

# 8 Avaliação dos Resultados do Problema de Planejamento da Operação

## 8.1. Considerações Iniciais

Este capítulo é destinado a aplicação das opções para construção da árvore de cenários de aflúências propostas neste trabalho em casos reais do programa mensal de operação. É analisado o impacto da adoção dos métodos propostos em relação a representação atual.

Os estudos de caso têm um horizonte de planejamento de cinco anos com um período estático de mais cinco anos. A topologia dos casos estudo varia, porém um esquema com a topologia das usinas hidroelétricas do parque gerador brasileiro para o horizonte de 2008 a 2012 é apresentado na Figura 126.

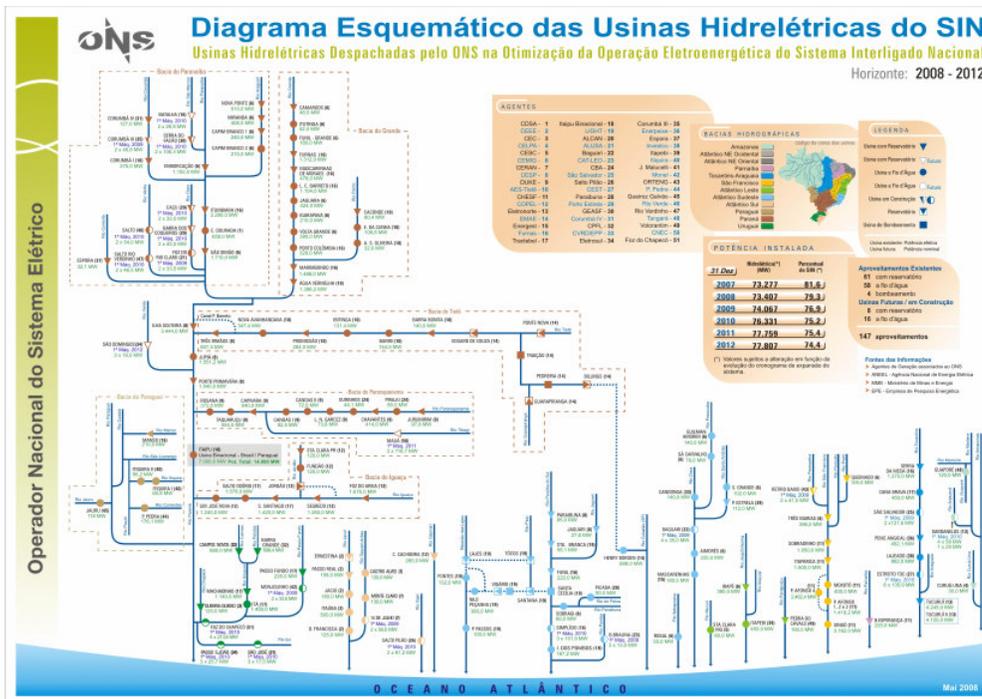


Figura 126: Diagrama esquemático das usinas hidroelétricas do SIN 2008-2012

O parque gerador hidroelétrico é agregado em quatro subsistemas equivalentes de energia, a saber, Sudeste/Centro-Oeste, Sul, Nordeste e Norte,

conforme mostrado na Figura 127. Nesta figura também é possível visualizar os troncos de transmissão que interligam os subsistemas.

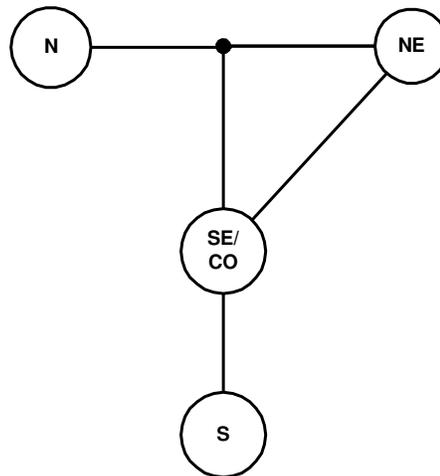


Figura 127: Representação dos subsistemas equivalentes

Para o cálculo da política ótima de operação são utilizados 200 cenários para o passo forward e para cada período são consideradas 20 aberturas (cenários backward). Após o cálculo da política mensal, é realizada uma simulação final utilizando-se 2000 cenários sintéticos de energia natural afluentes para obtenção dos índices de desempenho do sistema como os riscos de não atendimento à carga própria, valor esperado do custo de operação, gerações hidráulicas e térmicas de cada subsistema, armazenamentos, intercâmbios, vertimentos e etc. O conjunto de cenários utilizado na simulação final é gerado com amostragem aleatória simples e tem um horizonte de cinco anos. Este conjunto é utilizado na simulação final de todas as opções analisadas.

São realizadas sensibilidades com relação a variação de alguns parâmetros associados à árvore de cenários, como variação no número de cenários considerados nos passos forward e backward e variação da amostra de ruídos utilizada para geração dos cenários de afluências (variação da semente inicial do processo de geração dos ruídos aleatórios).

Ao todo foram estudados e analisados 11 diferentes casos de PMO. Esses casos foram escolhidos dentre um conjunto de 49 PMOs (PMO JAN/04 a PMO JAN/08) de forma a representar a diversidade de resultados observados no conjunto completo de casos. Dentre os casos analisados existem, por exemplo, casos iniciando em período úmido e período seco, casos com tendência hidrológica (passado recente) favoráveis e desfavoráveis.

Neste capítulo não são analisados resultados de risco e custo marginal de operação para o subsistema Norte, pois devido às características hidrológicas deste subsistema e dado o seu pequeno porte frente ao SIN, a FCF construída pelo modelo de médio prazo pode não ficar bem detalhada para esse subsistema e, como conseqüência, ao simular a operação ótima do SIN podem ser encontrados altos índices de risco de déficit para o subsistema Norte (Penna et al, 2006). É importante ressaltar que o objetivo básico do planejamento da operação é obter, para cada etapa, as metas de geração de cada usina hidrelétrica e termelétrica do SIN de forma a atender a demanda e minimizar o valor esperado do custo de operação ao longo do período de planejamento. O pouco detalhamento da FCF para o subsistema Norte não implica que o processo de construção da função de custo futuro esteja ruim, uma vez que o objetivo do modelo, como já foi dito, é encontrar a operação ótima para o sistema interligado como um todo.

Neste capítulo são apresentados basicamente os resultados para o PMO FEV/07, os resultados obtidos para os demais PMO estudados podem ser consultados no Anexo C.

## **8.2. Avaliação da convergência**

A cada iteração do algoritmo de solução da PDDE são calculados os limites superior (ZSUP) e inferior (ZINF) da solução ótima. O limite inferior é obtido na solução do problema de primeiro período, e o limite superior é estimado a partir dos resultados de todos os períodos e cenários visitados durante a simulação forward. A incerteza em torno da estimativa de ZUP é utilizada como critério de convergência estatístico para o algoritmo. No modelo NEWAVE há um limite para o número de iterações, atualmente este limite é igual a 45.

O número de iterações necessárias para que o critério de convergência fosse alcançado é apresentado na Tabela 12 e na Tabela 13 para todas as opções descritas neste trabalho. Na última coluna da Tabela 13 é apresentado o número de casos que atingiram o número máximo de iterações considerado.

Tabela 12: Número de iterações para convergência

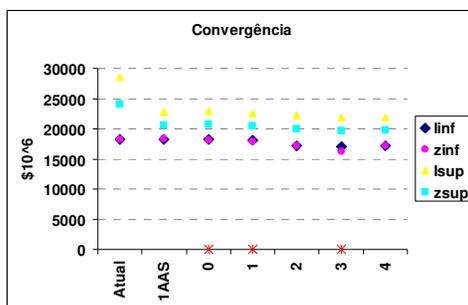
	2004-05	2004-09	2005-09	2006-06	2006-07	2007-01
<b>Atual</b>	24	45	14	17	28	16
<b>1AAS</b>	43	24	17	18	39	45
<b>0</b>	45	45	45	45	45	45
<b>1</b>	45	45	45	21	45	38
<b>2</b>	12	17	10	10	10	7
<b>3</b>	45	45	45	45	45	45
<b>4</b>	14	28	16	12	12	7

Tabela 13: Número de iterações para convergência (cont.)

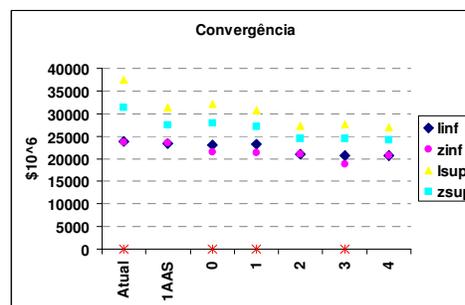
	2007-02	2007-05	2007-07	2007-08	2008-01	#45
<b>Atual</b>	10	16	34	19	10	<b>1</b>
<b>1AAS</b>	37	45	45	18	45	<b>4</b>
<b>0</b>	36	45	45	45	45	<b>10</b>
<b>1</b>	14	12	43	25	17	<b>4</b>
<b>2</b>	7	7	10	11	5	<b>0</b>
<b>3</b>	45	45	45	45	35	<b>10</b>
<b>4</b>	9	9	9	11	6	<b>0</b>

Pode-se observar nas opções Atual, 1, 2 e 4 uma maior facilidade para alcançar o critério de convergência estatístico. Os valores de ZINF e ZSUP estão bem próximos na maioria dos casos que chegam a 45ª iteração, conforme pode ser verificado na Figura 128.

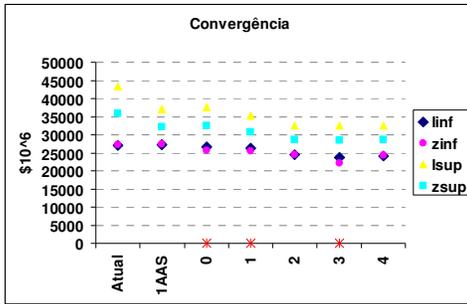
Da Figura 128a até a Figura 128k são apresentados os limites inferiores e superiores para o valor ótimo obtido na última iteração do algoritmo da PDDE.



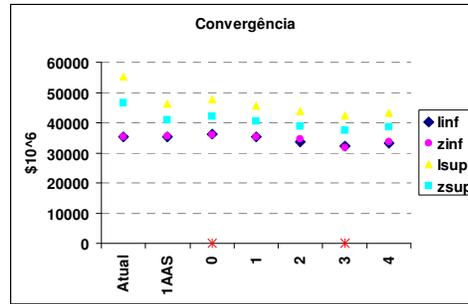
(a) PMO MAI/04



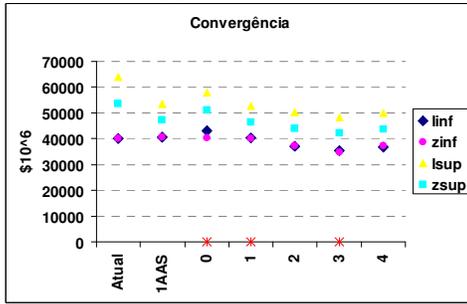
(b) PMO SET/04



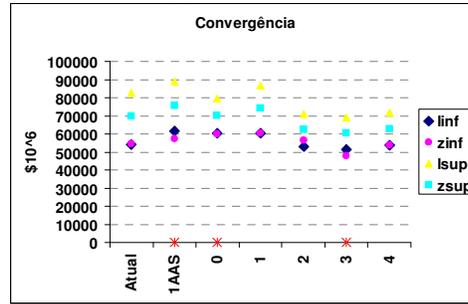
(c) PMO SET/05



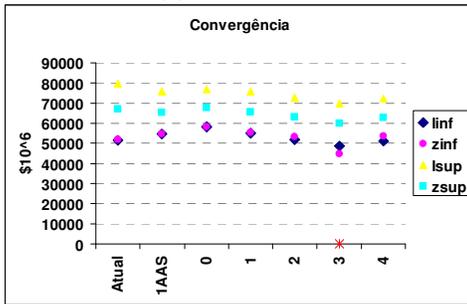
(d) PMO JUN/06



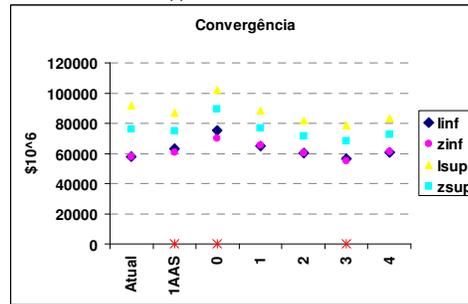
(e) PMO JUL/06



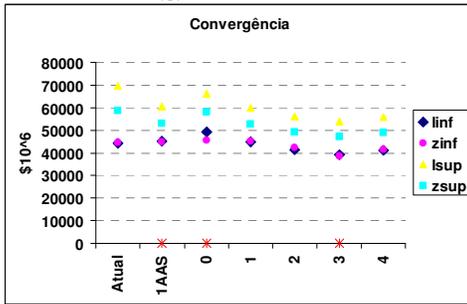
(f) PMO JAN/07



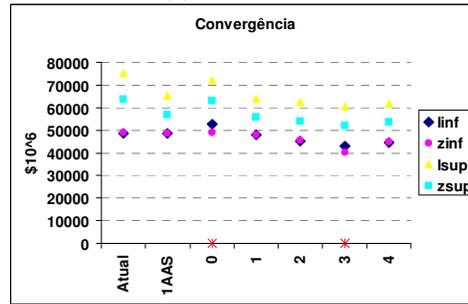
(g) PMO FEV/07



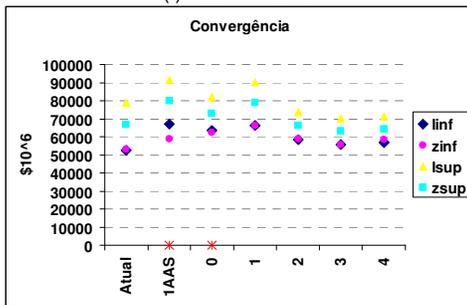
(h) PMO MAI/07



(i) PMO JUL/07



(j) PMO AGO/07



(k) PMO JAN/08

Figura 128: Convergência – Última Iteração



Os resultados observados para os PMO SET/04, JUL/06 e JAN/08 corroboram com as observações feita para o PMO FEV/07. Estes PMO apresentam uma variabilidade bem maior nos resultados, quando há alteração na amostra de ruídos. Estes resultados podem ser conferidos no Anexo C.

Na Figura 130 e na Figura 131 são apresentadas trajetórias de convergência utilizando duas amostras distintas de ruídos para a opção Atual e 4. São consideradas a Amostra 0 e aquela que apresentou o maior valor esperado do custo total de operação, Amostra 572 para opção Atual e Amostra 1000 para opção 4.

