receita Operacional Bruta – Angra II (Nível de Armazenamento Alto)**

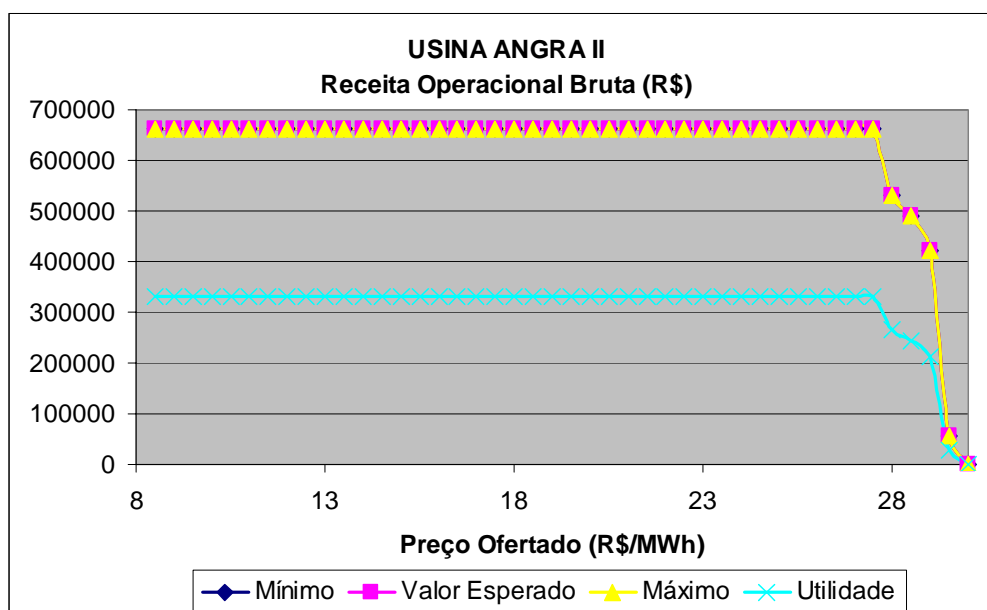
Com base nos resultados anteriores pode-se concluir que neste caso a estratégia ótima de Angra II seria ofertar um preço igual a seu custo variável de operação (R\$ 8,5 / MWh). Para esta oferta ótima, a Figura 8.4 apresenta o valor esperado do preço spot no Subsistema SE/CO para cada ½ hora do dia seguinte.



**Figura 8.4 – Valor Esperado do Preço Spot – Angra II (Nível de Armazenamento Alto)**

## 8.2.2 RESULTADOS PARA NÍVEL DE ARMAZENAMENTO MÉDIO

Os resultados obtidos para um nível de armazenamento médio são similares aos apresentados na seção anterior. Na Figura 8.5 é apresentada a variação com a oferta de preço de Angra II do valor esperado, máximo, mínimo, e utilidade de sua receita operacional bruta. Neste caso também foi considerado que a usina de Angra II estaria vendendo toda a sua energia no mercado spot.

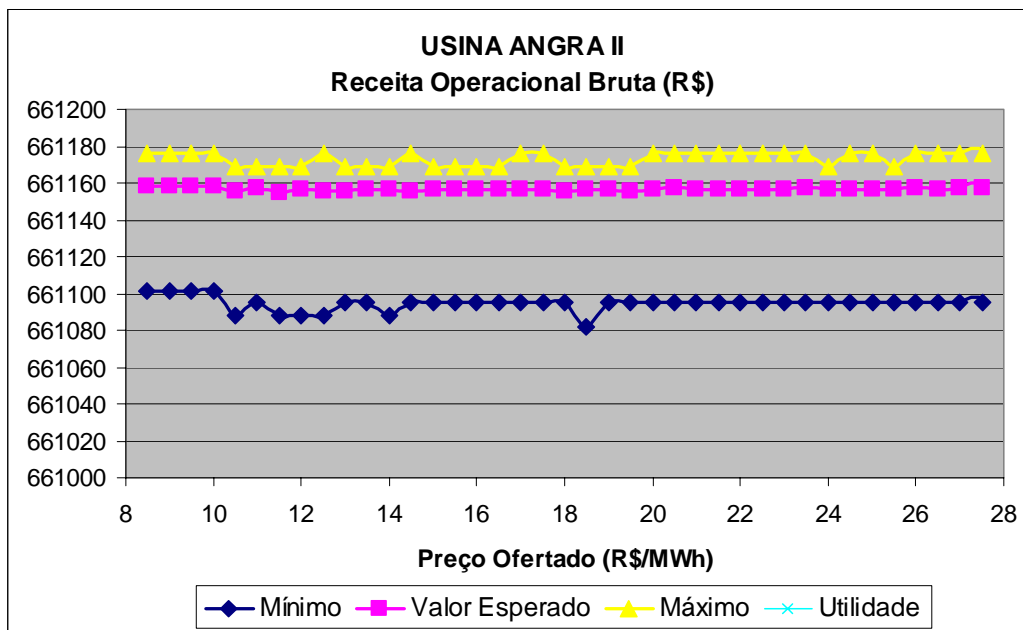


**Figura 8.5 - Variação da Receita Operacional Bruta – Angra II  
(Nível de Armazenamento Médio)**

Nota-se que novamente a usina não consegue aumentar nem o valor esperado nem a utilidade da receita operacional bruta aumentando as suas ofertas de preço. Como no caso anterior, isto é verdade, apesar de ter sido mostrado Seção 7.2.2, que Angra II consegue aumentar um pouco o preço spot se ofertar um preço alto. Neste caso Angra II passa a ter a sua receita reduzida a partir de uma oferta em torno de R\$ 27 /MWh.

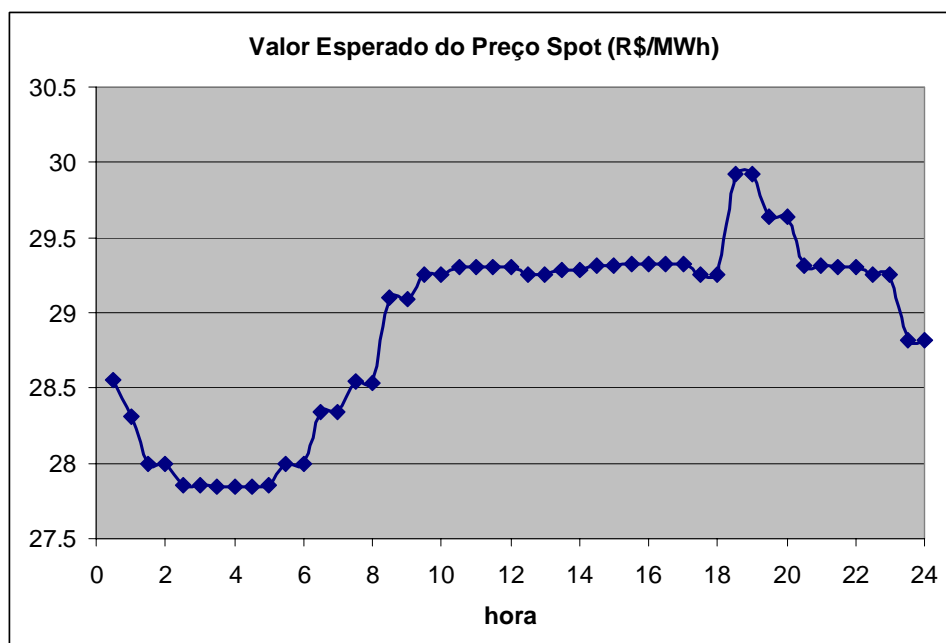
A figura anterior mostra que também no caso de armazenamento médio a incerteza na receita operacional bruta associada ao comportamento de ofertas das outras usinas térmicas é muito pequena, como ilustrado na Figura 8.6.

O coeficiente de variação ( $\beta$ ) médio obtido neste caso foi da ordem de apenas 0,0004%, indicando mais uma vez que amostra de tamanho 30 é suficiente.



**Figura 8.6 – Zoom da Variação da Receita Operacional Bruta – Angra II (Nível de Armazenamento Médio)**

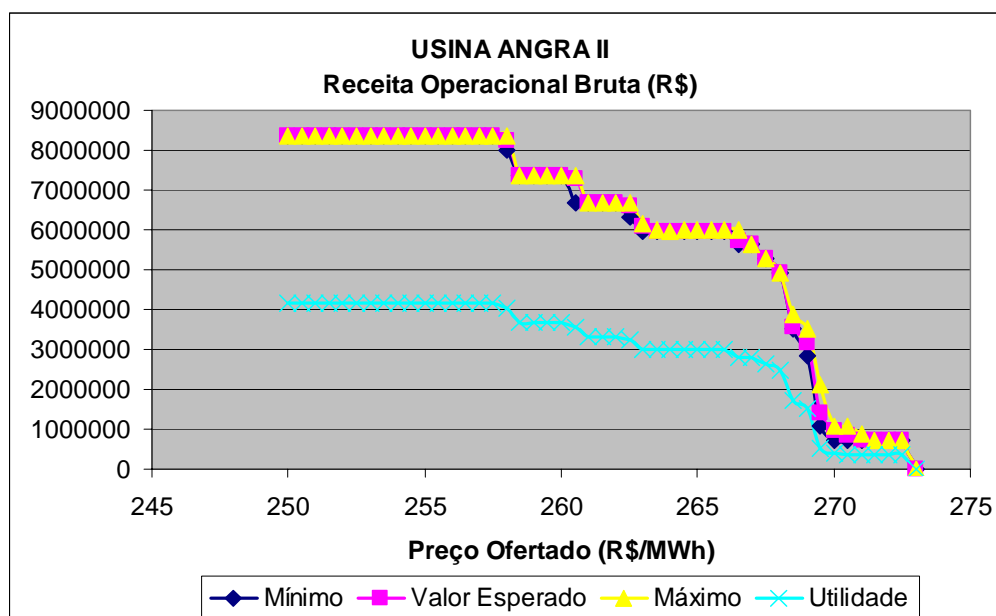
Pode-se concluir que para um armazenamento médio a usina de Angra II também não tem nenhum estímulo para ofertar um preço maior que seu custo variável de operação. Na Figura 8.7 é apresentado o valor esperado do preço spot no Subsistema SE/CO para cada ½ hora do dia seguinte para a oferta de Angra II de R\$ 8,5 /MWh.



**Figura 8.7 – Valor Esperado do Preço Spot – Angra II (Nível de Armazenamento Médio)**

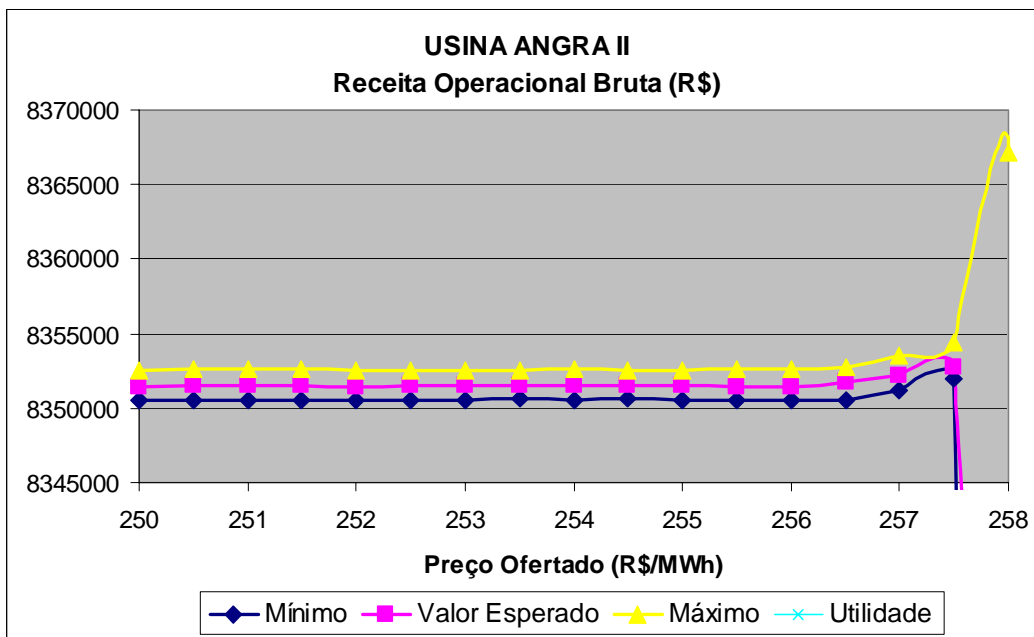
### 8.2.3 RESULTADOS PARA NÍVEL DE ARMAZENAMENTO BAIXO

A variação com a oferta de preço do valor esperado, máximo, mínimo, e utilidade de sua receita operacional bruta de Angra II para um nível de armazenamento baixo são apresentados na Figura 8.8.