Para a opção Atual, o critério estatístico de convergência foi satisfeito na décima iteração para o caso Amostra 0, já o caso Amostra 45 atingiu o número máximo de iterações sem que o critério de convergência fosse atingido. Para a comparação da convergência dos dois casos é considerado o mesmo número de iterações. Nota-se que cada caso converge para uma solução distinta, e que as duas soluções são bem diferentes ente si. A diferença entre os valores de ZINF observados na 45ª iteração é de 41% e de ZSUP é de 38%.

Logo, a sub-árvore construída com esta opção não traz robustez ao processo de planejamento da operação energética, com relação a variação da amostra de ruídos tanto para o passo backward quanto para o passo forward.

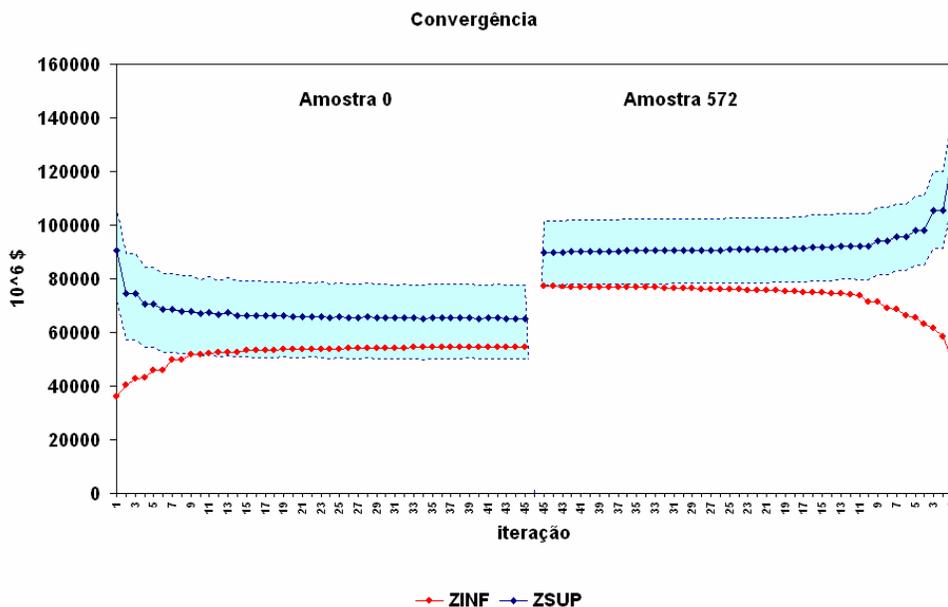


Figura 130: Trajetória Convergência – Variação Amostra – Opção Atual – FEV/07

Para efetuar a comparação das trajetórias para a opção 4, é considerado o mesmo número de iterações para ambas as amostras (no caso 45 iterações). Observe-se que o valor de ZINF pouco se altera com relação à amostra de

ruídos utilizada. A diferença entre os valores de ZINF é de 4% e de ZSUP é de aproximadamente 24%. Note que há uma região em comum entre os intervalos de confiança das duas trajetórias, o que não ocorre para opção Atual.

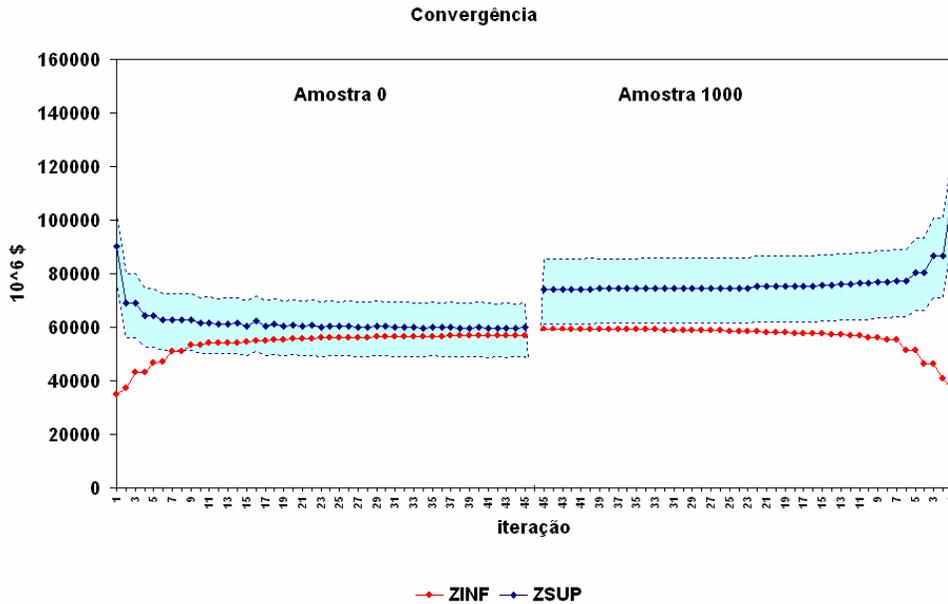


Figura 131: Trajetória Convergência – Variação Amostra – Opção 4 – FEV/07

O procedimento de reamostragem de cenários proposto no capítulo 6 é aplicado para as opções 0 e 4. Os resultados para a última iteração do processo de convergência estão ilustrados na Figura 132. Pode-se observar que a aplicação deste procedimento reduz a variabilidade dos resultados, com relação a variação da amostra de ruídos. Além disso, há uma redução no valor esperado do custo total de operação (ZSUP).

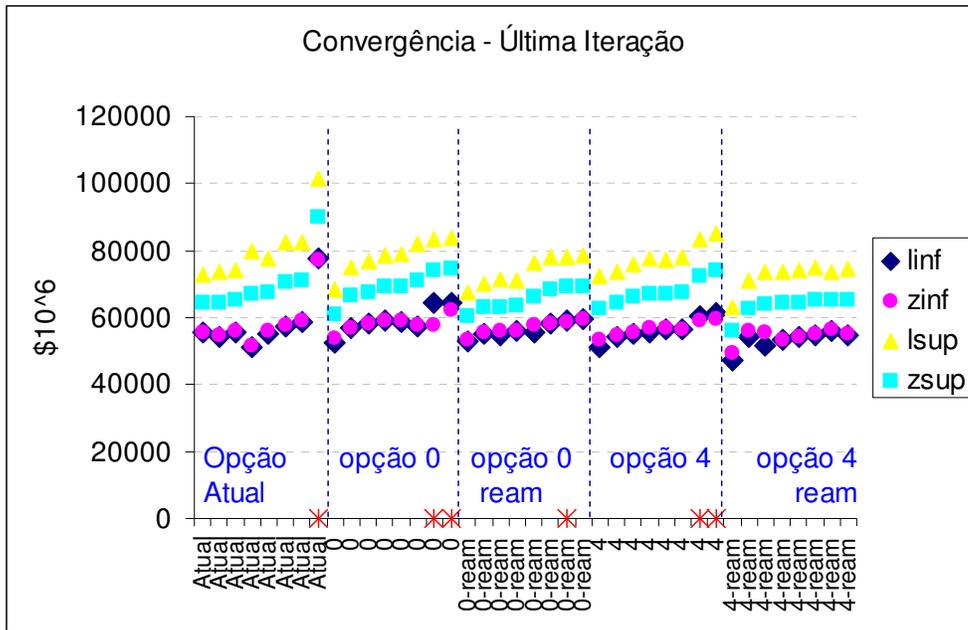


Figura 132: Convergência – Última Iteração – Variação Amostra – Com Reamostragem - FEV/07

Nesta análise, independentemente da opção adotada há um ganho com relação à opção Atual com relação a estabilidade nos resultados de CMO (Figura 133), do valor esperado do custo total de operação da simulação final (Figura 134), no risco anual médio de qualquer déficit (Figura 135) e no valor esperado de energia não suprida (Figura 136).

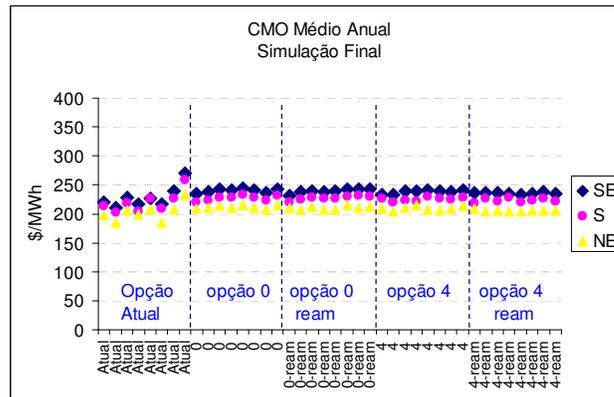


Figura 133: CMO – Variação Amostra – Com Reamostragem - FEV/07

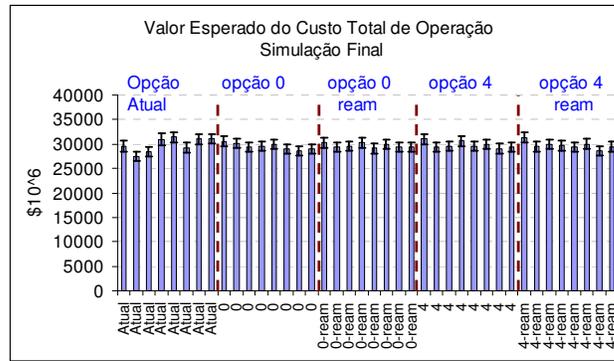


Figura 134: COPER – Variação Amostra – Com Reamostragem - FEV/07

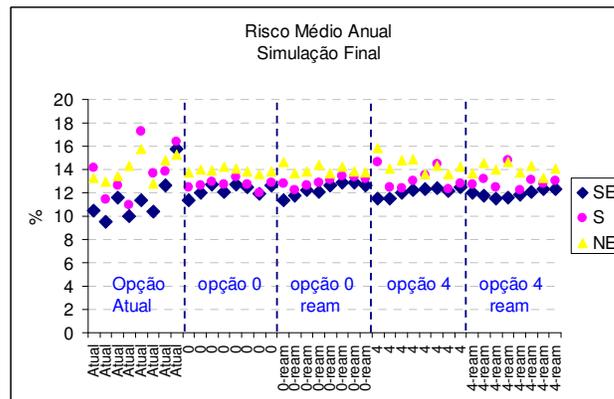


Figura 135: Risco – Variação Amostra – Com Reamostragem - FEV/07

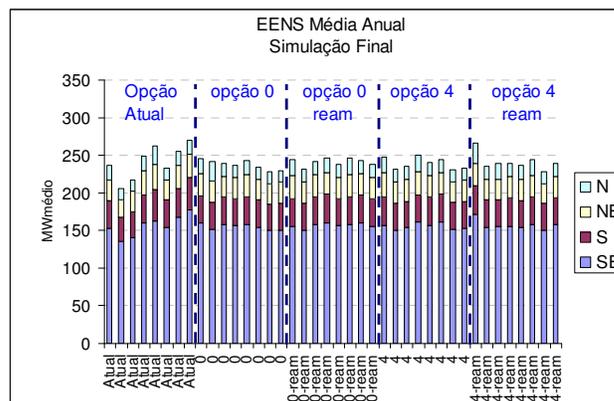


Figura 136: EENS – Variação Amostra – Com Reamostragem - FEV/07

#### 8.4. Alteração do número de cenários backward

Neste item é realizada uma sensibilidade com relação ao número de aberturas do passo backward. Atualmente, nos casos oficiais de PMO, são utilizadas 20 aberturas. Nesta sensibilidade são avaliadas árvores de cenários com 50 e 100 aberturas. Na Figura 137, são apresentados o valor esperado do

custo total de operação (ZSUP), o seu valor estimado (ZINF) e o intervalo de confiança de 95% para a última iteração do processo de convergência.

Cabe ressaltar que para as opções Atual e 0, por construção, a alteração na amostra backward gera necessariamente uma modificação na amostra forward.

Observa-se que a variação dos valores de ZINF e ZSUP, para diferentes números de aberturas, é menor nas opções que utilizam o processo de agregação do que a variação dos valores obtidos com a opção Atual. Isto é um indício de que o uso de agregação no passo backward torna o processo mais robusto com relação ao número de aberturas. Ou seja, uma amostra com 20 cenários obtidos com agregação fornece na prática os mesmos resultados que uma amostra com 100 cenários obtidos com agregação, o que não ocorre quando não se utiliza agregação.

Outro ponto importante a ser observado é a redução no valor esperado do custo total de operação para opção 4 quando se adota o processo de reamostragem de cenários.

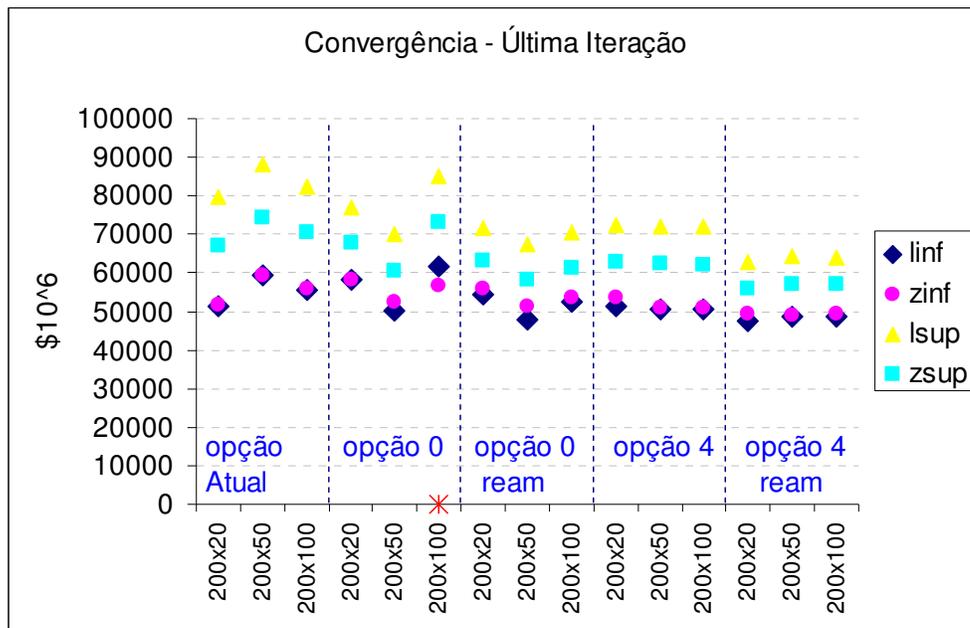


Figura 137: Convergência – Última Iteração – Variação Backward – Com Reamostragem - FEV/07

Apesar de o processo de geração da amostra backward ser o mesmo para as opções 0 e 4, na opção 0 há uma dependência forte entre as amostras backward e forward. Como já mencionado anteriormente, uma alteração na

backward, leva a uma alteração na amostra forward. Logo, a variação dos resultados observada na opção 0 é maior do que na opção 4.

Os impactos observados nos resultados obtidos durante a simulação final são apresentados da Figura 138 até a Figura 141. Note que não há uma variação significativa de resultados entre as versões 0 e 4, e com e sem aplicação do processo de reamostragem.