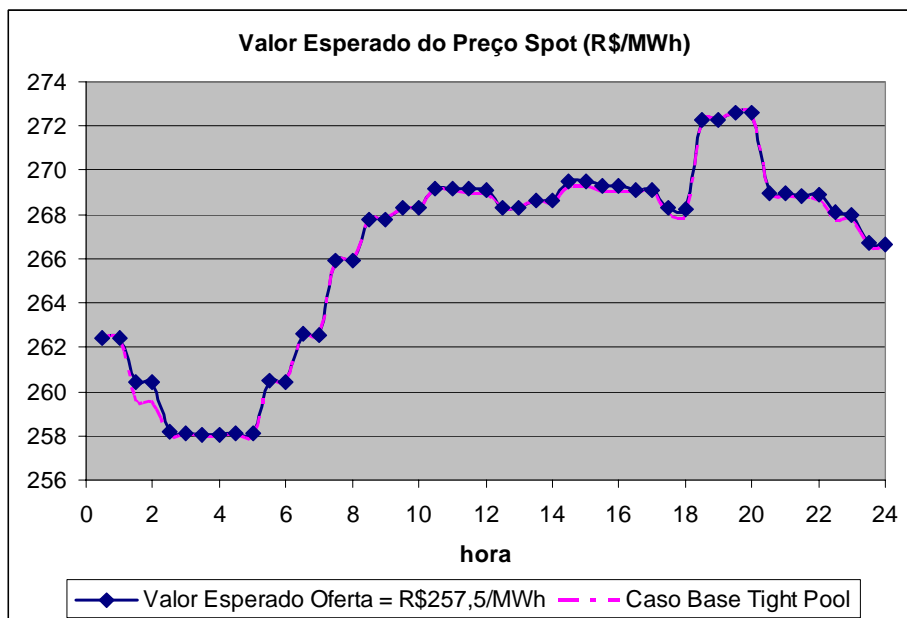
**Figura 8.8 - Variação da Receita Operacional Bruta – Angra II  
(Nível de Armazenamento Baixo)**

A princípio os resultados obtidos para um nível de armazenamento baixo são equivalentes aos obtidos para os níveis alto e médio. Entretanto, observa-se na Figura 8.9 que a partir de uma oferta de R\$ 257,0 / MWh existe um pequeno aumento do valor esperado da receita operacional bruta, sem um aumento de risco associado, ou seja, há um aumento da função utilidade. Por outro lado, a partir de uma oferta em torno de R\$ 258,0 / MWh há uma redução considerável no valor esperado da receita. A oferta ótima obtida utilizando o algoritmo apresentado na figura 6.2 foi de R\$ 257,5 / MWh. O coeficiente de variação ( $\beta$ ) médio obtido aqui foi da ordem 0.3%.



**Figura 8.9 – Zoom da Variação da Receita Operacional Bruta – Angra II (Nível de Armazenamento Baixo)**

Na Figura 8.10 é apresentado o valor esperado do preço spot no Subsistema SE/CO para cada ½ hora do dia seguinte para a oferta de Angra II de R\$ 257,5 /MWh. É apresentado também o preço para o caso base do *tight pool*, onde todas as térmicas ofertam preços iguais aos seus custos variáveis.



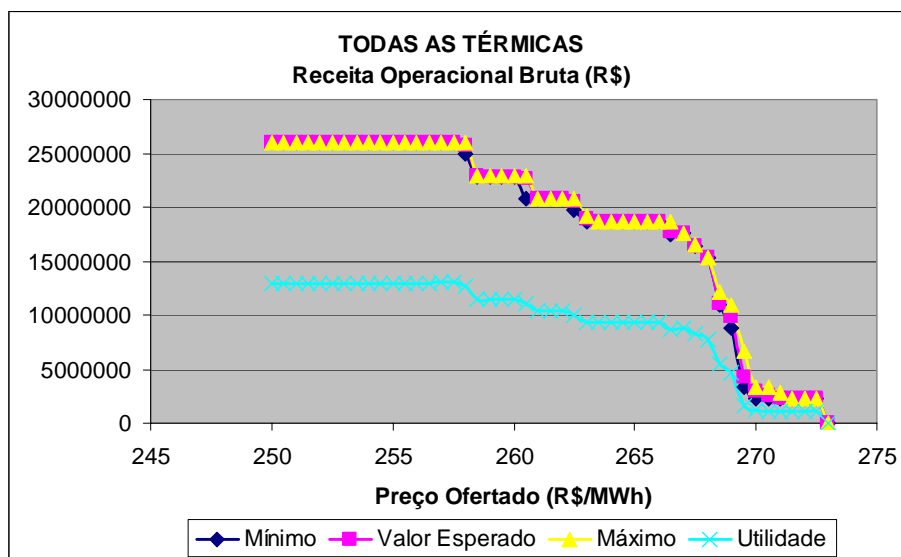
**Figura 8.10 – Valor Esperado do Preço Spot – Angra II (Nível de Armazenamento Baixo)**



Os resultados apresentados na figura anterior ilustram novamente que os benefícios da oferta de R\$257,50 / MWh são bastante reduzidos. Desta forma, apesar desta ser a oferta ótima, dadas as premissas utilizadas, talvez os benefícios associados não justifiquem esta oferta em função dos riscos não representados no modelo, como, por exemplo, a incerteza na carga. O aumento do custo total de operação no Subsistema SE/CO no dia em função da oferta de R\$257,50 / MWh foi de 0,046% (R\$ 76.061,33).

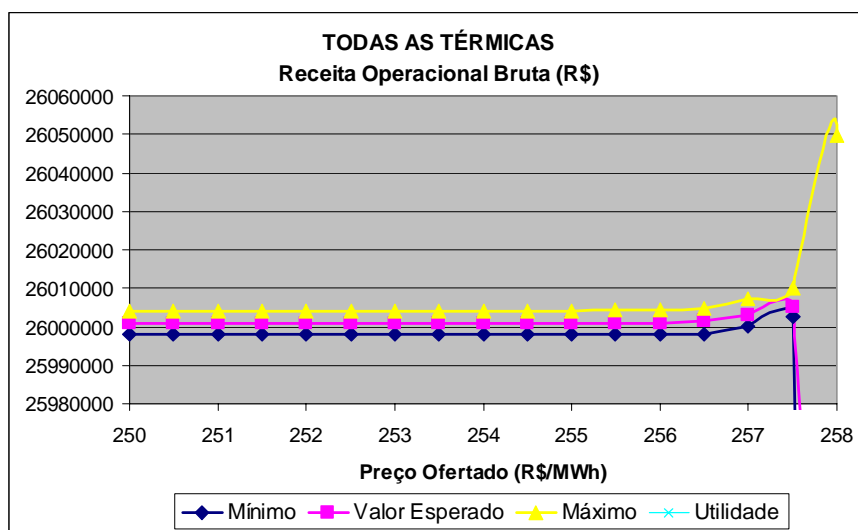
### 8.2.4 RESULTADOS PARA TÉRMICAS PERTENCENTES A UMA ÚNICA EMPRESA

Uma questão que surge a partir dos resultados anteriores é: será que o poder de mercado das térmicas no *tight pool* seria maior se todas pertencessem a uma única empresa e ofertassem em conjunto para maximizar os resultados da empresa? Para avaliar esta questão foi considerado que toda a capacidade instalada térmica do Subsistema SE/CO estaria concentrada em uma única empresa, e que esta empresa faria uma mesma oferta de preço para todo este conjunto de usinas. Para maximizar o poder de mercado desta empresa foi considerado que todas as usinas teriam um custo variável de operação igual ao de Angra II, R\$ 8,5 / MWh. Os resultados obtidos para valor esperado, máximo, mínimo, e utilidade de sua receita operacional bruta desta empresa, considerando um nível de armazenamento baixo, são apresentados na Figura 8.11. O coeficiente de variação médio aqui foi da ordem de 0,3%.

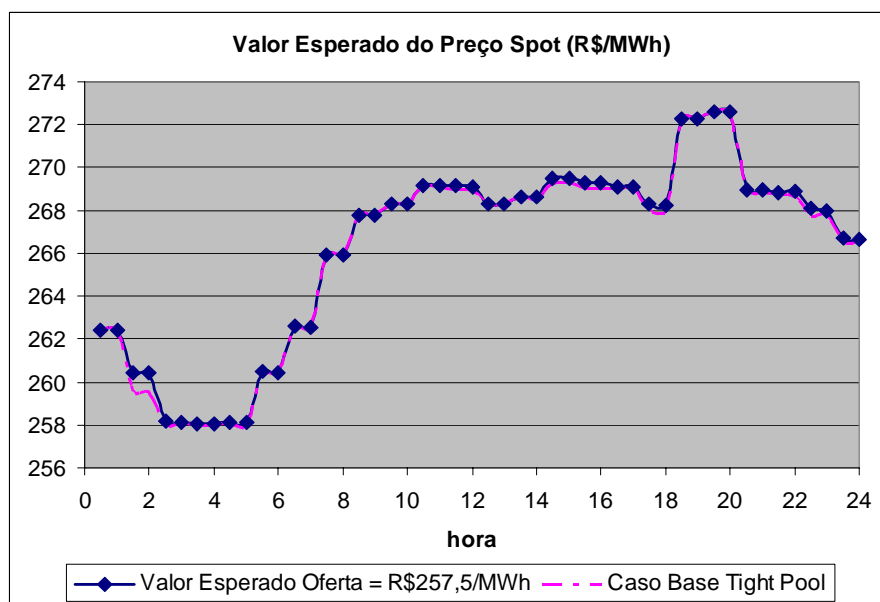


**Figura 8.11 - Variação da Receita Operacional Bruta – Conjunto de Térmicas do SE/CO (Nível de Armazenamento Baixo)**

Os resultados obtidos neste caso são muito próximos aos obtidos para Angra II. Observa-se na Figura 8.12 que novamente a partir de uma oferta de R\$ 257 / MWh existe um pequeno aumento do valor esperado da receita operacional bruta, sem um aumento de risco associado. A partir de uma oferta em torno de R\$ 258,00 / MWh há também uma redução considerável no valor esperado da receita. A oferta ótima obtida foi igual ao caso de Angra II, ou seja, R\$ 257,50 / MWh. Na Figura 8.13 é apresentado o valor esperado do preço spot para a oferta do conjunto de térmicas de R\$ 257,5 /MWh.



**Figura 8.12 – Zoom da Variação da Receita Operacional Bruta – Conjunto de Térmicas do SE/CO (Nível de Armazenamento Baixo)**



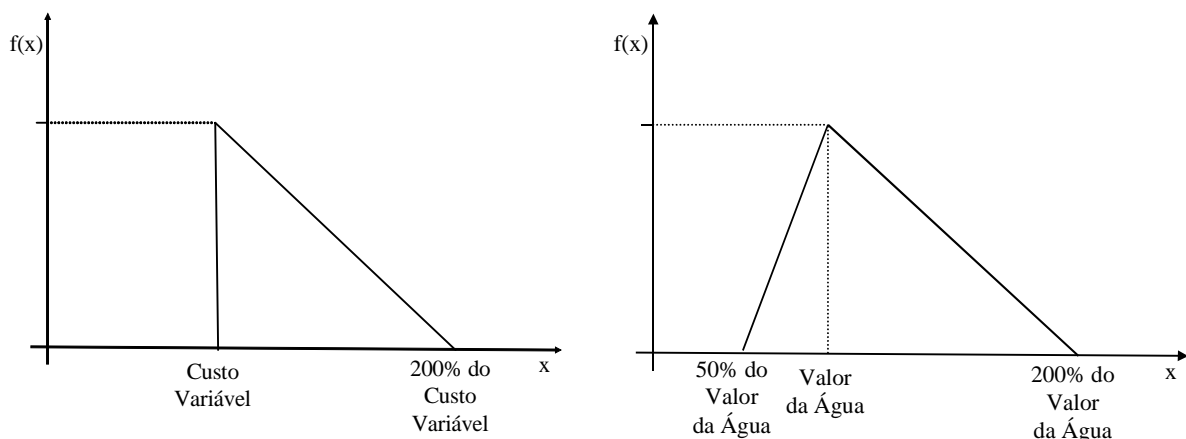
**Figura 8.13 – Valor Esperado do Preço Spot – Conjunto de Térmicas do SE/CO(Nível de Armazenamento Baixo)**

Nota-se que mesmo no caso do conjunto de térmicas, apesar da oferta de R\$ 257,5 /MWh ser a oferta ótima, os benefícios associados são novamente muito pequenos. Neste caso o aumento do custo total de operação no Subsistema SE/CO no dia em função da oferta de R\$257,50 / MWh de todas as usinas térmicas foi de 0,05% (R\$ 82.630,49).

### 8.3 ESTRATÉGIA ÓTIMA NO ESQUEMA GERAL DE OFERTAS DE PREÇOS

Nesta seção são apresentados resultados da aplicação do algoritmo apresentado na Figura 6.2 ao esquema geral de oferta de preços. Neste caso será determinada a oferta ótima para cada hora do dia seguinte, uma vez que o esforço computacional associado à solução do Problema (4.5) é muito menor que o requerido pelo Programa DESSEM, desenvolvido pelo Cepel. Os geradores hidrelétricos são novamente considerados agregados por empresa.

Como no *tight pool*, o comportamento dos geradores termelétricos competidores foi modelado por uma distribuição triangular com limite superior igual a 200% do custo variável da termelétrica. O comportamento dos geradores hidrelétricos foi modelado utilizando uma distribuição triangular com limite inferior igual 50% e superior de 200% do valor da água calculado através do Programa DESSEM para o caso base do *tight pool*. As distribuições utilizadas são ilustradas na Figura 8.14.



**Figura 8.14 – Modelagem do Comportamento dos Geradores Termelétricos e Hidrelétricos**

Os valores da água para cada subsistema do Sistema Interligado Nacional utilizados na modelagem do comportamento dos geradores hidrelétricos são

apresentados na Tabela 8.1. Estes valores foram calculados com o Programa DESSEM para cada um dos níveis de armazenamento analisados.

**Tabela 8.1 - Valor da Água por Calculado com o DESSEM (R\$/MWh)**

Subsistema	Nível Alto (≈ 70% do máximo)	Nível Médio (≈ 46% do máximo)	Nível Baixo (≈ 24% do máximo)
SE/CO	14,0	29,0	270,0
S	14,0	29,0	270,0
NE	4,0	5,5	295,0
N	4,0	5,5	295,0

No cálculo da utilidade de receita operacional bruta foram utilizadas amostras de 100 cenários, apenas para as ofertas dos agentes competidores.

No esquema de ofertas de preços as estratégias ótimas foram determinadas para 3 agentes diferentes:

- CHESF – geradora hidrelétrica dominante no Subsistema NE, com uma capacidade instalada de 7060 MW (60,1% do NE e 9,3% do Sistema Interligado). A usina de Xingo de 3000 MW foi considerada um agente aparte.
- FURNAS – maior geradora hidrelétrica do Subsistema SE/CO, com uma capacidade instalada de 8772 MW (18,2% do SE/CO e 11,6% do Sistema Interligado)
- Angra II – maior gerador termelétrico do Subsistema SE/CO, com uma capacidade instalada de 1309 MW (2,7% do SE/CO e 1,7% do Sistema Interligado)

### 8.3.1 RESULTADOS PARA A CHESF

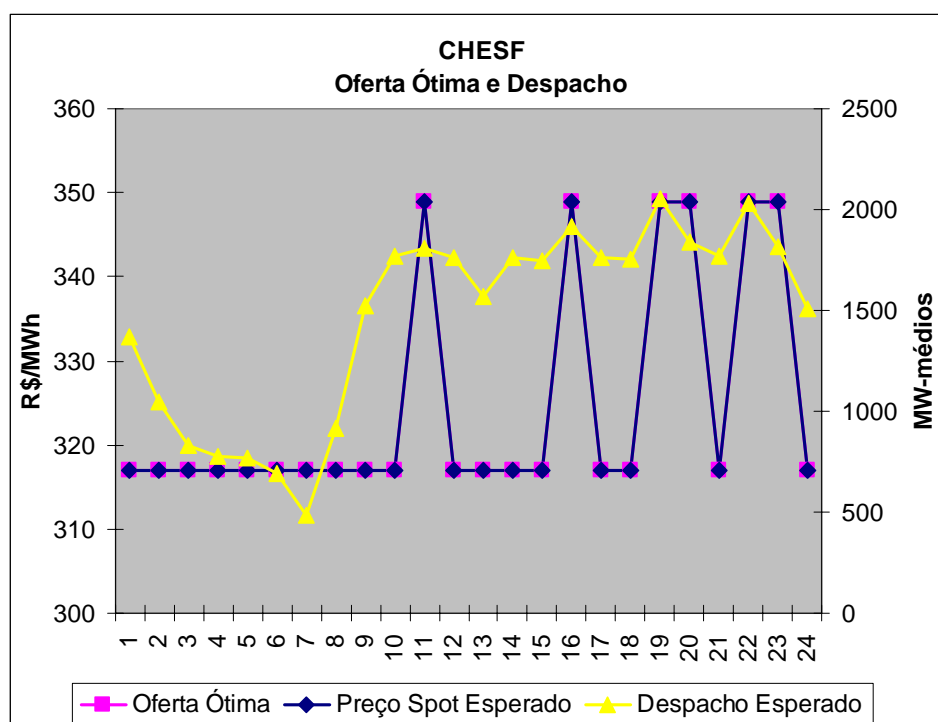
#### 8.3.1.1 Nível de Armazenamento Alto

Inicialmente, foi considerado que a CHESF estaria vendendo toda a sua energia no mercado spot (Contratação 0%), pois como visto anteriormente, esta é

a situação em que o poder de mercado da empresa seria máximo. Na seção 8.3.1.5 será avaliado o impacto da contratação nos resultados.

Como no *tight pool*, para representar o perfil de aversão a risco do gerador foi utilizada a função utilidade apresentada na Expressão (6.5) com um parâmetro de aversão a risco igual a 0,5.

Para um nível de armazenamento alto, a Figura 8.14 a oferta de preço ótima obtida para cada hora do dia seguinte (apenas para a redução do tempo computacional foi utilizada uma discretização horária e não a cada ½ hora). São apresentados também os despachos e os preços spot esperados associados às ofertas ótimas.



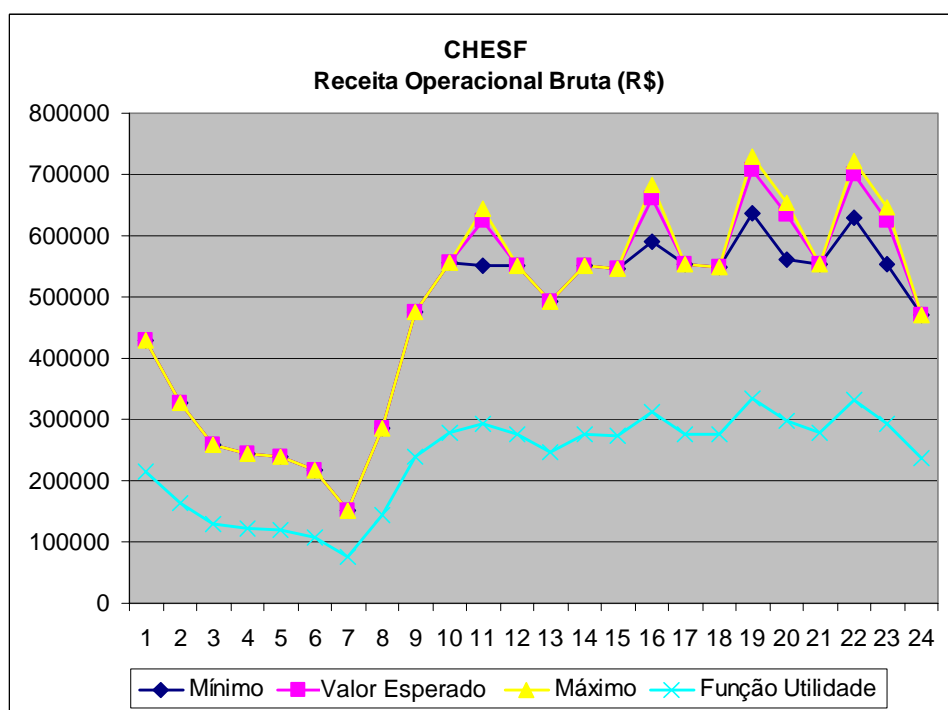
**Figura 8.15 – Ofertas de Preço Ótimas – CHESF**

**(Aversão a Risco = 0,5 / Nível de Armazenamento Alto / Contratação 0%)**

Nota-se que as ofertas ótimas para a CHESF são muito maiores que o valor da água no Subsistema NE (R\$ 4 / MWh), confirmando que o poder de mercado da CHESF é bastante elevado. Esta estratégia de oferta da CHESF representa um aumento do custo total de operação no dia de 8.041% (R\$ 44.169.454,00). Deve-se ressaltar que este aumento expressivo será pago de alguma forma pelo consumidor final de energia.

Observa-se também que as ofertas ótimas são sempre iguais aos preços spot esperados, indicando que a CHESF é sempre a fonte marginal do sistema. Nota-se também que o despacho esperado é muito menor que a capacidade instalada da CHESF (7060 MW), entretanto esta redução de despacho é compensada pelo aumento do preço spot.

Na Figura 8.16 é apresentada a receita operacional bruta e o valor da função utilidade associada às ofertas ótimas para cada hora do dia seguinte. Observa-se que para as ofertas ótimas determinadas existe risco apenas em horários de carga mais elevada.

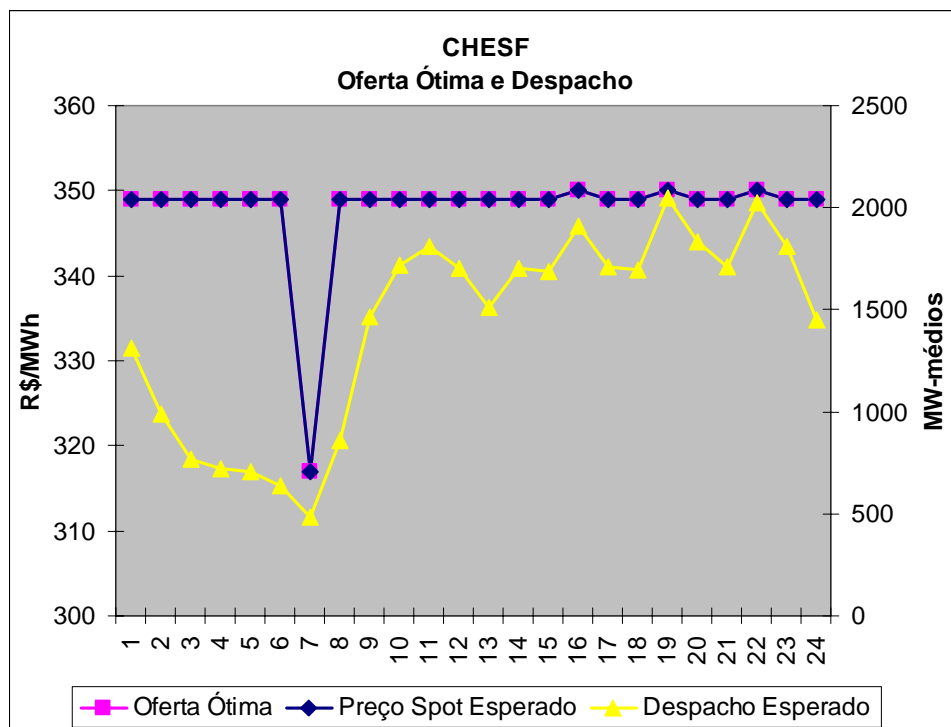


**Figura 8.16 – Valor Esperado da Receita Operacional Bruta – CHESF (Aversão a Risco = 0,5 / Nível de Armazenamento Alto / Contratação 0%)**

Utilizando a Expressão (6.10), o coeficiente de variação ( $\beta$ ) médio calculado para as estimativas do valor esperado da receita operacional bruta foi da ordem de 0,14% , indicando que a amostra de tamanho 100 foi suficiente para obter uma precisão muito aceitável.

Para avaliar o impacto do perfil de aversão a risco do agente nos resultados, foram realizadas simulações considerando um parâmetro de aversão a risco nulo, ou seja, o agente seria neutro ao risco e estaria buscando apenas maximizar o valor esperado da receita operacional bruta. Na Figura 8.17 é

apresentada a oferta de preço ótima obtida para cada hora do dia seguinte e os despachos e preços spot esperados associados.



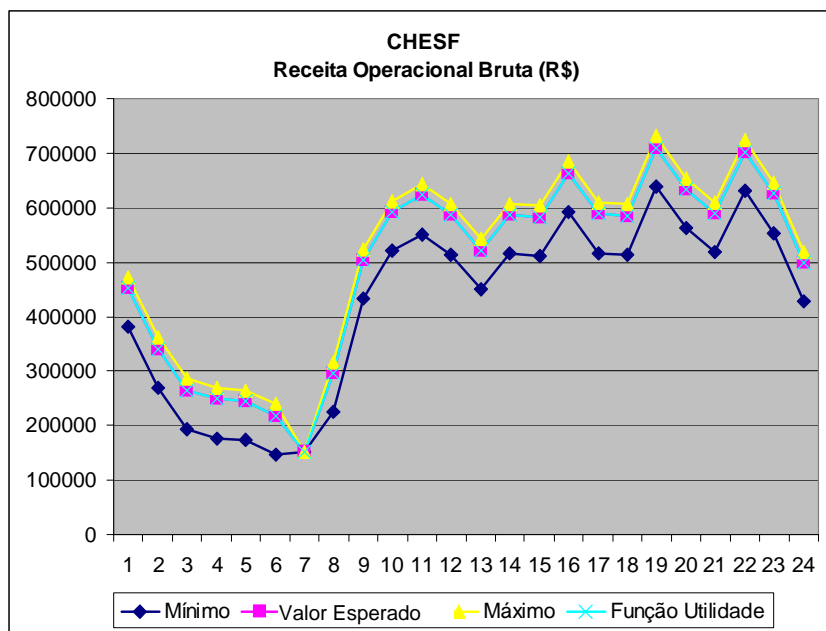
**Figura 8.17 – Ofertas de Preço Ótimas – CHESF**

**(Aversão a Risco = 0 / Nível de Armazenamento Alto / Contratação 0%)**

Nota-se que para um perfil de neutralidade ao risco as ofertas da CHESF são significativamente maiores na maioria das horas do dia seguinte. Aqui a estratégia ótima da CHESF representa um aumento do custo total de operação de 8600% (R\$ 47.239.737,00).