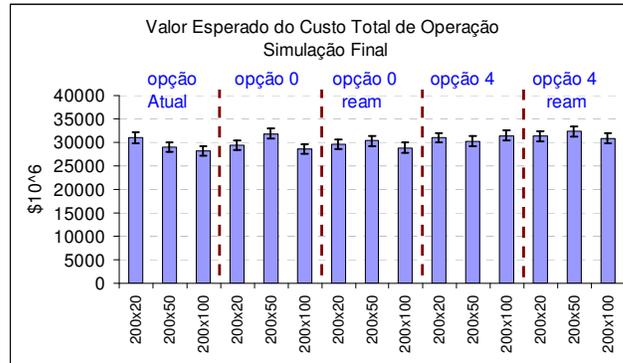


Figura 138: COPER – Variação Backward – Com Reamostragem - FEV/07

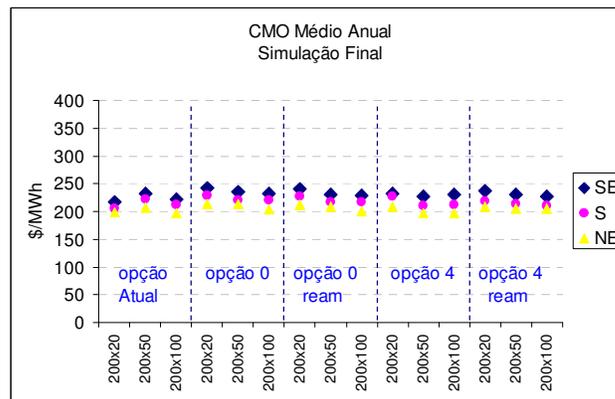


Figura 139: CMO – Variação Backward – Com Reamostragem - FEV/07

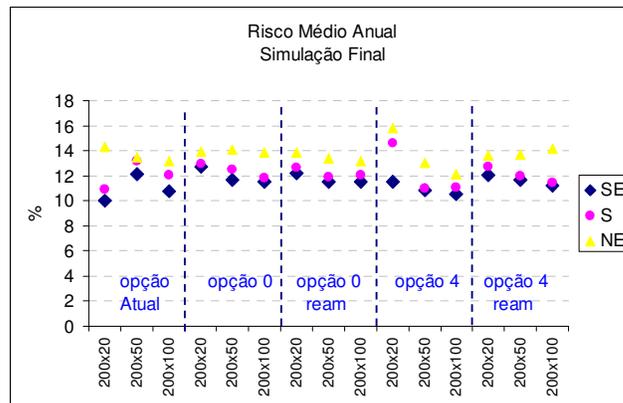


Figura 140: Risco – Variação Backward – Com Reamostragem - FEV/07

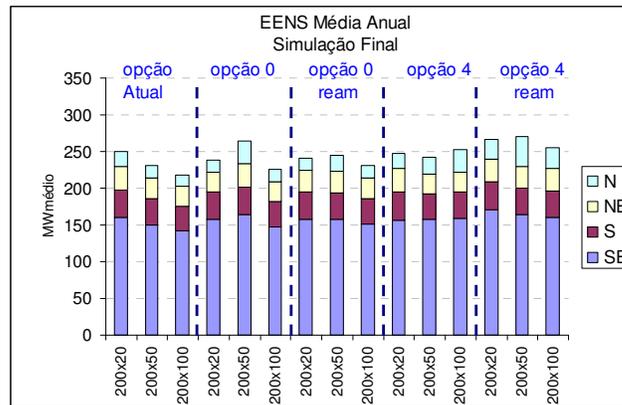


Figura 141: EENS – Variação Backward – Com Reamostragem - FEV/07

## 8.5. Alteração do número de cenários forward

Outra questão importante é verificar se os resultados são robustos com relação a uma sensibilidade no número de cenários utilizados no passo forward. Nos casos oficiais de PMO são utilizados 200 cenários forward. São avaliadas árvores de cenários com 250 e 300 aberturas.

Na Figura 142, são apresentados o valor esperado do custo total de operação (ZSUP), o seu valor estimado (ZINF) e o intervalo de confiança de 95% para a última iteração do processo de convergência. Note que para a opção 4 há uma pequena variação nos resultados à medida que se altera o número de cenários forward.

Conforme observado anteriormente, pode-se verificar na Figura 143, que a utilização do processo de reamostragem em geral reduz o valor de ZSUP.

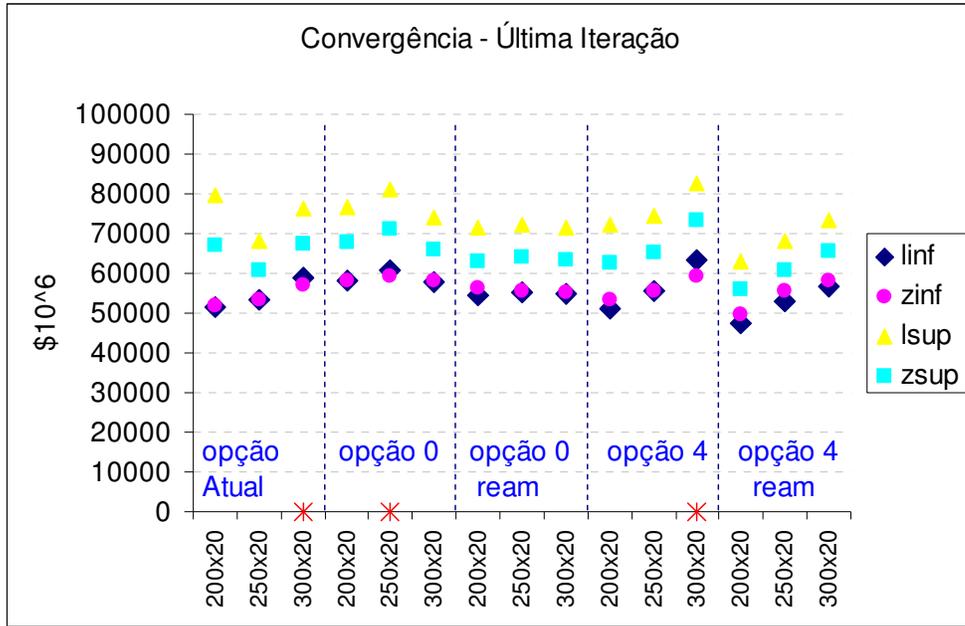


Figura 142: Convergência – Última Iteração – Variação Forward – Com Reamostragem - FEV/07

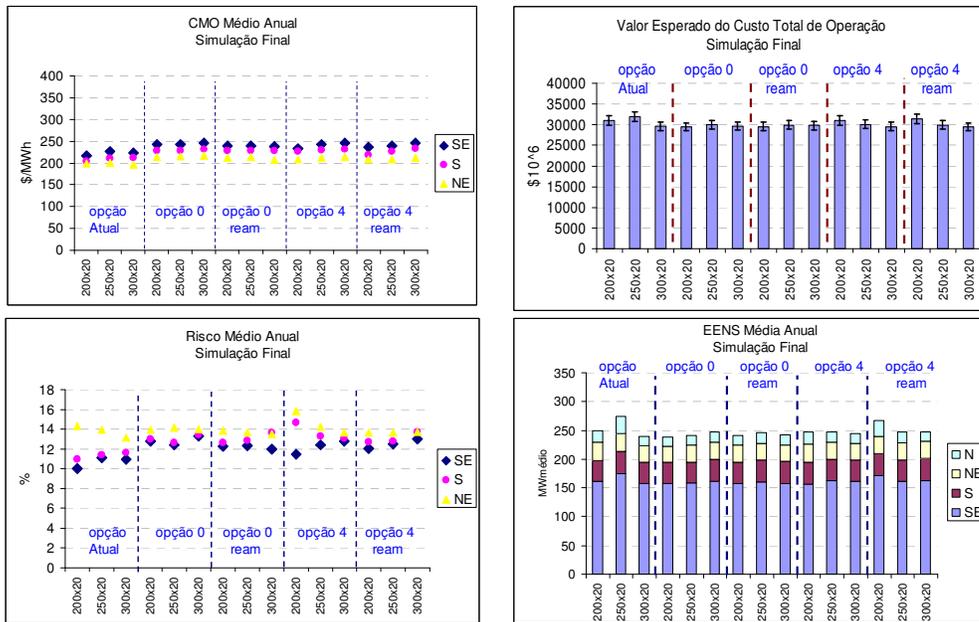


Figura 143: Resultados – Variação Forward – Com Reamostragem - FEV/07

Na análise anterior é considerada apenas a amostra original de ruídos para cada variante do número de cenários forward. Na Figura 144 os resultados são avaliados considerando variações no número de cenários forward e na amostra de ruídos utilizada, para a opção Atual. Pode-se verificar que mesmo considerando uma maior amostra forward persiste a variação dos resultados

quando a amostra de ruídos é alterada. O mesmo pode ser observado para os demais resultados analisados, Figura 145.

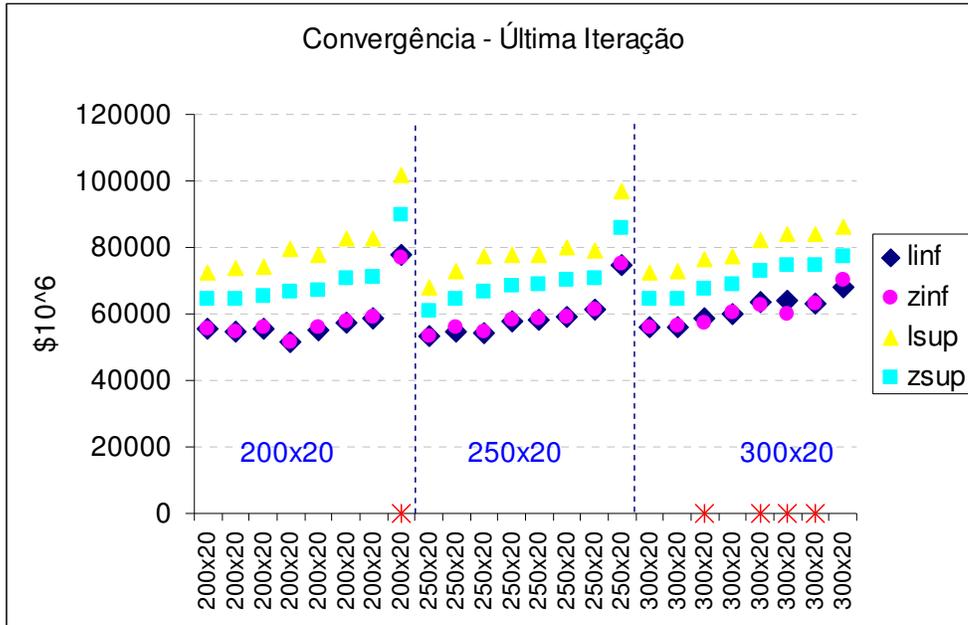


Figura 144: Convergência – Última Iteração – Variação Forward & Amostra – Opção Atual - FEV/07

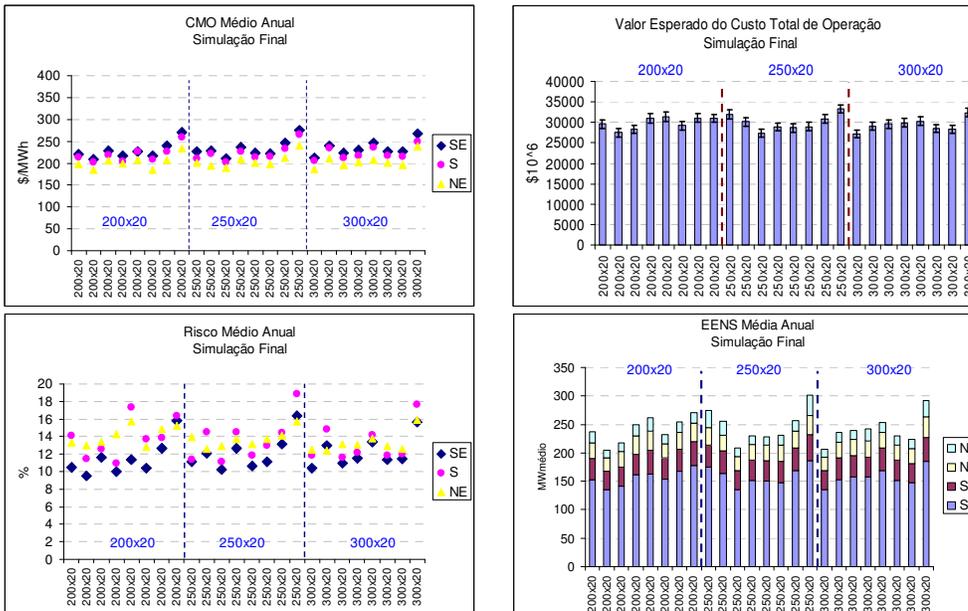


Figura 145: Resultados – Variação Forward & Amostra – Opção Atual - FEV/07

Na Figura 146 são apresentados os resultados da última iteração para a opção 0, variando tamanho da forward e amostra de ruídos. Com relação à opção Atual, houve uma redução acentuada na variabilidade nos resultados. Isto ocorre, pois a amostra backward que dá origem às amostras forward, fica mais bem representada quando se utiliza métodos de agregação.

Os valores médios anuais do CMO, risco e EENS, além do custo total de operação da simulação final, também estão mais estáveis com relação à alteração da amostra de ruídos (sementes), conforme pode ser verificado na Figura 147.