Na Figura 8.18 é apresentada a receita operacional bruta e o valor da função utilidade associadas às ofertas ótimas, para cada hora do dia seguinte. Nota-se que o aumento do valor esperado da receita operacional bruta no caso de neutralidade ao risco é naturalmente associado a um aumento do risco como mostra a Figura 8.17. Neste caso o risco associado às ofertas ótimas é bastante maior que o observado na Figura 8.16.

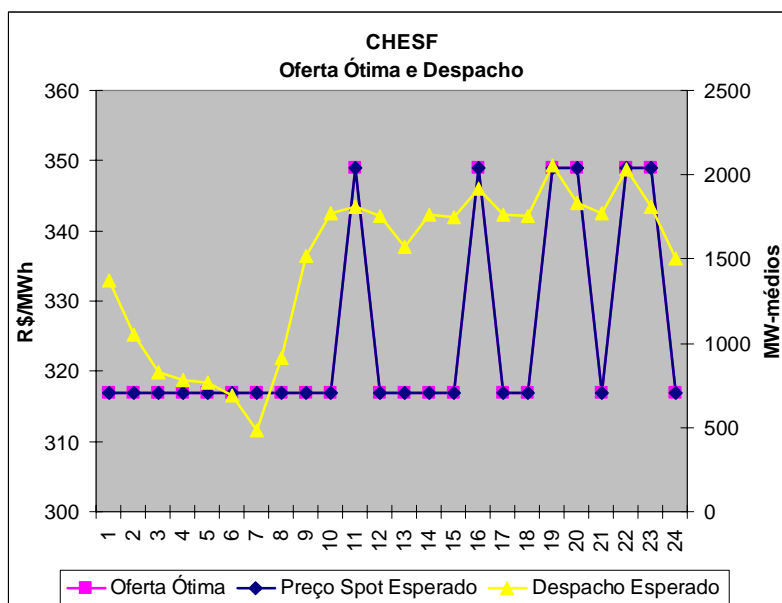
O coeficiente de variação ( $\beta$ ) médio calculado para as estimativas do valor esperado da receita operacional bruta foi da ordem de 0,82% , indicando mais uma vez que a amostra de tamanho 100 foi adequada.



**Figura 8.18 – Valor Esperado da Receita Operacional Bruta – CHESF**  
 (Aversão a Risco = 0 / Nível de Armazenamento Alto / Contratação 0%)

### 8.3.1.2 Nível de Armazenamento Médio

Os resultados para nível de armazenamento médio serão omitidos por serem similares aos obtidos para um armazenamento alto. Apenas para demonstrar este fato, a Figura 8.19 apresenta as ofertas ótimas para um nível de armazenamento médio, considerando um parâmetro de aversão a risco igual a 0,5.

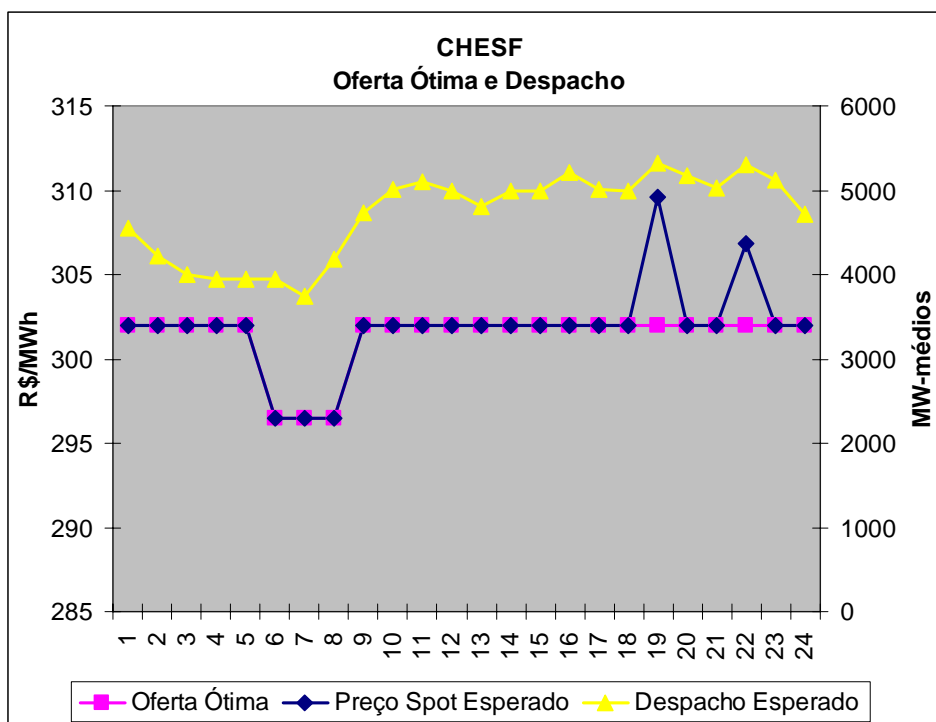


**Figura 8.19 – Ofertas de Preço Ótimas – CHESF**  
 (Aversão a Risco = 0,5 / Nível de Armazenamento Médio / Contratação 0%)



### 8.3.1.3 Nível de Armazenamento Baixo

Para um nível de armazenamento baixo, as ofertas de preço ótimas de CHESF obtidas para cada hora do dia seguinte são apresentadas na Figura 8.20, juntamente com os despachos e os preços spot esperados associados à oferta ótima.



**Figura 8.20 – Ofertas de Preço Ótimas – CHESF**

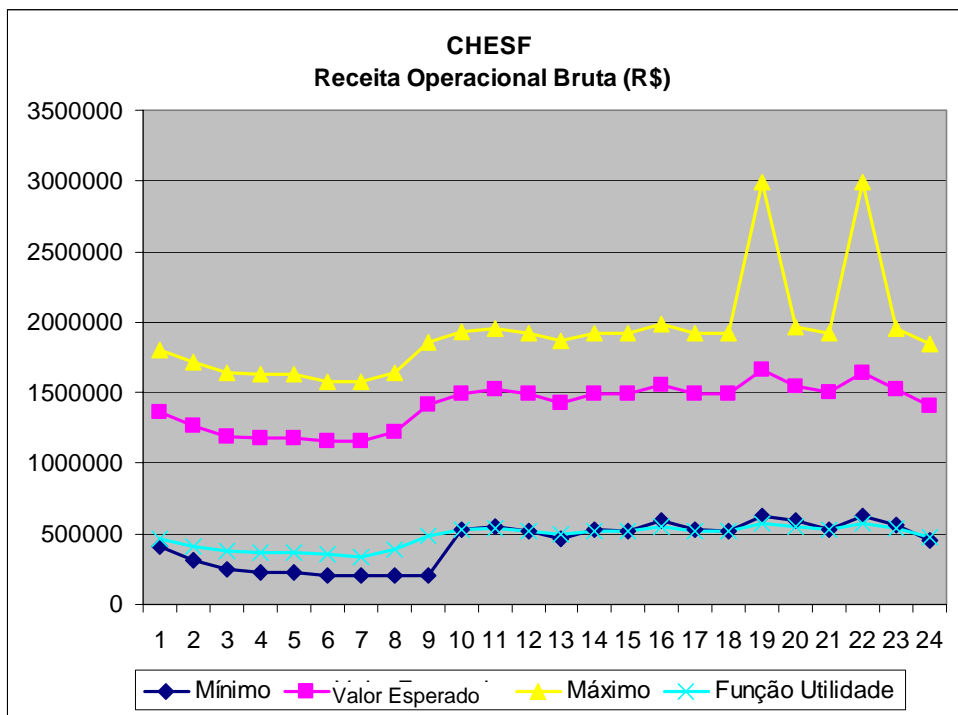
**(Aversão a Risco = 0,5 / Nível de Armazenamento Baixo / Contratação 0%)**

Nota-se que aqui as ofertas ótimas para a CHESF são iguais ao valor da água no Subsistema NE (R\$ 295 / MWh) nos horários de carga mais baixa. Já para horários de carga mais alta, as ofertas ótimas da CHESF são ligeiramente maiores que o valor da água no subsistema. Estes resultados indicam que em condições de armazenamento baixo, o poder de mercado da CHESF seria bastante reduzido. Entretanto, ainda assim a estratégia ótima da CHESF representa um aumento do custo de operação no dia de 2,36% (R\$ 958.121,05).

Observa-se também que as ofertas ótimas para um armazenamento baixo são menores do que para armazenamentos elevados. Este resultado é coerente, uma vez que como os agentes competidores estão ofertando preços elevados, o objetivo primordial da CHESF será, não aumentar o preço, mas maximizar o

despacho. Isto pode ser verificado nos horários de carga mais elevada, onde a CHESF, ao contrário dos casos anteriores, não é a fonte marginal.

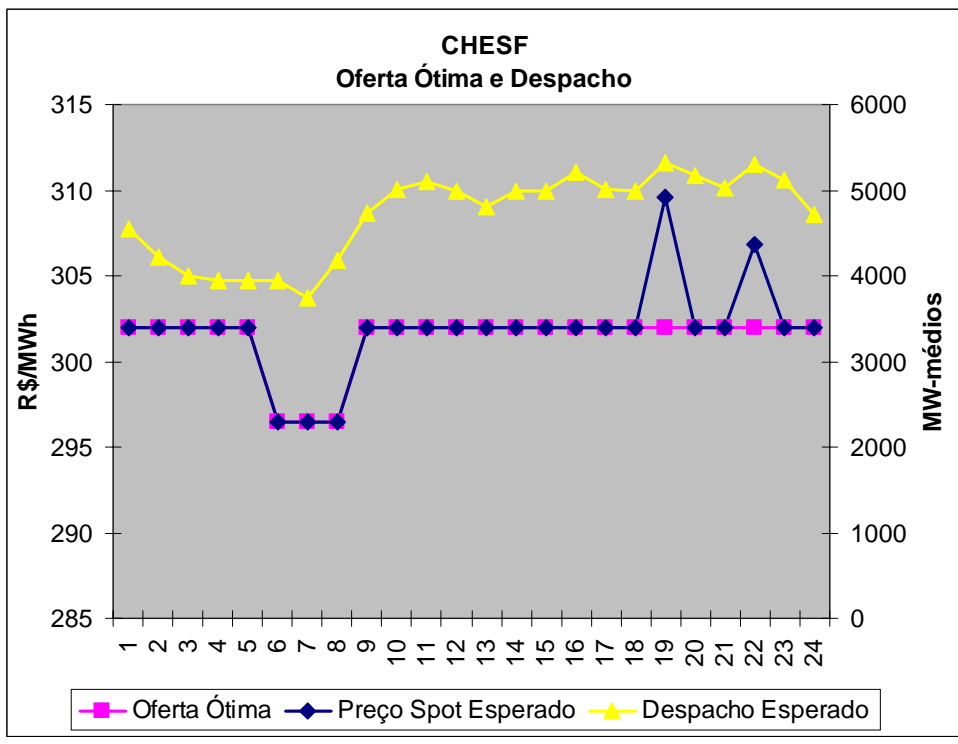
A receita operacional bruta e o valor da função utilidade associados às ofertas ótimas para cada hora do dia seguinte são apresentados na Figura 8.21.



**Figura 8.21 – Valor Esperado da Receita Operacional Bruta – CHESF (Aversão a Risco = 0,5 / Nível de Armazenamento Baixo / Contratação 0%)**

Nota-se que neste caso a incerteza com relação à receita operacional é bastante maior. Entretanto, o coeficiente de variação ( $\beta$ ) médio calculado para as estimativas do valor esperado foi da ordem de 3,20%, ainda inferior a níveis aceitáveis de 5%.

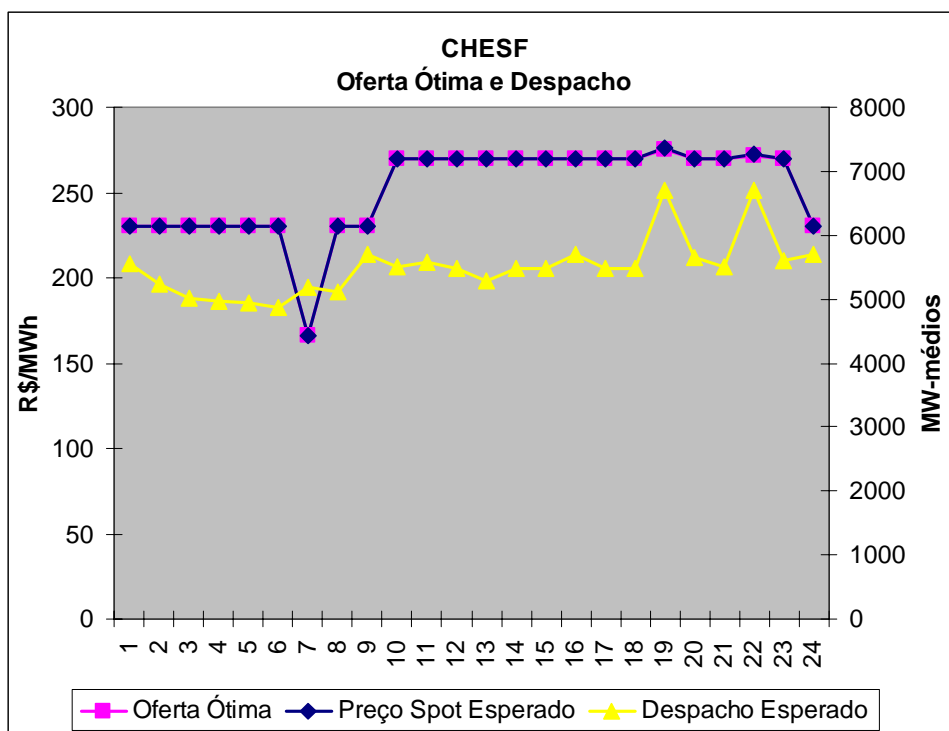
Os resultados para um nível de armazenamento baixo considerando um perfil de neutralidade ao risco para a CHESF são iguais aos obtidos para um parâmetro de aversão igual a 0,5, como mostrado na Figura 8.22. Isto significa que a maximização do valor esperado neste caso é igual à maximização da função utilidade utilizada.



**Figura 8.22 – Ofertas de Preço Ótimas – CHESF**  
**(Aversão a Risco = 0 / Nível de Armazenamento Baixo / Contratação 0%)**

### 8.3.1.4 Efeito da Maximização da Receita Imediata

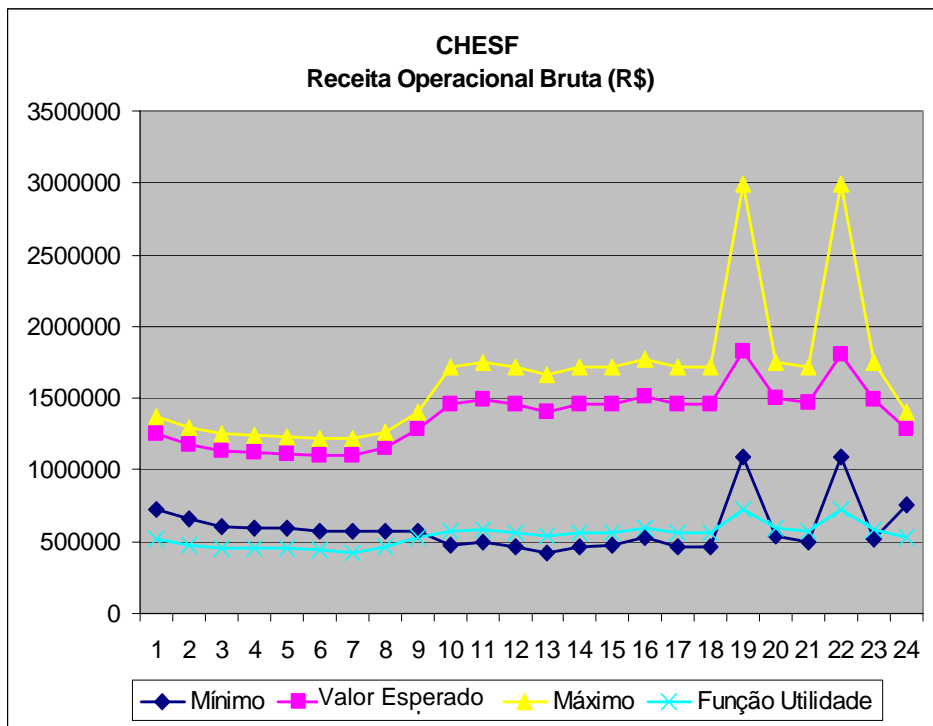
Uma questão que surge naturalmente a partir dos resultados apresentados na seção anterior é como as ofertas ótimas seriam alteradas se o agente procurasse maximizar a sua receita imediata, independentemente das conseqüências futuras de sua decisão. Para um nível de armazenamento baixo e parâmetro de aversão a risco igual a 0,5, as ofertas de preço ótimas que maximizam a receita imediata da CHESF são apresentadas na Figura 8.23.



**Figura 8.23 – Ofertas Ótimas – CHESF – Maximização Receita Imediata (Aversão a Risco = 0,5 / Nível de Armazenamento Baixo / Contratação 0%)**

Nota-se que neste caso as ofertas ótimas para a CHESF são significativamente menores que o valor da água no Subsistema NE (R\$ 295 / MWh), indicando outra forma de poder de mercado. Assim sendo, para maximizar a sua receita imediata a CHESF poderia deplecionar os reservatórios mais rapidamente do que indicado pelos modelos de programação da operação utilizados no *tight pool*. Isto pode ser observado comparando as Figuras 8.21 e 8.23, onde se observa uma geração da CHESF bastante maior no segundo caso.

Na Figura 8.24 é apresentada a receita operacional bruta e o valor da função utilidade associados às ofertas ótimas, no caso de maximização da receita imediata. O coeficiente de variação ( $\beta$ ) médio calculado para as estimativas do valor esperado da receita neste caso foi da ordem de 1,98%.



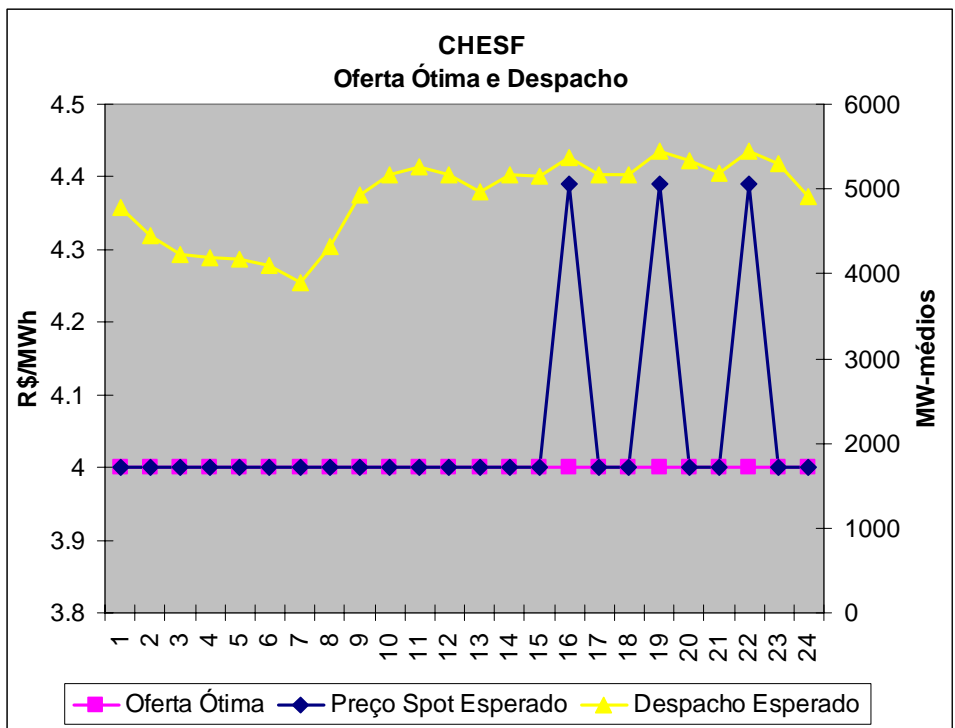
**Figura 8.24 – V.Esperado Receita – CHESF – Maximização Receita Imediata (Aversão a Risco = 0,5 / Nível de Armazenamento Baixo / Contratação 0%)**

### 8.3.1.5 Efeito do Nível de Contratação

Nesta seção é avaliado o impacto do nível de contratação nas ofertas ótimas da CHESF. Considerando um nível de contratação de 95% da energia assegurada da CHESF, as ofertas de preço ótimas para, inicialmente um nível de armazenamento alto e parâmetro de aversão a risco de 0,5, são apresentadas na Figura 8.25.

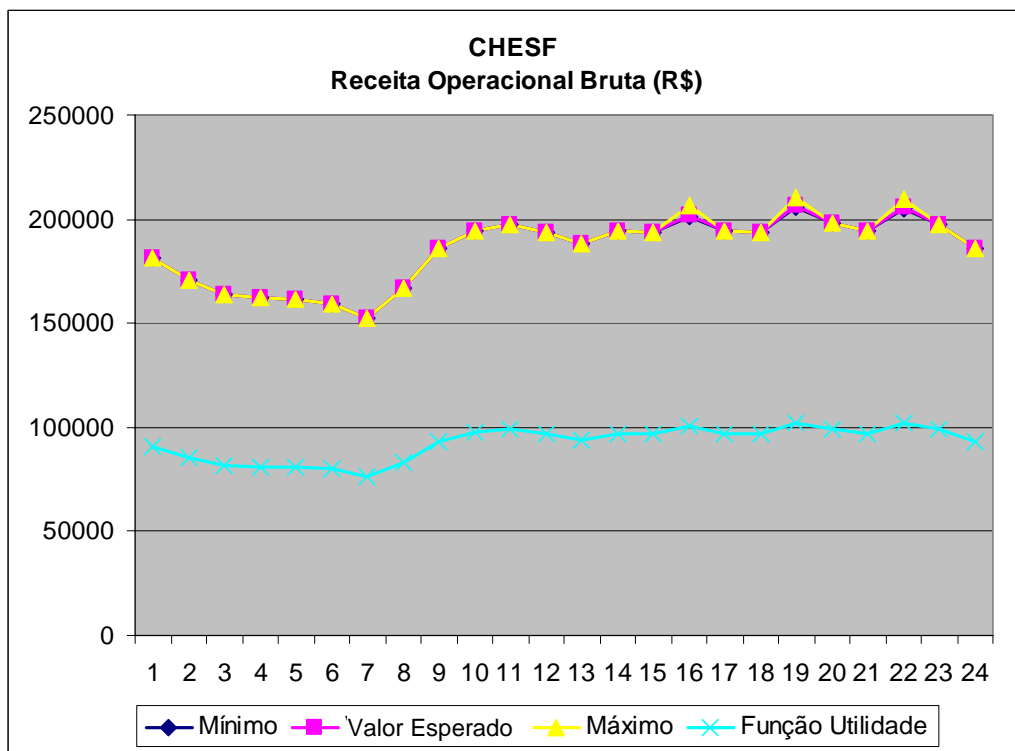
Observa-se que nesta situação o poder de mercado da CHESF é totalmente eliminado. Em todas as horas do dia seguinte, a oferta ótima corresponde ao valor da água no Subsistema NE (R\$ 4 / MWh).

Na Figura 8.26 é apresentada a receita operacional bruta e o valor da função utilidade associados às ofertas ótimas, para um nível de contratação da CHESF de 95%. Neste caso a incerteza com relação à receita é bastante reduzida. O coeficiente de variação ( $\beta$ ) médio calculado com uma amostra de tamanho 100 foi da ordem de 0,001%.



**Figura 8.25 – Ofertas de Preço Ótimas – CHESF**

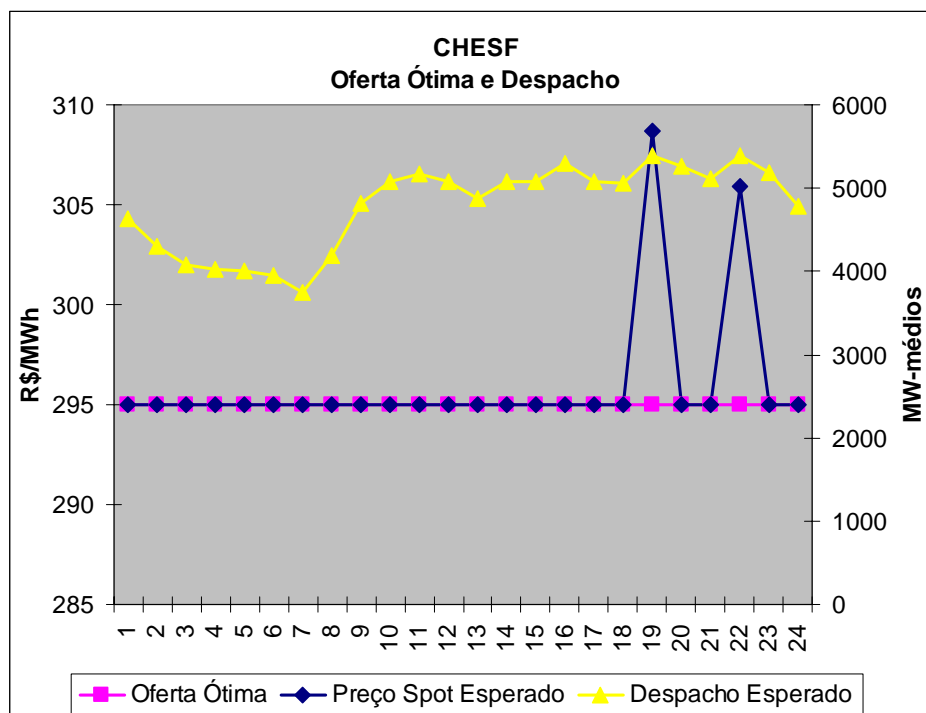
(Aversão a Risco = 0,5 / Nível de Armazenamento Alto / Contratação 95%)



**Figura 8.26 – Valor Esperado da Receita Operacional Bruta – CHESF**

(Aversão a Risco = 0,5 / Nível de Armazenamento Alto / Contratação 95%)

Na Figura 8.27 são apresentados os resultados para um armazenamento baixo, considerando novamente um nível de contratação de 95% para a CHESF. Como no caso anterior é utilizado um parâmetro de aversão a risco de 0,5.