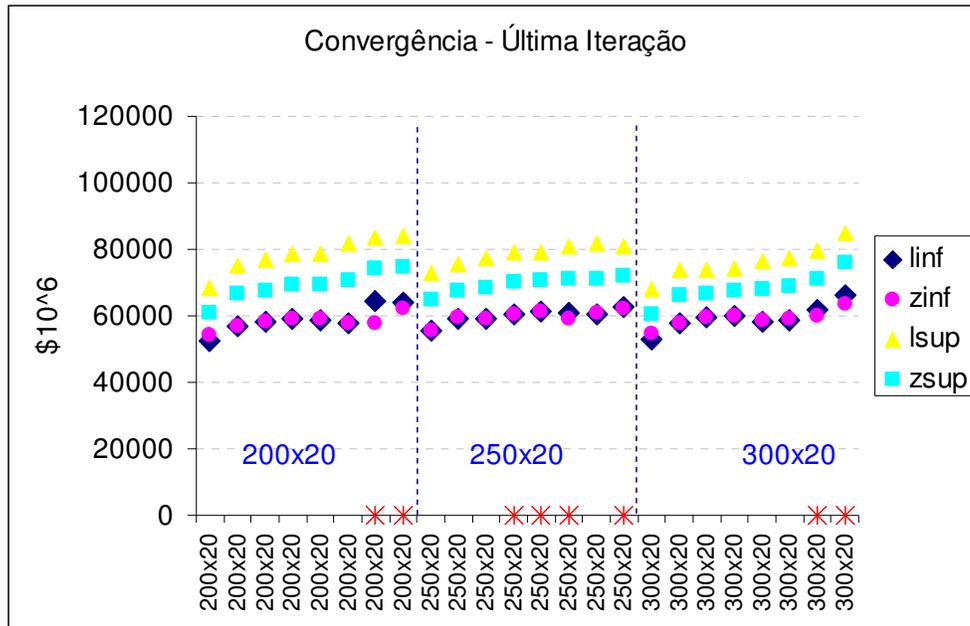


Figura 146: Convergência – Última Iteração – Variação Forward & Amostra – Opção 0 - FEV/07

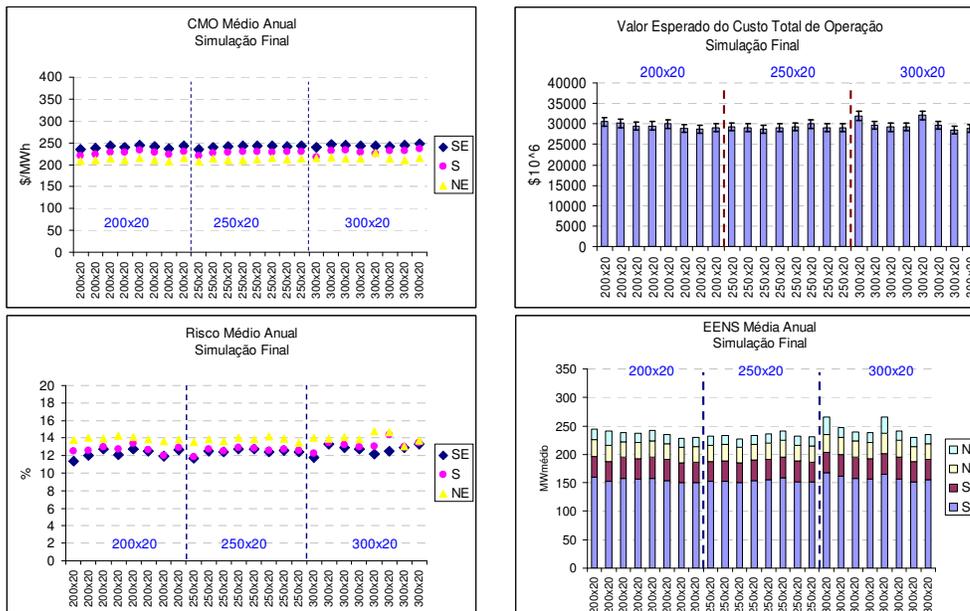


Figura 147: Resultados – Variação Forward & Amostra – Opção 0 - FEV/07

A opção 4 também é analisada com relação às alterações no número de cenários forward e na amostra original de ruídos que é utilizada no processo de

agregação. Na Figura 148 são mostrados os valores de ZINF e ZSUP obtidos durante a última iteração do processo de cálculo da política. Há uma pequena flutuação nos valores com relação à variação da amostra de ruídos, mas essa variação é menor do que aquela observada com a opção Atual. O mesmo pode ser observado nos demais resultados analisados, Figura 149.

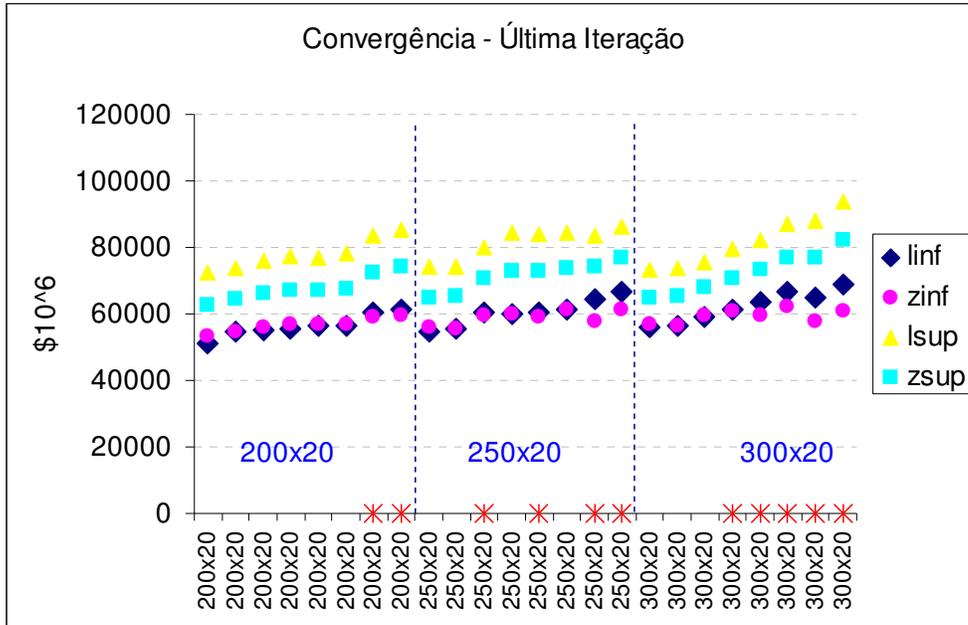


Figura 148: Convergência – Última Iteração – Variação Forward & Amostra – Opção 4 - FEV/07

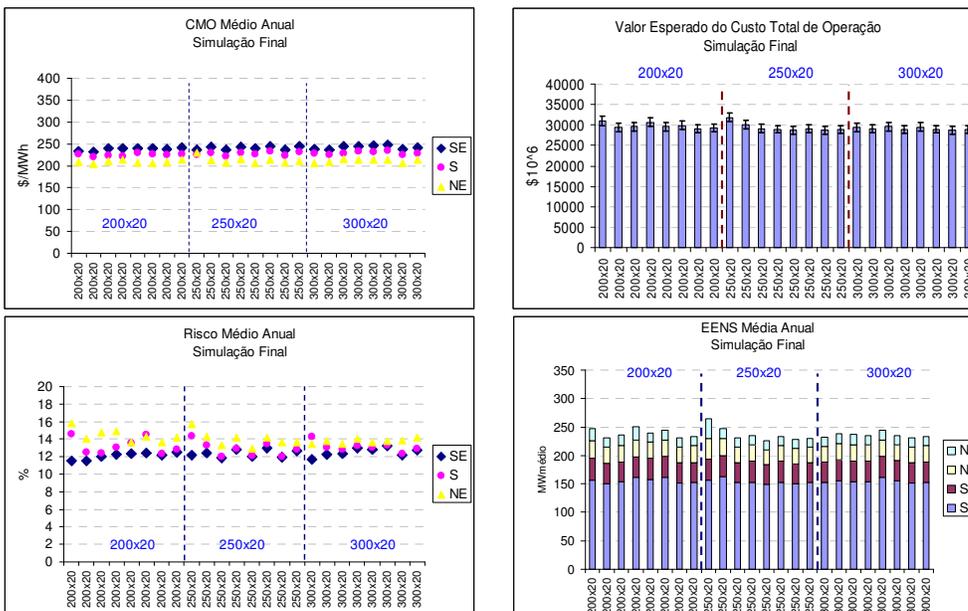


Figura 149: Resultados – Variação Forward & Amostra – Opção 4 - FEV/07

Em resumo, na sensibilidade com relação ao número de cenários forward, todas as opções analisadas apresentam menor variação nos resultados tanto na simulação final quanto no cálculo da política se comparadas com a opção Atual. Porém este ganho é menor do que o ganho observado na sensibilidade com relação ao número de cenários backward e à amostra de ruídos.

Para aumentar a robustez dos resultados quando é alterado o tamanho da amostra forward, deve-se tentar investigar outros métodos para construção dos cenários forward a serem visitados durante o cálculo da política.

## 8.6.

### Alteração do tamanho da amostra para o processo de agregação

É esperado que à medida que o tamanho da amostra original de ruídos utilizada no processo de agregação aumente menor seja a variação observada nos resultados. Porém, vale ressaltar que o tempo computacional gasto com a construção da árvore de cenários cresce consideravelmente com o aumento da amostra original de ruídos utilizada no processo de agregação.

Na Figura 150 são apresentados os resultados de ZSUP e ZINF para a última iteração, considerando a opção 4 utilizando diferentes amostras de ruídos e com tamanhos variando de 2 mil a 100 mil.

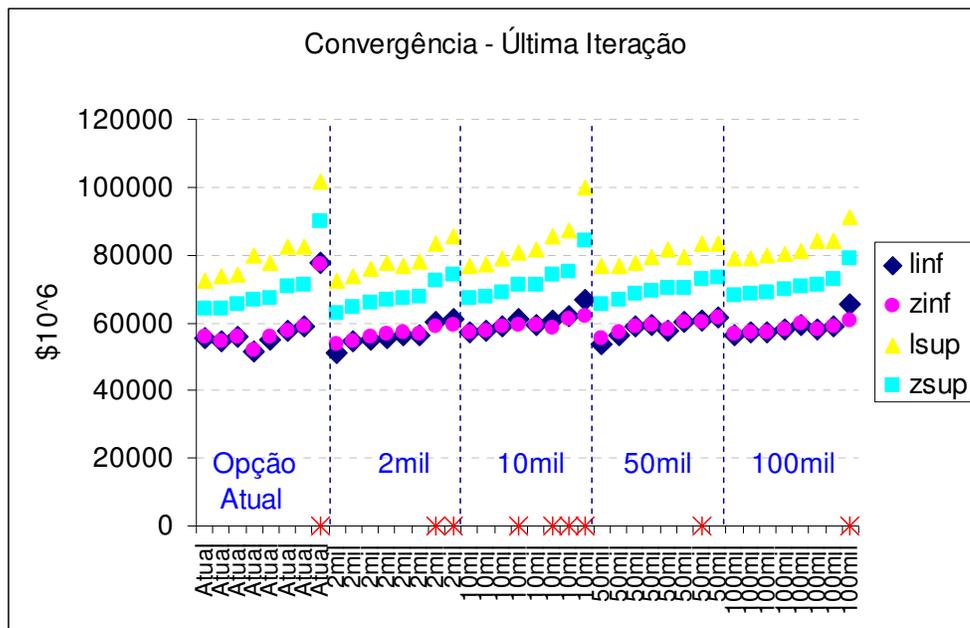


Figura 150: Convergência – Última Iteração – Variação Forward & Amostra – Opção 4 - FEV/07

Observando os resultados da simulação final, pode-se verificar que os valores obtidos com a amostra de tamanho 2 mil para o custo total de operação (Figura 151) e para o custo marginal de operação – CMO - (Figura 152) pouco se diferenciam dos valores obtidos com casos que utilizam uma amostra maior.

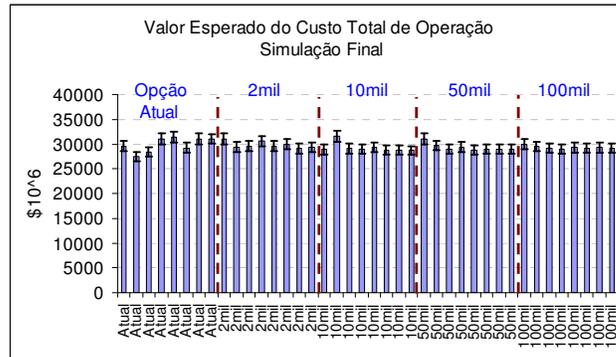


Figura 151: COPER – Variação Tamanho da Amostra - FEV/07

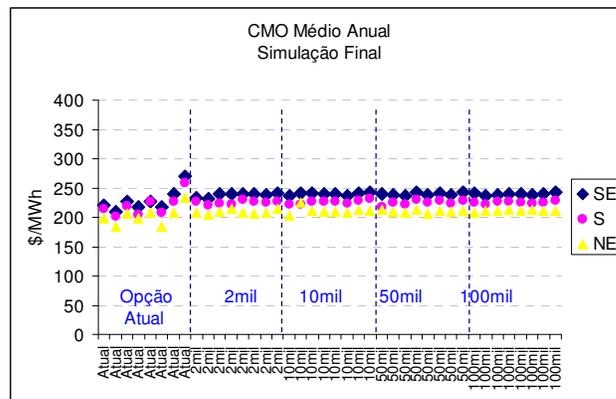


Figura 152: CMO – Variação Tamanho da Amostra - FEV/07

Como pode ser observado na Figura 153, há uma aparente estabilização nos valores do risco médio anual à medida que o tamanho da amostra cresce, porém isto não é verificado no valor esperado da energia não suprida, Figura 154. Como a variável risco de déficit não faz parte diretamente da função objetivo do problema de planejamento da operação, esta pode apresentar uma oscilação sem que haja necessariamente um aumento no montante de energia não suprida.

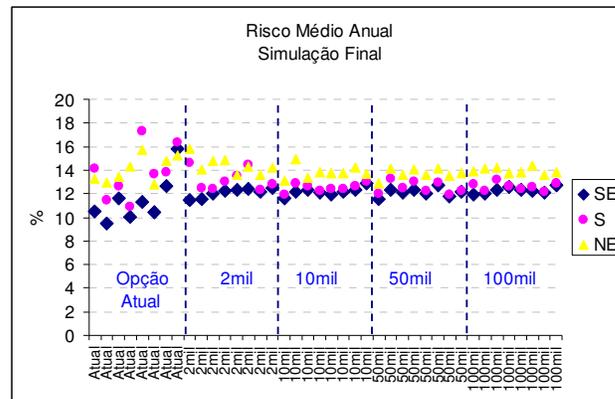


Figura 153: Risco – Variação Tamanho da Amostra - FEV/07

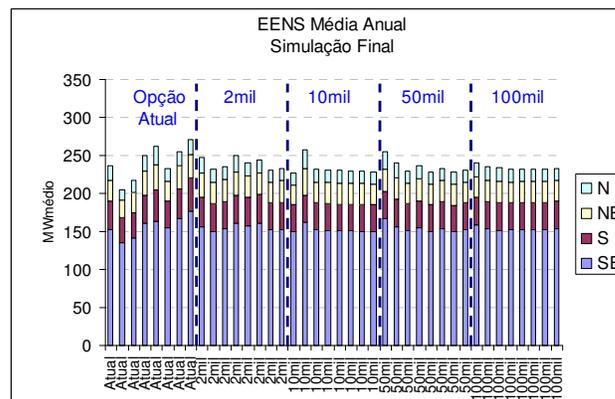


Figura 154: EENS – Variação Tamanho da Amostra - FEV/07

Os resultados observados neste item, em conjunto com as avaliações do tamanho da amostra realizadas no capítulo 7, indicam que uma amostra de tamanho 2mil é razoável para representar bem o processo estocástico multivariado. Esta afirmação é válida para as configurações utilizadas neste estudo. Para casos como o Plano Decenal de Expansão, que normalmente possuem um número maior de subsistemas equivalentes de energia, o dimensionamento da amostra a ser utilizado no processo de agregação deve ser reavaliado.