**Figura 8.27 – Ofertas de Preço Ótimas – CHESF**

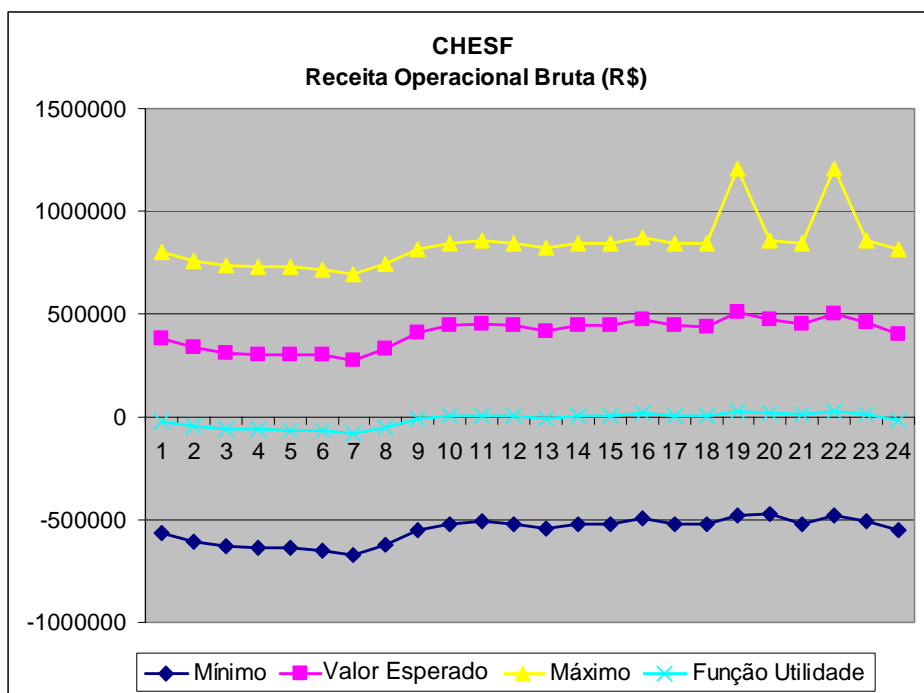
**(Aversão a Risco = 0,5 / Nível de Armazenamento Baixo / Contratação 95%)**

Observa-se na figura anterior que uma vez mais o poder de mercado da CHESF é totalmente eliminado. Em todas as horas do dia seguinte, a oferta ótima é igual ao valor da água no Subsistema NE (R\$ 295 / MWh), para um nível de armazenamento baixo.

A receita operacional bruta e o valor da função utilidade associados às ofertas ótimas para este nível de armazenamento são apresentados na Figura 8.28. Nota-se que neste caso a receita operacional bruta pode ser negativa. Indicando que em função das ofertas dos agentes competidores, existe a possibilidade do preço spot ser menor que o valor da água, com a CHESF não sendo despachada e tendo que comprar energia no mercado spot para cobrir o seu contrato. Entretanto, é necessário ressaltar que esta é uma opção da empresa, definida no momento que esta escolhe não gerar a preços menores que o valor da água no Subsistema NE.

Observa-se também que a incerteza na estimativa é bastante elevada. O coeficiente de variação ( $\beta$ ) médio calculado com uma amostra de tamanho 100 foi

da ordem de 11,10%, indicando seria necessário uma amostra maior para estimar o valor esperado com maior precisão.



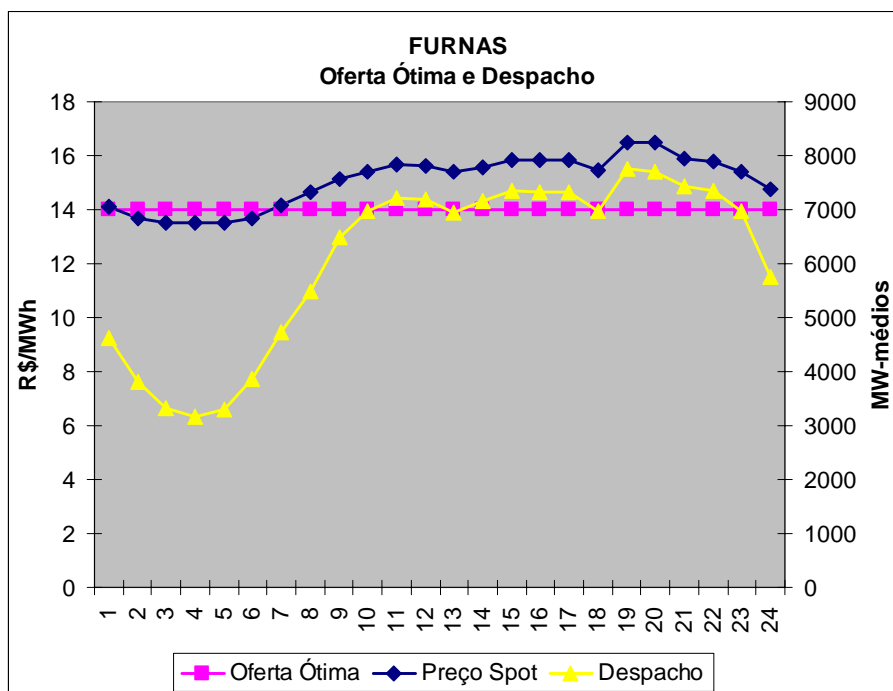
**Figura 8.28 – Valor Esperado da Receita Operacional Bruta – CHESF**  
(Aversão a Risco = 0,5 / Nível de Armazenamento Baixo / Contratação 95%)

### 8.3.2 RESULTADOS PARA FURNAS

#### 8.3.2.1 Nível de Armazenamento Alto

No caso de FURNAS, também foi considerado inicialmente que a empresa estaria vendendo toda a sua energia no mercado spot. Para um nível de armazenamento alto e parâmetro de aversão a risco de 0,5, a Figura 8.29 apresenta a oferta de preço ótima obtida para cada hora do dia seguinte, os despachos e os preços spot esperados associados às ofertas ótimas.





**Figura 8.29 – Ofertas de Preço Ótimas – FURNAS**

**(Aversão a Risco = 0,5 / Nível de Armazenamento Alto / Contratação 0%)**

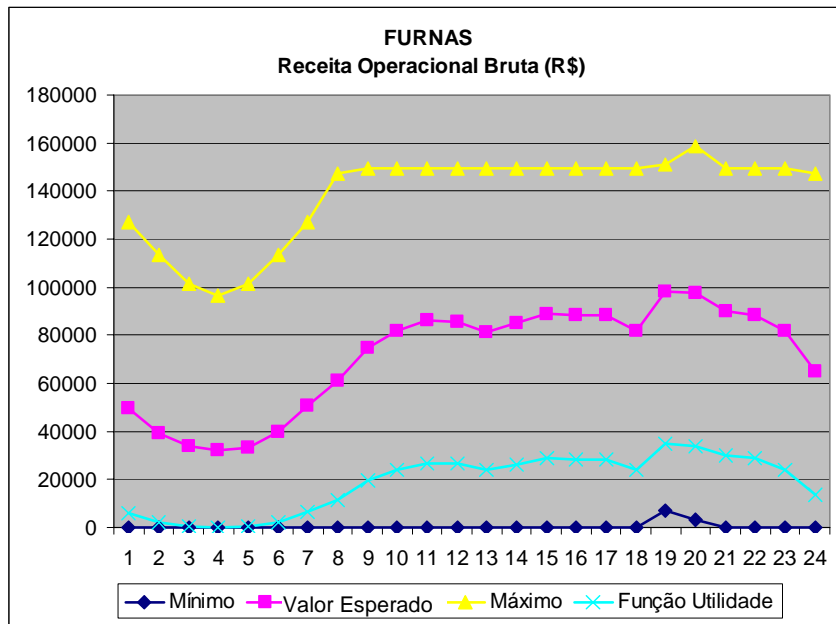
Nota-se que as ofertas ótimas de FURNAS são iguais ao valor da água no Subsistema SE/CO (R\$ 14 / MWh) para todas as horas do dia seguinte, indicando que apesar de seu tamanho significativo (8772 MW), o poder de mercado de FURNAS é bastante limitado.

Este resultado é coerente com as medidas de concentração de mercado apresentadas na Seção 7.4.2, que indicam que em um esquema geral de oferta de preços, o Subsistema SE/CO seria um mercado competitivo.

Observa-se também que, diferentemente do caso da CHESF, as ofertas ótimas são sempre diferentes dos preços spot esperados, ou seja, FURNAS dificilmente consegue ser a fonte marginal do sistema.

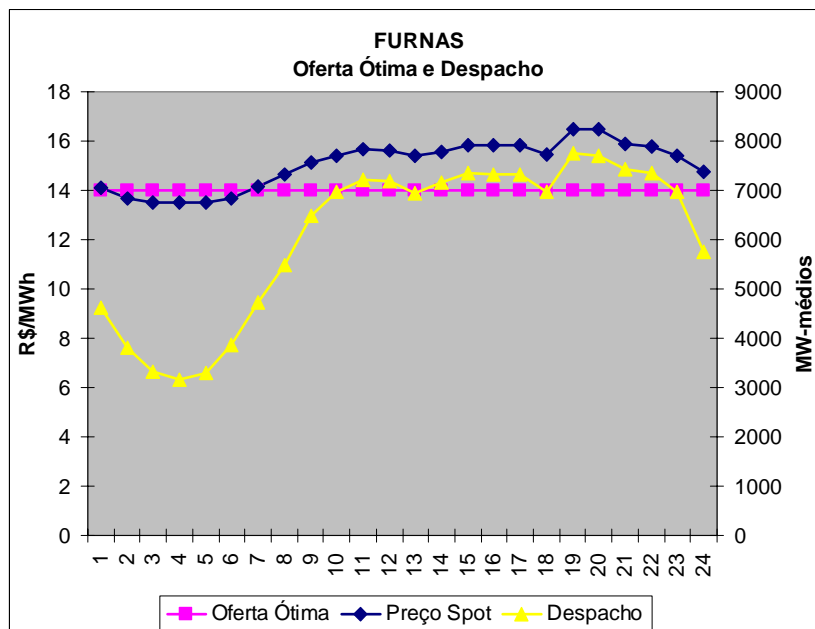
Na Figura 8.30 é apresentada a receita operacional bruta e o valor da função utilidade associados às ofertas ótimas. Observa-se que para as ofertas ótimas existe um risco bastante elevado, dependendo do conjunto de ofertas dos agentes competidores, i.e., FURNAS pode vir a não ser despachada. Nota-se que neste caso a incerteza com relação à receita operacional é bastante maior. Aqui o coeficiente de variação ( $\beta$ ) médio calculado para as estimativas do valor esperado

com uma amostra de tamanho 100 foi da ordem de 2,43%, inferior a níveis aceitáveis de 5%.



**Figura 8.30 – Valor Esperado da Receita Operacional Bruta – FURNAS**  
(Aversão a Risco = 0,5 / Nível de Armazenamento Alto / Contratação 0%)

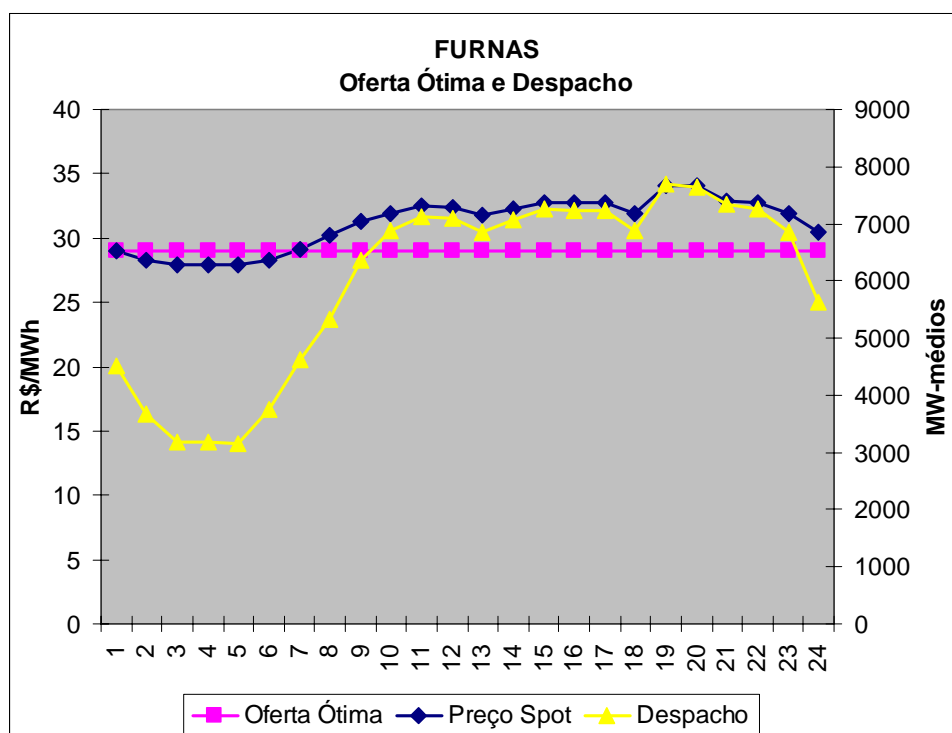
Para neutralidade ao risco os resultados para as ofertas ótimas são exatamente iguais, como mostra a Figura 8.31.



**Figura 8.31 – Ofertas de Preço Ótimas – FURNAS**  
(Aversão a Risco = 0 / Nível de Armazenamento Alto / Contratação 0%)

### 8.3.2.2 Nível de Armazenamento Médio

Os resultados e conclusões para um nível de armazenamento médio no caso de FURNAS são similares aos obtidos para um armazenamento alto. A diferença está apenas nas ofertas ótimas que neste caso são iguais a R\$ 29 / MWh, valor da água no Subsistema SE/CO. Na Figura 8.32 é ilustrado este resultado, considerando um parâmetro de aversão a risco igual a 0,5.

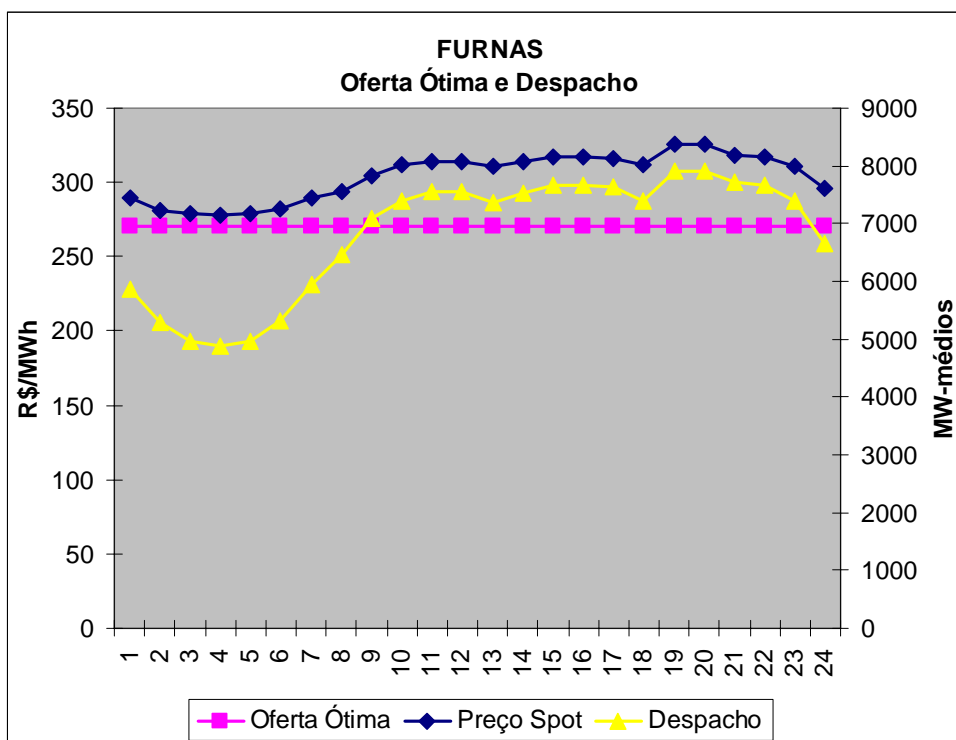


**Figura 8.32 – Ofertas de Preço Ótimas – FURNAS**

(Aversão a Risco = 0,5 / Nível de Armazenamento Médio / Contratação 0%)

### 8.3.2.3 Nível de Armazenamento Baixo

Para um nível de armazenamento baixo, as ofertas de preço ótimas obtidas para FURNAS são apresentadas na Figura 8.33, juntamente com os despachos e os preços spot esperados associados à oferta ótima.



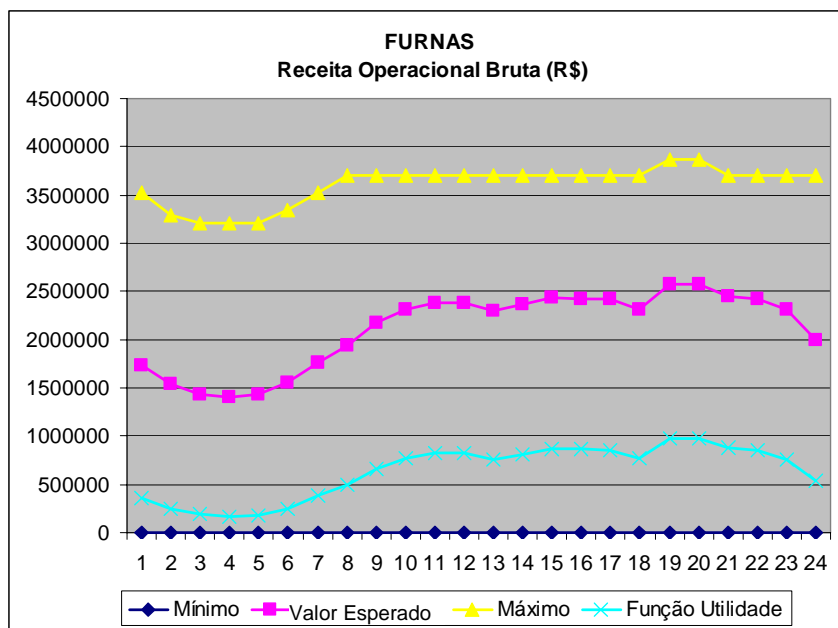
**Figura 8.33 – Ofertas de Preço Ótimas – FURNAS**

**(Aversão a Risco = 0,5 / Nível de Armazenamento Baixo / Contratação 0%)**

Nota-se que novamente as ofertas ótimas para FURNAS são sempre iguais ao valor da água no Subsistema NE (R\$ 270 / MWh), confirmando mais uma vez que o poder de mercado de FURNAS não é significativo.

Na Figura 8.34 é apresentada a receita operacional bruta e o valor da função utilidade associados às ofertas ótimas para cada hora do dia seguinte. Neste caso o coeficiente de variação ( $\beta$ ) médio calculado foi da ordem de 4,29%.

Para neutralidade a risco os resultados são exatamente iguais e serão omitidos.



**Figura 8.34 – Valor Esperado da Receita Operacional Bruta – FURNAS**  
 (Aversão a Risco = 0,5 / Nível de Armazenamento Baixo / Contratação 0%)

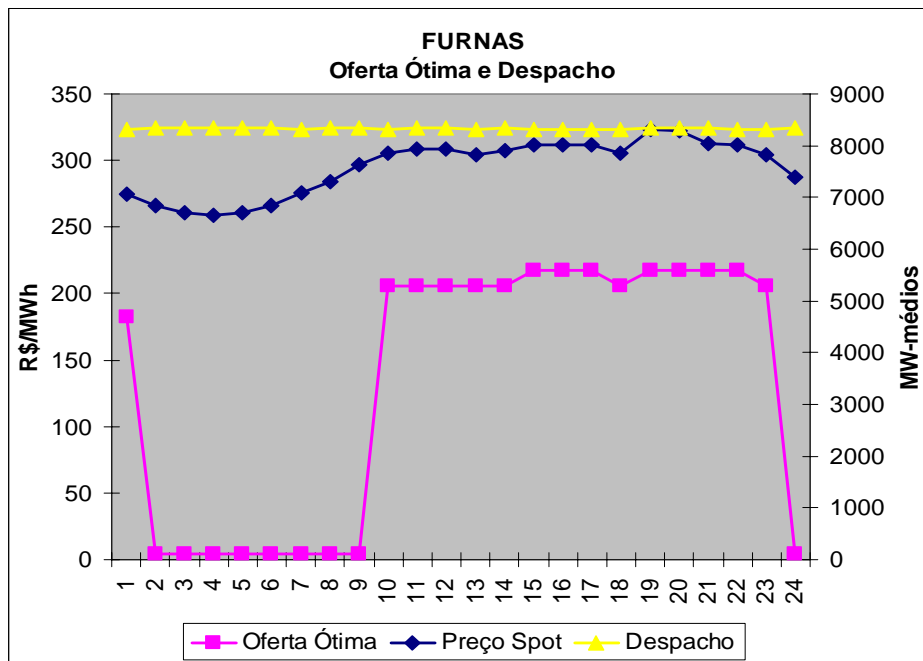
### 8.3.2.4 Efeito da Maximização Utilidade da Receita Imediata

Aqui são apresentadas as ofertas ótimas de FURNAS, se esta procurasse maximizar a utilidade de sua receita imediata, independentemente das conseqüências futuras de sua decisão. Para um nível de armazenamento baixo e parâmetro de aversão a risco igual a 0,5, as ofertas de preço ótimas que maximizam a receita imediata da empresa são apresentadas na Figura 8.35.

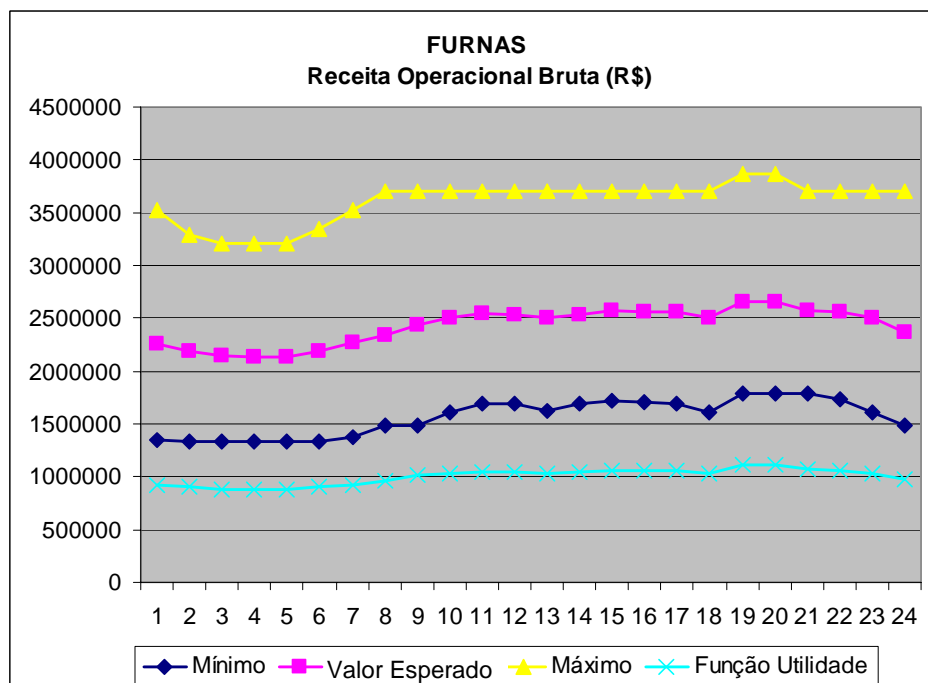
Observa-se que neste caso as ofertas ótimas para FURNAS são significativamente menores que o valor da água no Subsistema SE/CO (R\$ 270 / MWh), sinalizando novamente a existência de outra forma de poder de mercado. Como no caso da CHESF, estes resultados mostram que para maximizar a utilidade de sua receita imediata FURNAS poderia deplecionar os reservatórios mais rapidamente do que indicado pelos modelos de programação da operação utilizados no *tight pool*. Comparando as Figuras 8.33 e 8.35, verifica-se uma geração bastante maior quando FURNAS maximiza a utilidade de sua receita imediata.

Na Figura 8.36 é apresentada a receita operacional bruta e o valor da função utilidade associados às ofertas ótimas, no caso de maximização da

utilidade da receita imediata de FURNAS. O coeficiente de variação ( $\beta$ ) médio obtido foi de 1,72%.