## 8.7. Alteração do método de amostragem

Neste item é analisada a troca do método de amostragem aleatória simples utilizado na opção 1AAS pelos métodos hipercubo latino (LHC) e amostragem descritiva (AD) para gerar as amostras backward e forward. O caso analisado utiliza 200 cenários forward e 20 aberturas e são consideradas diferentes amostras de ruídos (variação de semente).

Na Figura 155 são apresentados os resultados da última iteração. Pode-se observar que o valor de ZSUP para os casos que utilizam LHC e AD é maior do

que o observado com o método AAS, assim como sua a variância, representada pelo intervalo de confiança. Com relação ao valor de ZINF, este é mais estável e tem a mesma magnitude observada nos caso AAS.

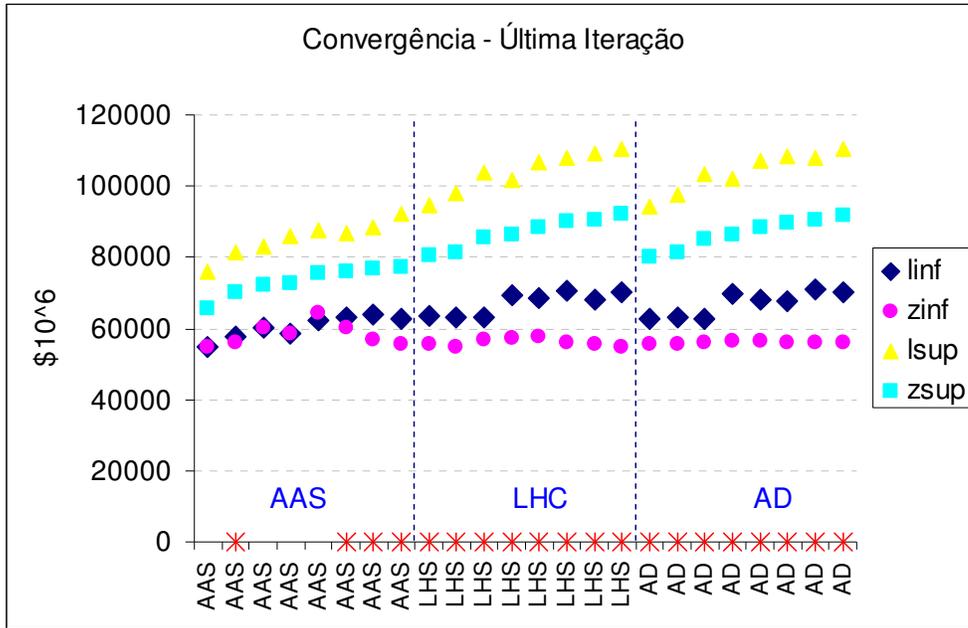
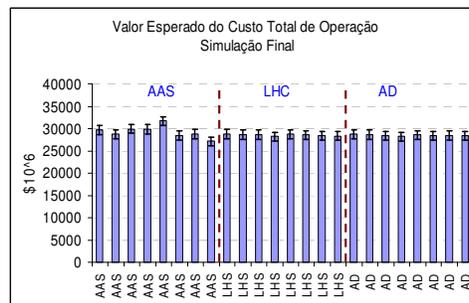
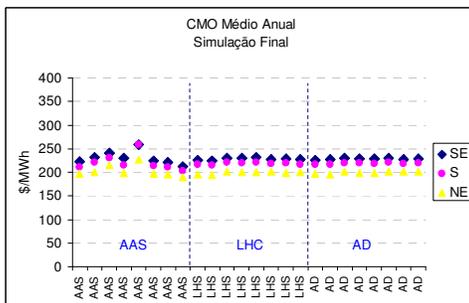


Figura 155: Convergência – Última Iteração – Variação Método de Amostragem - FEV/07

Os resultados de CMO, COPER, risco e EENS, apresentados na Figura 156, também apresentam uma maior estabilidade com relação aos mesmos resultados observados com o método AAS. Todos os casos LHC e AD atingem o número máximo de iterações sem que o critério de convergência estatístico tenha sido alcançado. O mesmo ocorre com alguns casos AAS.

Apesar dos casos AAS terem convergido em iterações diferentes, a oscilação de resultados é verificada mesmo se os casos forem forçados à 45ª iteração.



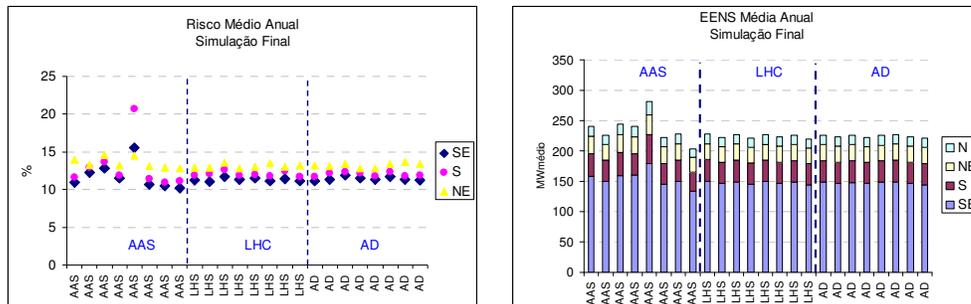


Figura 156: Resultados- Variação Método de Amostragem - FEV/07

O fato de ZINF e ZSUP estarem convergindo para valores bem diferentes pode estar sendo causado pela dificuldade que os métodos LHC e AD têm de reproduzir de forma compatível a correlação cruzada das amostras forward e backward. Quando os cenários backward e forward não estão compatíveis estatisticamente há sinalizações distintas durante a etapa de operação do sistema (etapa relacionada com ZSUP) e a etapa de construção da FCF (etapa ligada ao ZINF). Por exemplo, a FCF pode estar sendo construída enxergando cenários mais favoráveis e, portanto sinalizando um custo futuro baixo e indicando o uso da água armazenada nos reservatórios. Porém, quando o sistema é realmente operado, os cenários visitados podem ser mais críticos levando a corte de carga futuros, desta forma elevando o custo total de operação. Assim, os valores de ZINF, calculado através da FCF, e o valor de ZSUP, calculado durante a etapa de operação, podem ser bem distintos.

Com relação à variação do número de cenários backward, pode-se observar na Figura 157 que não houve variações nos resultados de ZINF e ZSUP obtidos na última iteração. Porém, pode-se verificar novamente que o valor de ZSUP para os métodos de amostragem LHC e AD estabilizam em um patamar bem superior ao valor observado com AAS. Na Figura 158 são apresentados valores médios anuais obtidos para CMO, risco e EENS, além do custo total de operação da simulação final. Esses resultados são se alteram nos casos LHC e AD e nos casos AAS apresentam uma pequena variação.

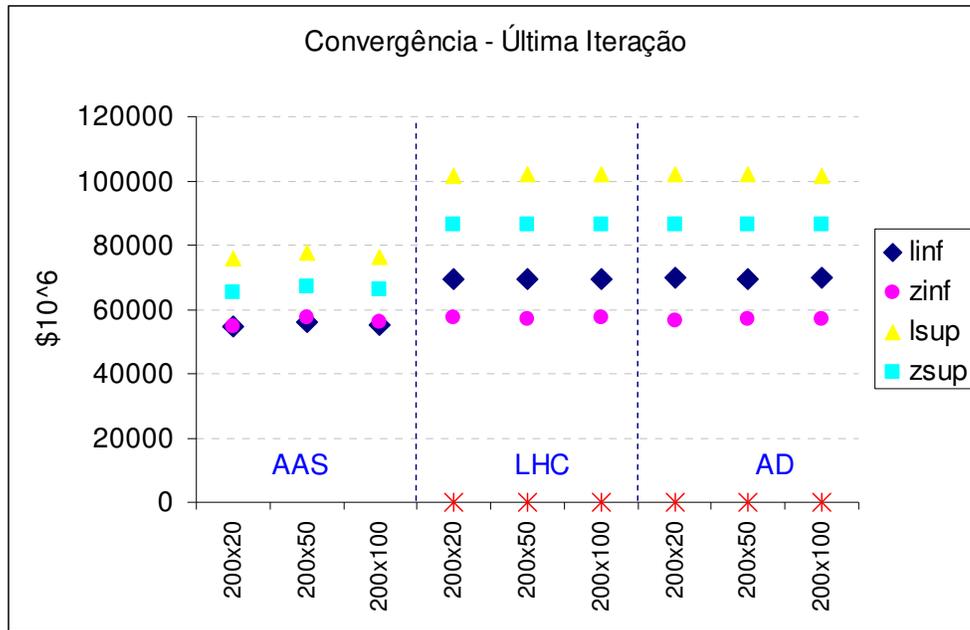


Figura 157: Convergência – Última Iteração – Variação Método de Amostragem e Backward - FEV/07

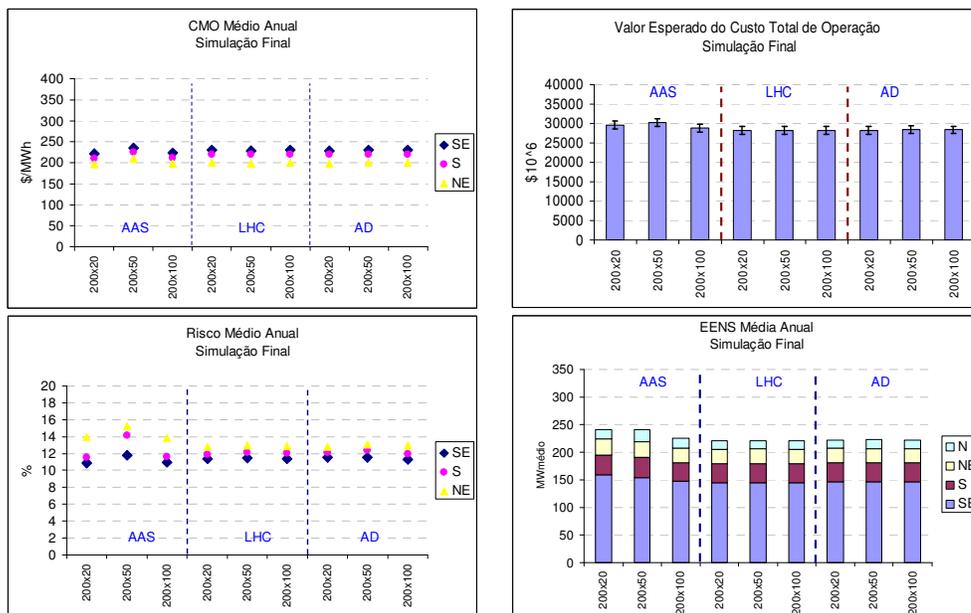


Figura 158: Resultados- Variação Método de Amostragem e Backward - FEV/07

Na Figura 159 e Figura 160 são mostrados os resultados de uma sensibilidade com relação ao número de cenários forward. Da mesma forma como observado anteriormente, os resultados não apresentam variação com a mudança do número de cenários forward, porém há um acréscimo no valor de ZUP para os casos LHC e AD.

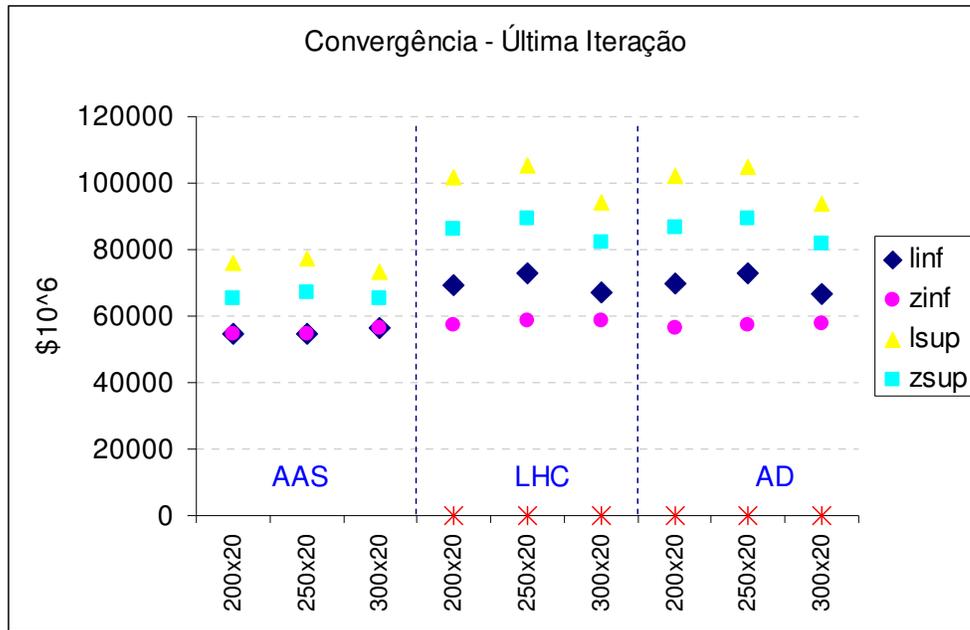


Figura 159: Convergência – Última Iteração – Variação Método de Amostragem e Forward - FEV/07

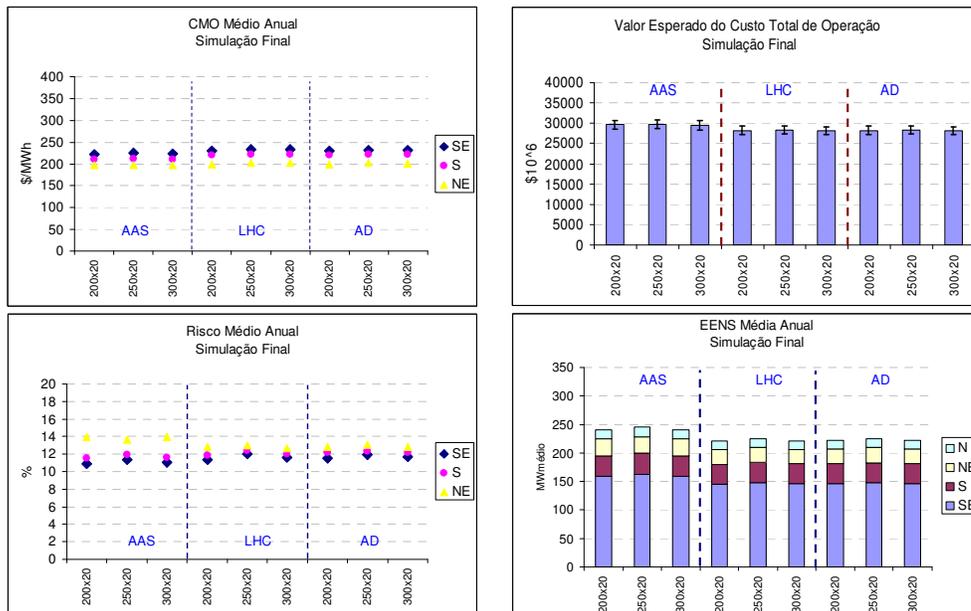


Figura 160: Resultados- Variação Método de Amostragem e Forward - FEV/07

### 8.8. Combinação de método de amostragem e agregação

Neste item são apresentadas três novas opções para construção da árvore de cenários, derivadas da aplicação em conjunto do método de amostragem LHC e das técnicas de agregação. A opção 1+LHC é baseada na opção 1, a

mudança ocorre somente na geração da amostra de ruídos para o passo forward, onde a amostragem aleatória é substituída pela amostragem LHC, conforme ilustrado na Figura 161a. A opção 1LHC também é derivada da opção 1, onde o método AAS é substituído pelo método LHC na geração da amostra forward e da amostra que será utilizada no processo de agregação, de acordo com a Figura 161b. Por último, o método AAS é trocado pelo método LHC na opção 4, dando origem à opção 4LHC, Figura 161c.

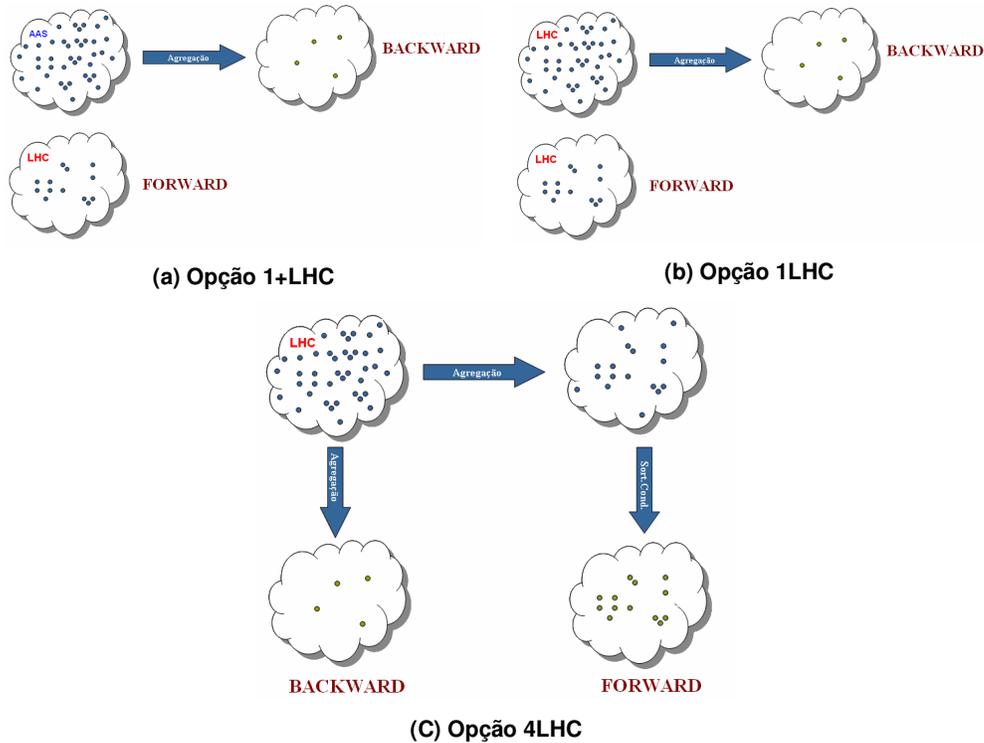


Figura 161: Opções com combinação de LHC com agregação

Na Figura 162 são apresentados os valores de ZINF e ZSUP obtidos durante a última iteração do processo de convergência. Pode-se observar que as opções que utilizam o método LHC diretamente para construir a amostra forward apresentam uma estimativa mais alta para o valor de ZSUP.

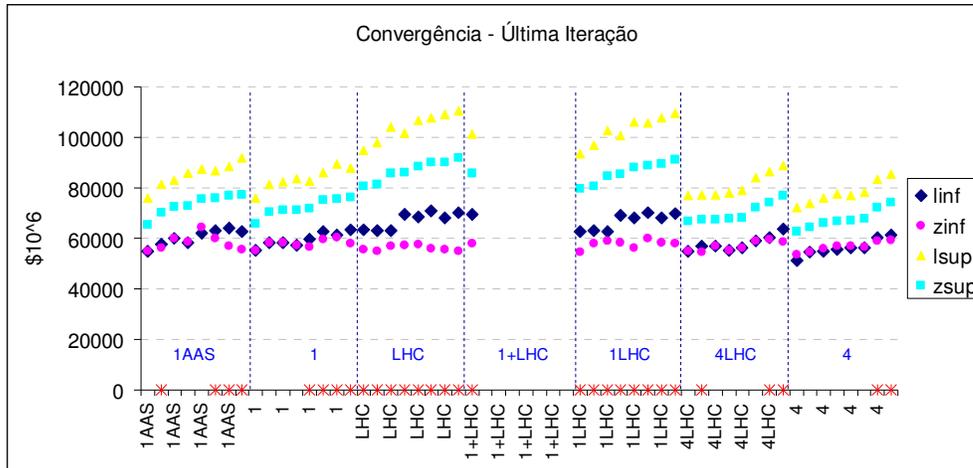


Figura 162: Convergência – Última Iteração – Variação Amostra – Combinação LHC e Agregação - FEV/07

Da Figura 163 a Figura 166 são mostrados os resultados da simulação final para todas as opções analisadas. Como pode ser observado, todas as opções que empregam o método de amostragem LHC apresentam uma menor variabilidade nos resultados, em especial as opções que a amostra original a ser agregada é gerada utilizando LHC (opções 1LHC e 4LHC).

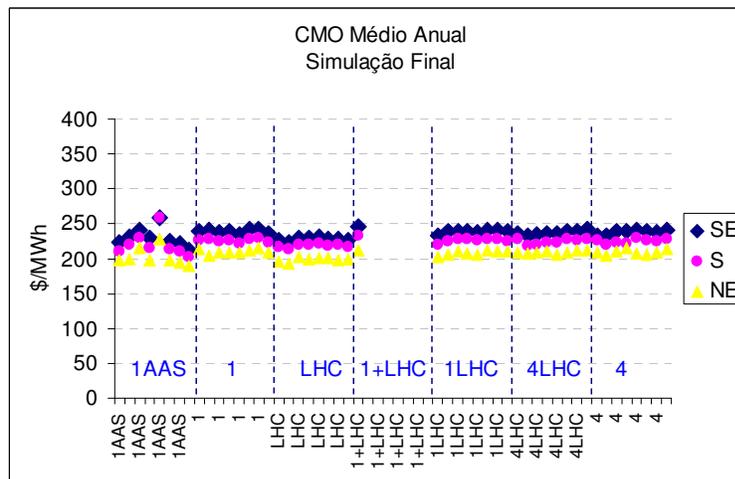


Figura 163: CMO - Variação Amostra – Combinação LHC e Agregação - FEV/07

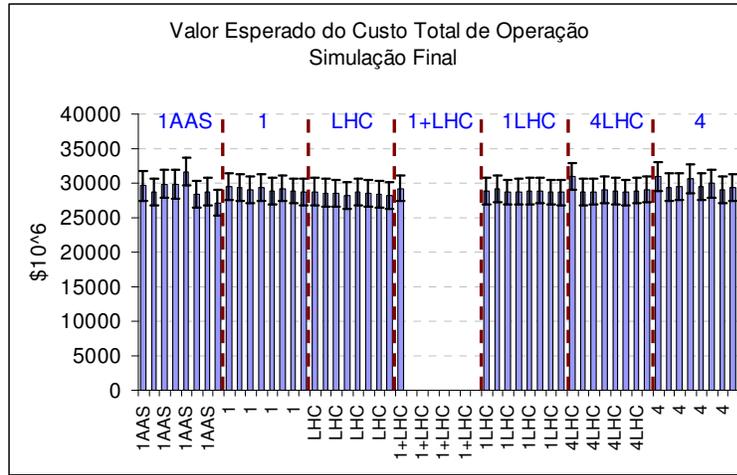


Figura 164: COPER - Variação Amostra – Combinação LHC e Agregação - FEV/07

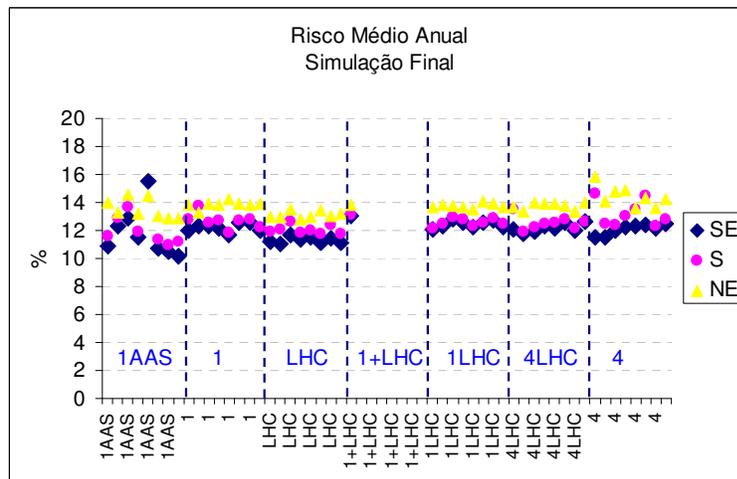


Figura 165: Risco - Variação Amostra – Combinação LHC e Agregação - FEV/07

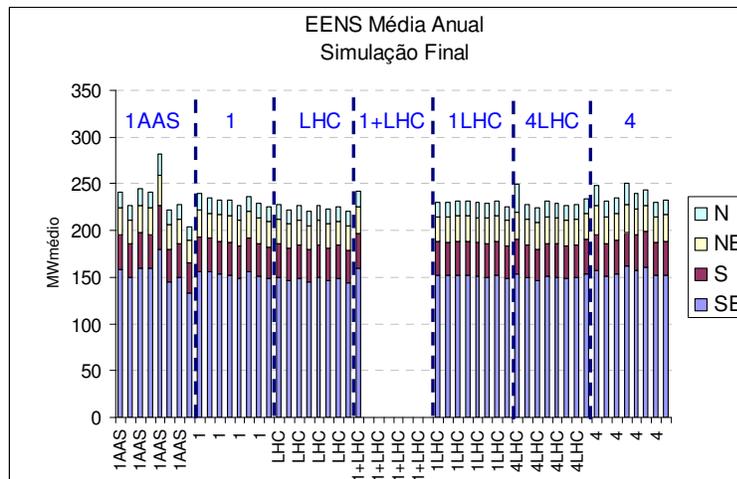


Figura 166: EENS - Variação Amostra – Combinação LHC e Agregação - FEV/07

Com relação à variação do número de cenários forward, pode-se verificar uma melhoria com relação à opção 4 quando se utiliza o método LHC para construção da amostra original. Para as opções derivadas da opção 1, verifica-se uma maior variabilidade nos valores de ZSUP. Os resultados estão ilustrados na Figura 167.

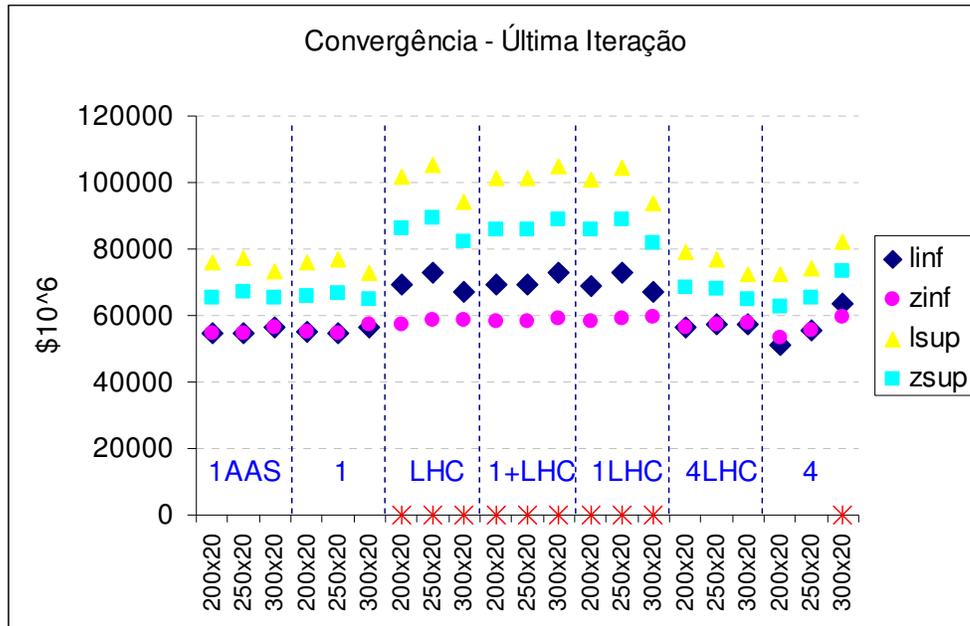
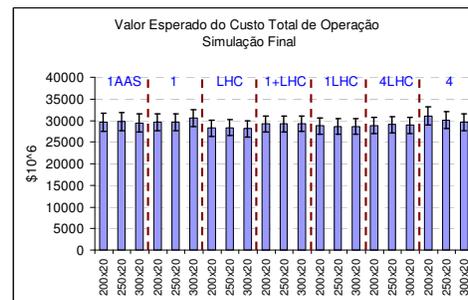
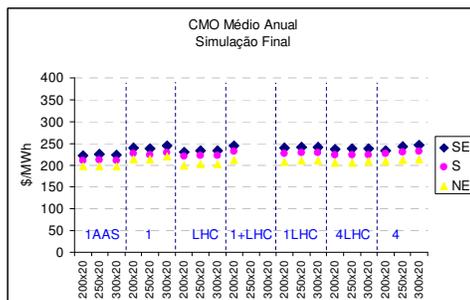


Figura 167: Convergência – Última Iteração – Variação Forward – Combinação LHC e Agregação - FEV/07

Na Figura 168 estão ilustrados os resultados obtidos durante a simulação final. Novamente a opção 4LHC traz algum ganho em comparação com a opção 4, principalmente com relação à variável risco de déficit.



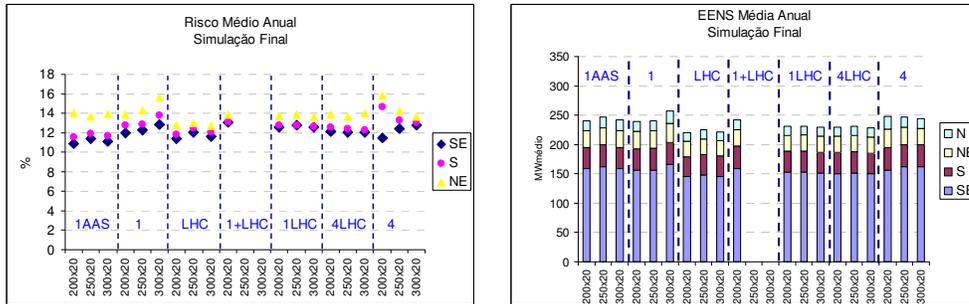


Figura 168: Resultados - Variação Forward – Combinação LHC e Agregação - FEV/07

No estudo de sensibilidade com relação ao número de aberturas, quase não há variação nos resultados de todas as opções analisadas, conforme pode ser constatado na Figura 169. Novamente, as opções que utilizam LHC para construção dos cenários forward apresentam um valor elevado de ZSUP.