**Figura 8.35 – Oferta Ótima – FURNAS – Maximização Receita Imediata**  
(Aversão a Risco = 0,5 / Nível de Armazenamento Baixo / Contratação 0%)



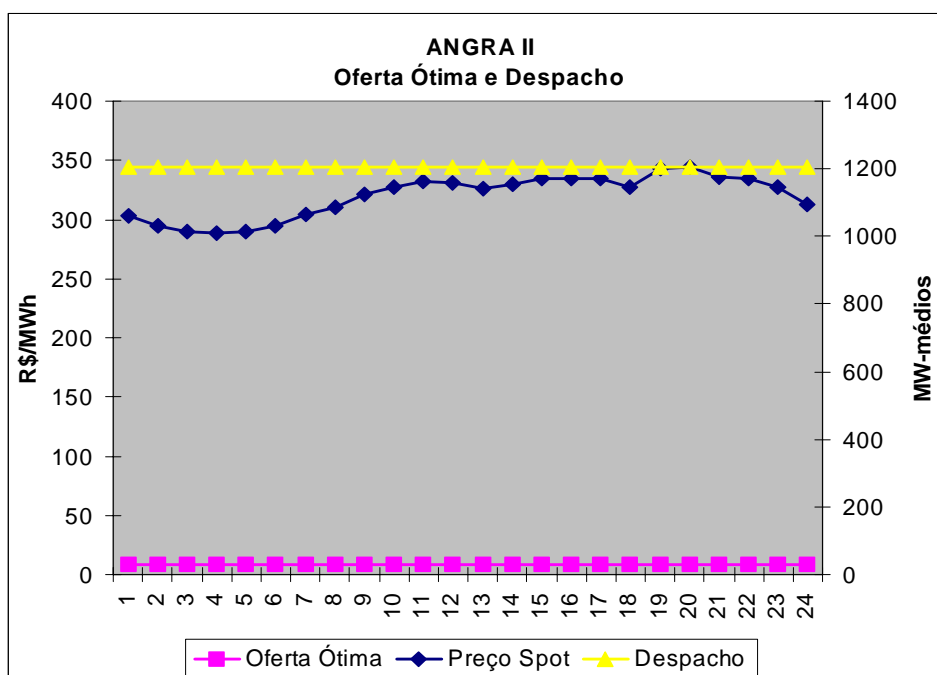
**Figura 8.36 – V.Esperado da Receita – FURNAS – Maximização R.Imediata**  
(Aversão a Risco = 0,5 / Nível de Armazenamento Baixo / Contratação 0%)

### 8.3.3 RESULTADOS PARA ANGRA II

#### 8.3.3.1 Nível de Armazenamento Baixo

Para ANGRA II serão apresentados apenas os resultados para um nível de armazenamento baixo, situação esta que seria a de maior poder de mercado para os geradores termelétricos. Pelo mesmo motivo, será considerada também somente a condição de venda apenas no mercado spot (Contratação 0%). Deve-se lembrar também que no caso de um gerador termelétrico a função objetivo é sempre maximizar apenas a receita imediata, como mostrado na Seção 6.2.

As ofertas de preço ótimas, os despachos e preços spot esperados obtidas para um nível de armazenamento baixo para cada hora do dia seguinte são apresentadas na Figura 8.37.



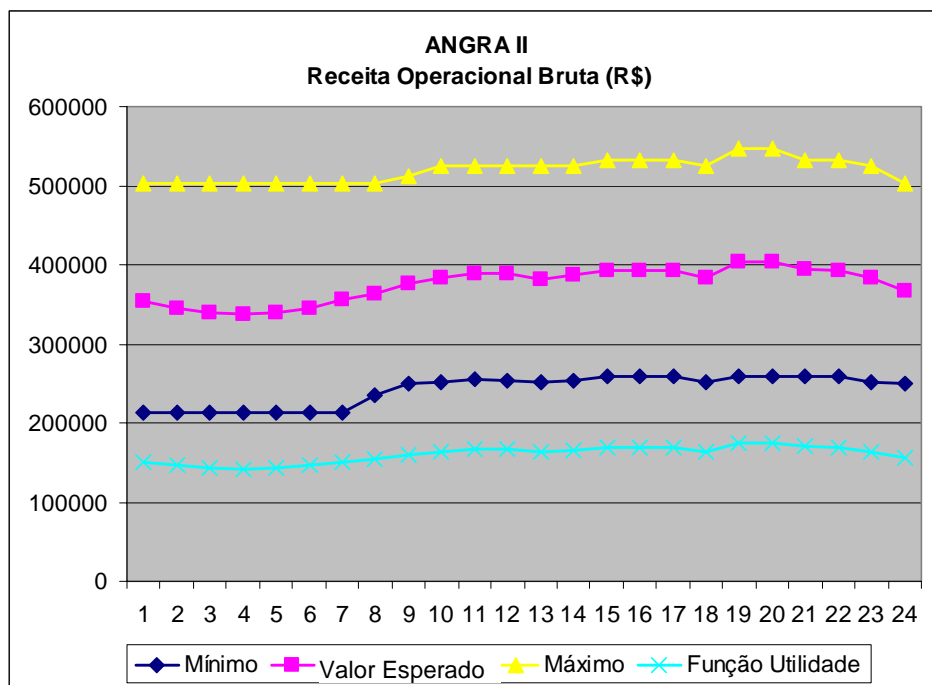
**Figura 8.37 – Ofertas de Preço Ótimas – ANGRA II**

**(Aversão a Risco = 0,5 / Nível de Armazenamento Baixo / Contratação 0%)**

Observa-se que para todas as horas do dia seguinte a oferta ótima de ANGRA II corresponde a seu custo variável de operação (R\$ 8,5 / MWh).

Na Figura 8.38 é apresentada a receita operacional bruta e o valor da função utilidade associados às ofertas ótimas de ANGRA II para cada hora do dia seguinte. Observa-se que mesmo ofertando um preço igual a seu custo variável,

existe uma incerteza significativa na receita operacional bruta, incerteza esta associada principalmente à variação do preço spot. Neste caso o coeficiente de variação ( $\beta$ ) médio calculado foi da ordem de 1,46% para a amostra de tamanho 100.



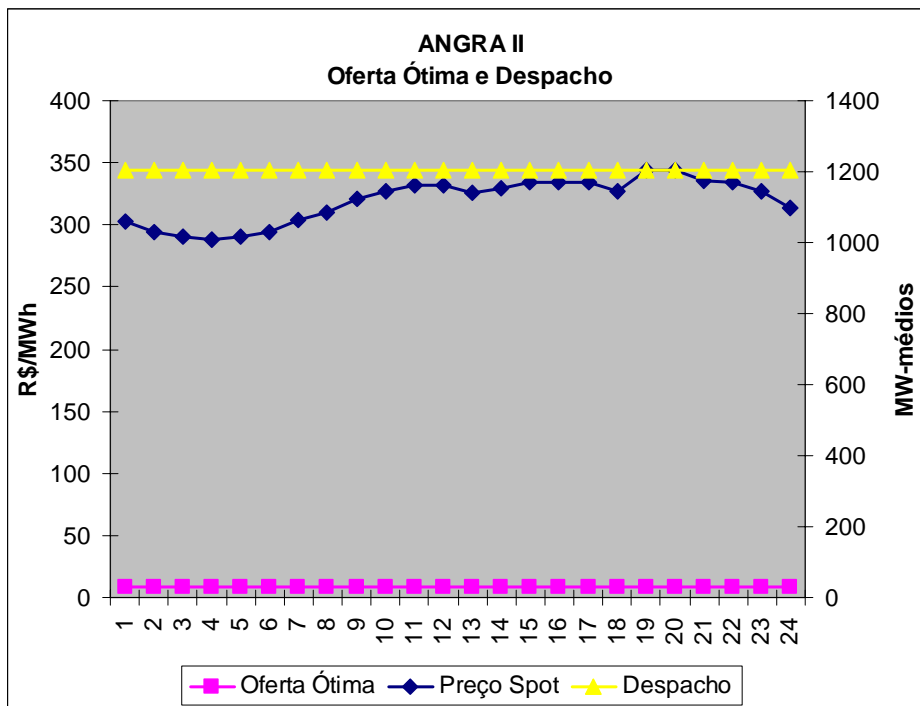
**Figura 8.38– Valor Esperado da Receita Operacional Bruta – ANGRA II (Aversão a Risco = 0,5 / Nível de Armazenamento Baixo / Contratação 0%)**

A Figura 8.39 apresenta as ofertas ótimas obtidas para cada hora do dia seguinte e os despachos e preços spot esperados associados, considerando um parâmetro de aversão a risco nulo. As receitas operacionais associadas são apresentadas na Figura 8.40.

Nota-se que os resultados obtidos para neutralidade a risco são iguais aos obtidos considerando um parâmetro de aversão a risco igual a 0,5.

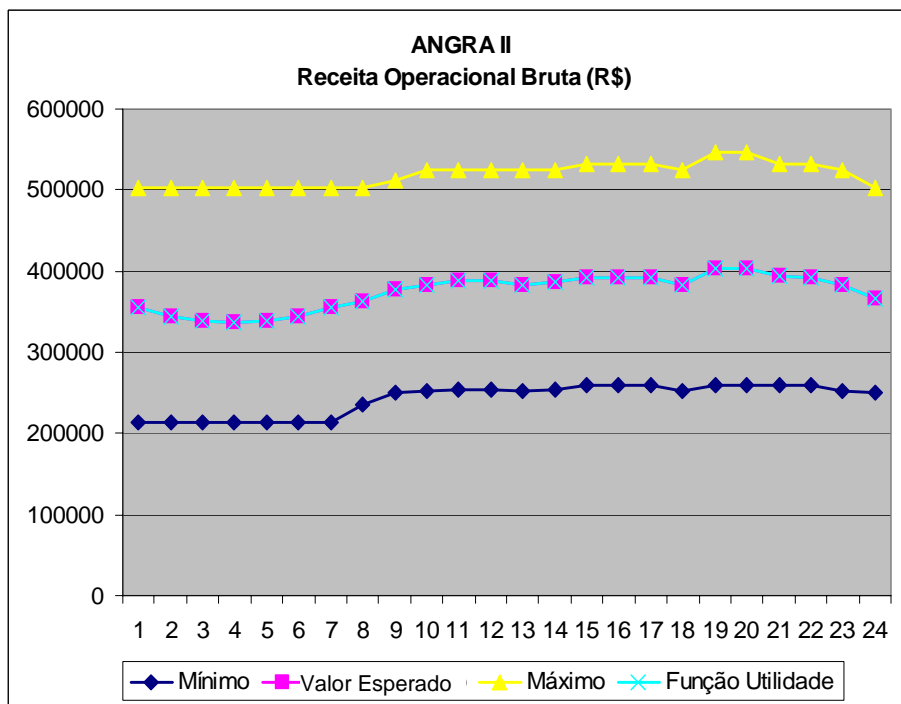
Estes resultados para ANGRA II mostram que no Sistema Interligado Nacional, como esperado, mesmo em situações de armazenamento baixo, o poder de mercado dos geradores termelétricos é muito pequeno.





**Figura 8.39 – Ofertas de Preço Ótimas – ANGRA II**

(Aversão a Risco = 0 / Nível de Armazenamento Baixo / Contratação 0%)



**Figura 8.40 – Valor Esperado da Receita Operacional Bruta – ANGRA II**

(Aversão a Risco = 0 / Nível de Armazenamento Baixo / Contratação 0%)

## 8.4 CONCLUSÃO

Neste capítulo foram aplicadas ao Sistema Interligado Nacional as formulações do problema de estabelecimento de estratégias ótimas de oferta de preços apresentadas no Capítulo 6. Inicialmente foi analisado o estabelecimento de estratégia ótima para um gerador termelétrico no *tight pool*. Em seguida foi determinada a estratégia ótima para geradores termelétricos e hidrelétricos no esquema geral de ofertas de preços apresentado no Capítulo 4. Como no Capítulo 7, foram utilizadas configurações do sistema consideradas pelo ONS no Planejamento Mensal da Operação (PMO) de abril de 2002.

Ratificando os resultados apresentados no Capítulo 7, foi mostrado que em um esquema de *tight pool* não há espaço para o estabelecimento de ofertas estratégicas de preço por parte dos geradores termelétricos no sistema brasileiro. Desta forma, a estratégia ótima para todos os geradores termelétricos é ofertar preços iguais a seus custos variáveis de operação.

No caso do um esquema geral de ofertas de preços, os resultados obtidos para as ofertas ótimas também foram coerentes com as avaliações de poder de mercado apresentadas no Capítulo 7. Foi mostrado que principalmente no Subsistema NE, em função da concentração de geração em uma única empresa, a poder de mercado é bastante significativo, sendo a oferta ótima de certos geradores hidrelétricos bastante maiores que os valores da água calculados pelos modelos de otimização utilizados no *tight pool*.

Ainda no esquema geral de ofertas de preços, foi identificada uma outra forma de poder de mercado, associada à possibilidade de geradores hidrelétricos tentarem maximizar a sua receita imediata, independentemente, das conseqüências futuras de suas decisões. Este tipo de comportamento pode levar a situações críticas de suprimento, estando esta forma de poder de mercado presente em todos os subsistemas.