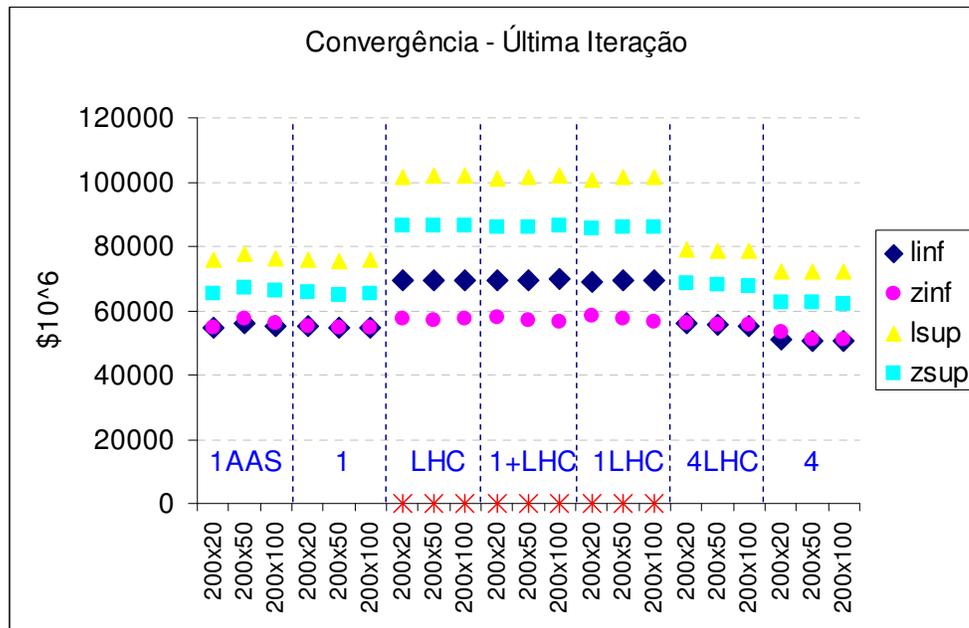
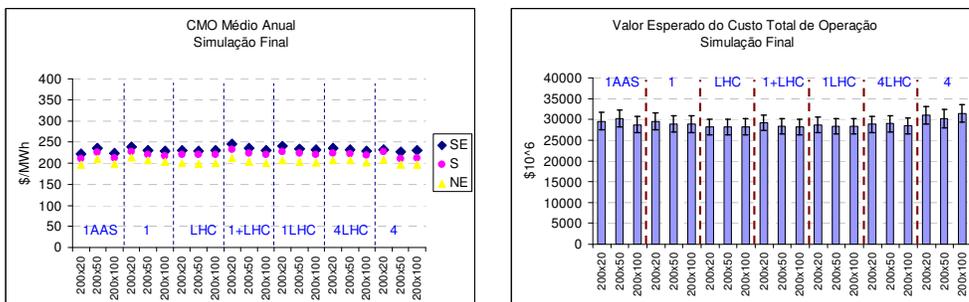


Figura 169: Convergência – Última Iteração – Variação Backward – Combinação LHC e Agregação - FEV/07

Em geral, as variações observada nos resultados da simulação final são pequenas, exceto para a variável risco de déficit, Figura 170.



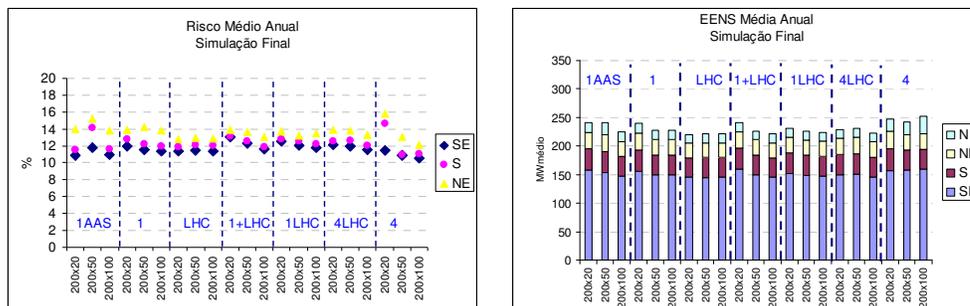


Figura 170: Resultados - Variação Backward – Combinação LHC e Agregação - FEV/07

## 8.9. Verificação da estabilidade dos resultados

É esperado que, após a convergência estatística do algoritmo de resolução do problema, a solução encontrada seja uma solução estável, isto é, que os resultados obtidos não se alterem caso sejam realizadas mais iterações no algoritmo de solução.

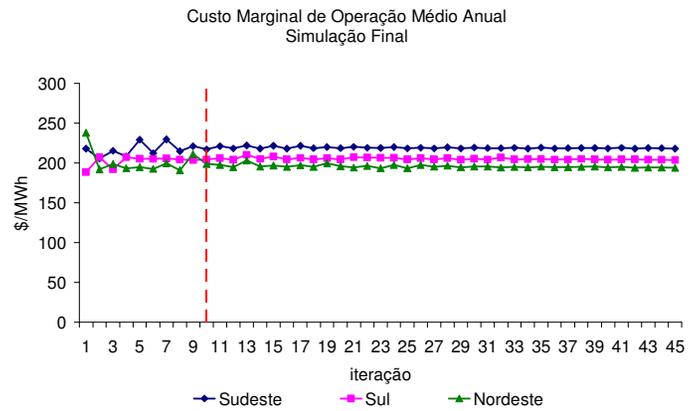
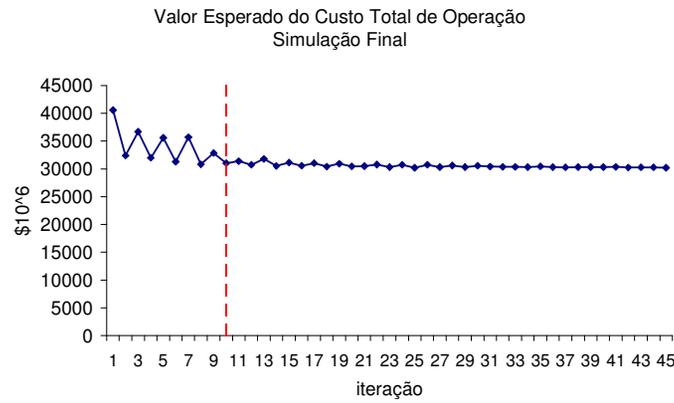
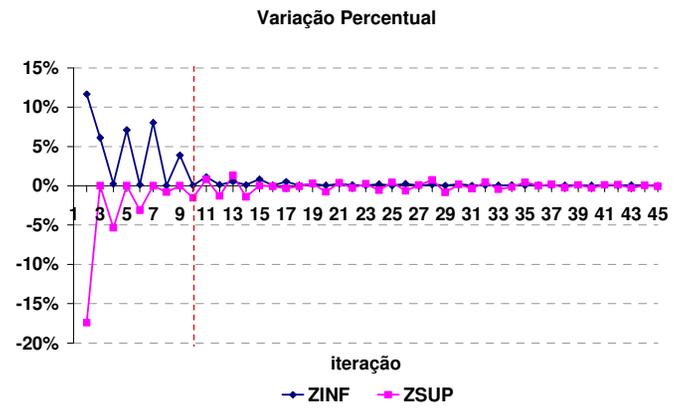
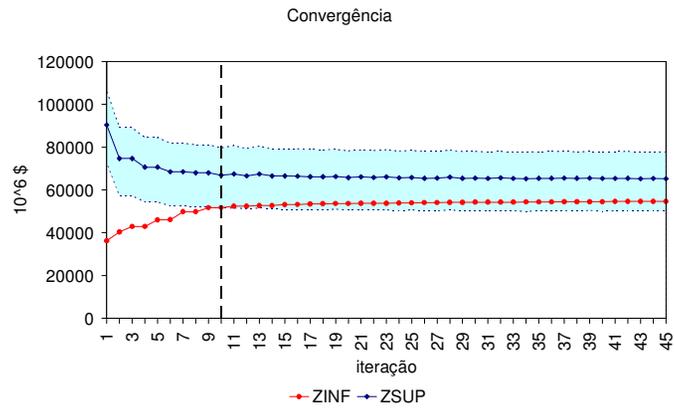
Para verificar a estabilidade da solução encontrada, deve-se analisar os resultados na simulação final considerando-se a função de custo futuro construída a cada iteração após a convergência estatística do processo. Para tanto, o algoritmo de solução é forçado a realizar tantas iterações quanto for o número máximo de iterações (45, neste caso). Logo após, são executadas 45 simulações da política de operação, de forma que a primeira simulação seja realizada utilizando a FCF construída até a primeira iteração, a segunda simulação seja realizada considerando a FCF construída até a segunda iteração, e assim por diante até que a 45ª simulação seja realizada com a FCF completa. Espera-se que os resultados obtidos após a iteração onde ocorre a convergência estatística não se alterem significativamente.

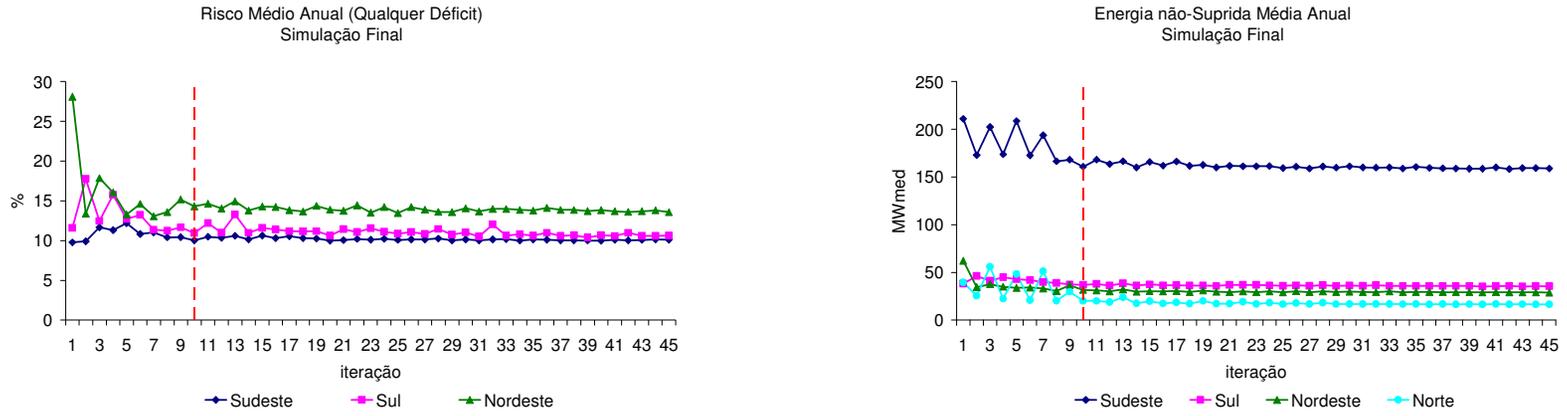
A seguir são apresentadas as análises para as opções Atual, 0 e 4 sem reamostragem de cenários e 0 e 4 com reamostragem, Figura 171, Figura 172, Figura 173, Figura 174 e Figura 175, respectivamente. Nas figuras a seguir, a iterações onde o caso converge está destacada por uma linha tracejada. São avaliados os seguintes resultados: trajetória da convergência, variação dos valores de ZINF e ZSUP, custo total de operação, custo marginal de operação, risco e energia não suprida. Pode-se observar que após a convergência estatística do algoritmo de solução não há uma variação significativa nos resultados da política de operação.

Nas opções Atual, 0 e 4, o modelo NEWAVE considera sempre a melhor solução encontrada, neste caso o menor valor para o custo total de operação

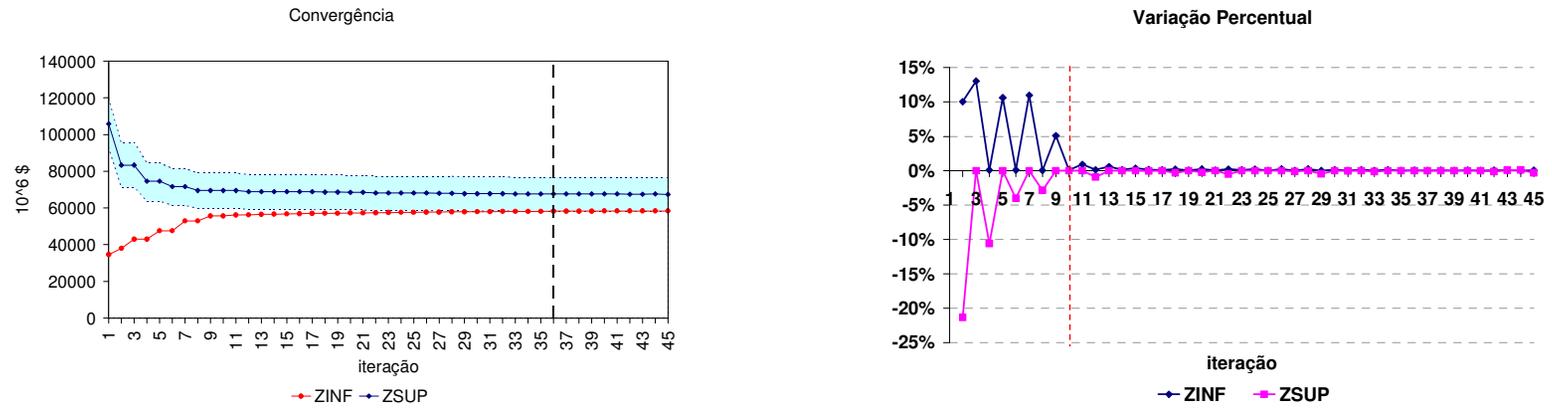
(ZSUP), durante o cálculo da política de operação. Porém, após atingir a convergência estatística, esta consideração deixa de ser válida e a partir desta iteração em diante passa a valer o valor de ZSUP obtido na iteração corrente.

a) Opção Atual





b) Opção 0



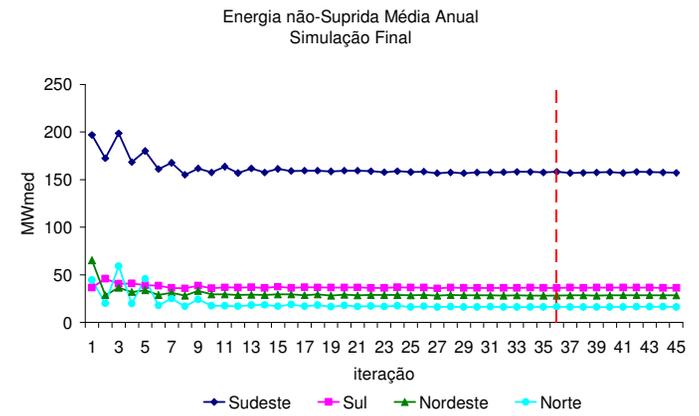
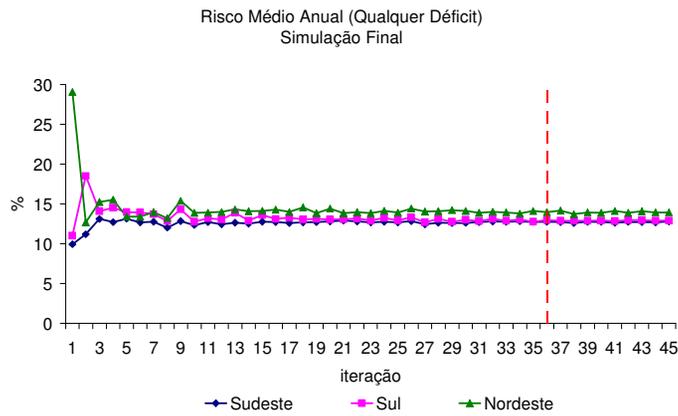
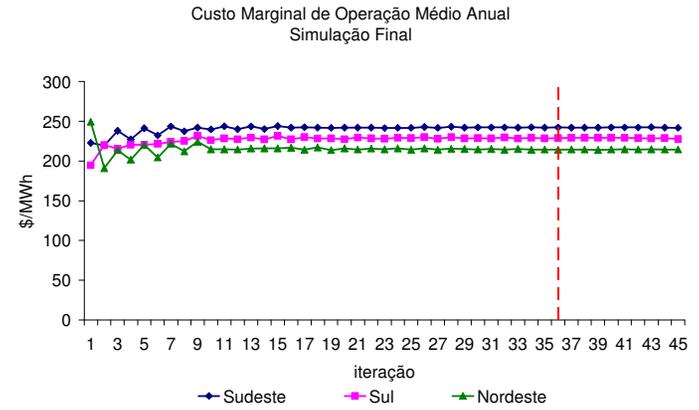
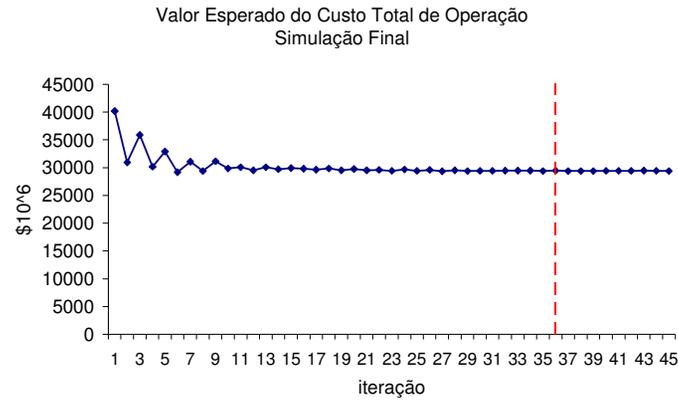
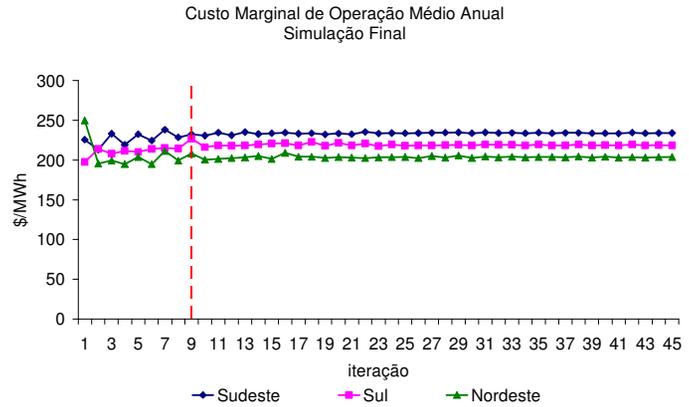
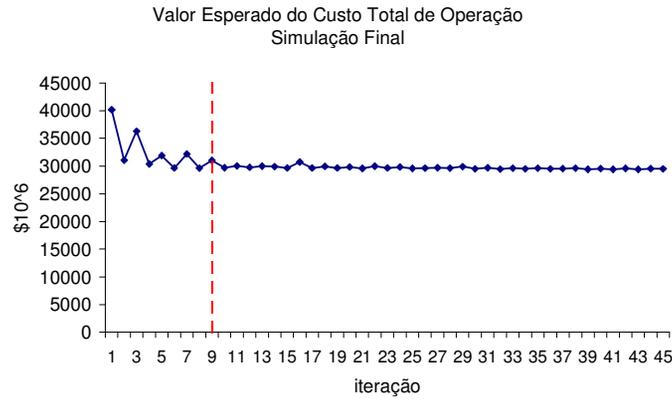
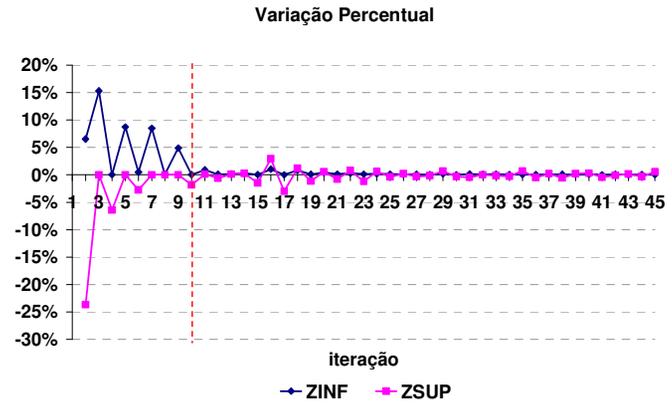
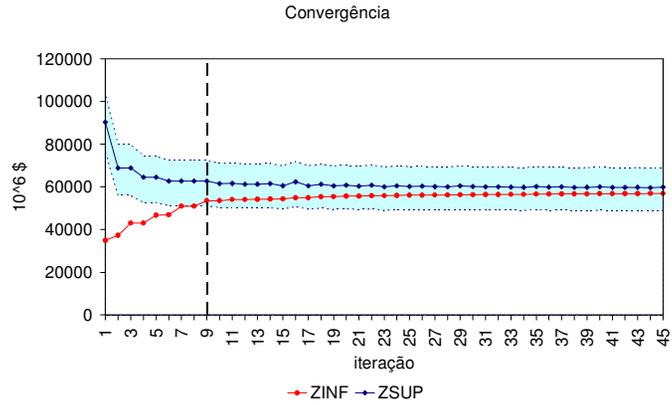


Figura 172: Resultados 45ª iteração – Opção 0

c) Opção 4



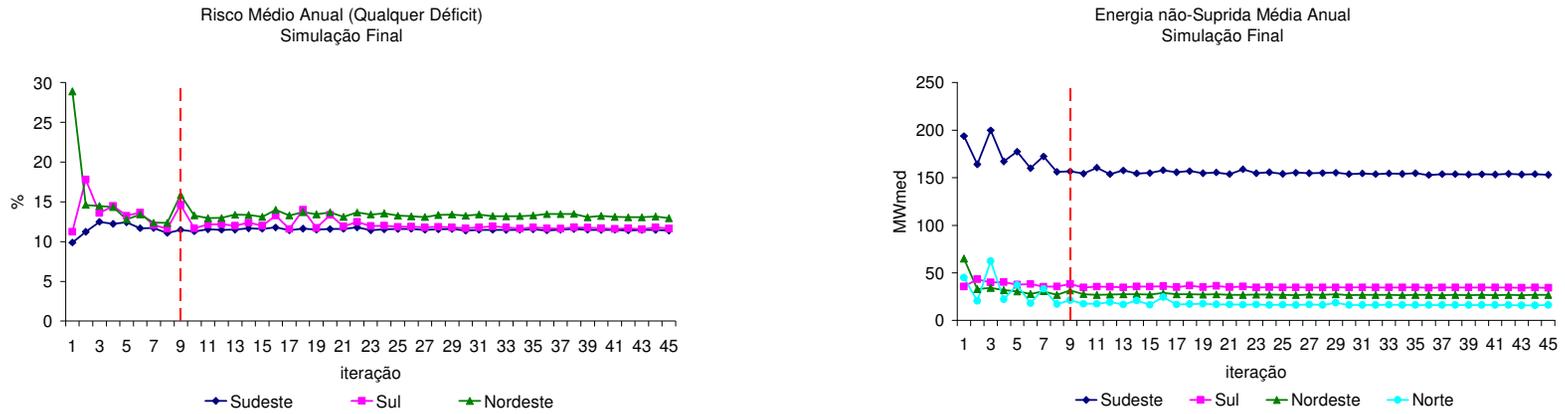
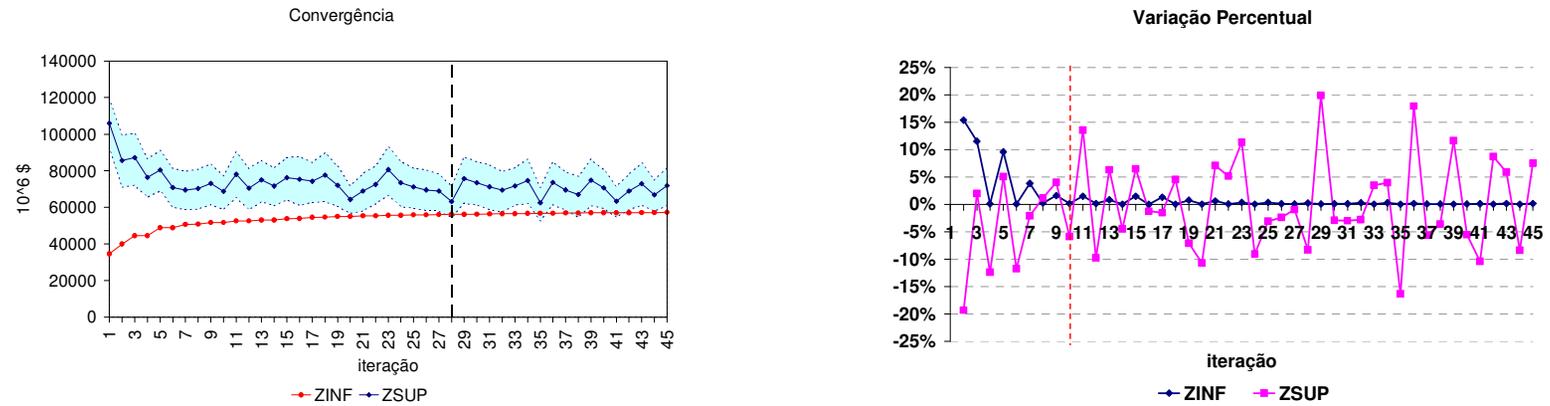


Figura 173: Resultados 45ª iteração – Opção 4

d) Opção 0 com reamostragem



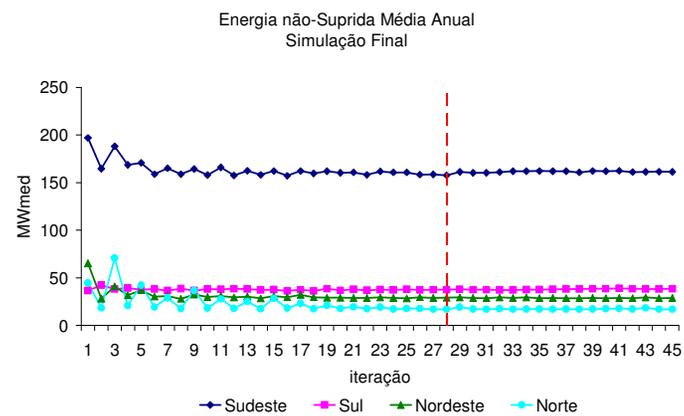
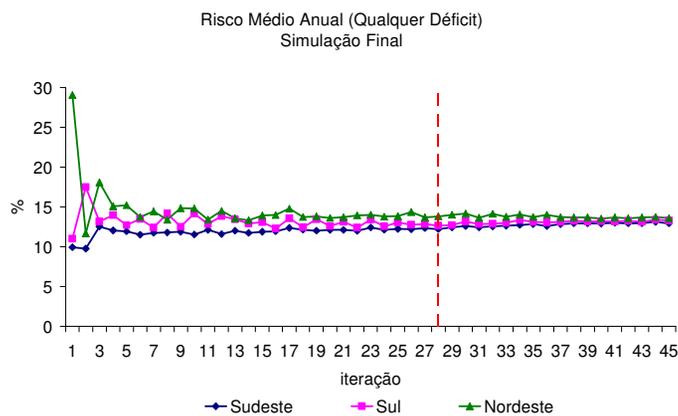
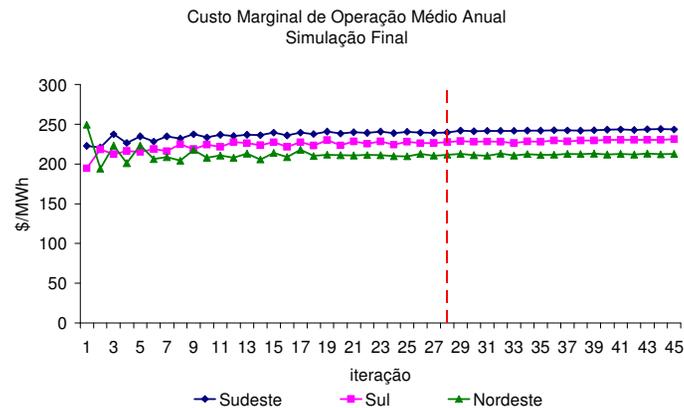
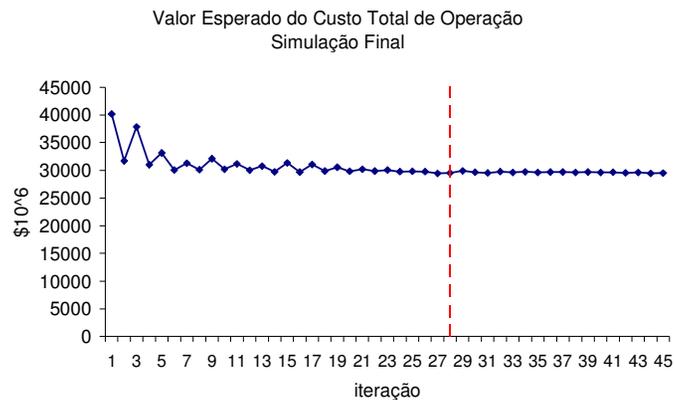
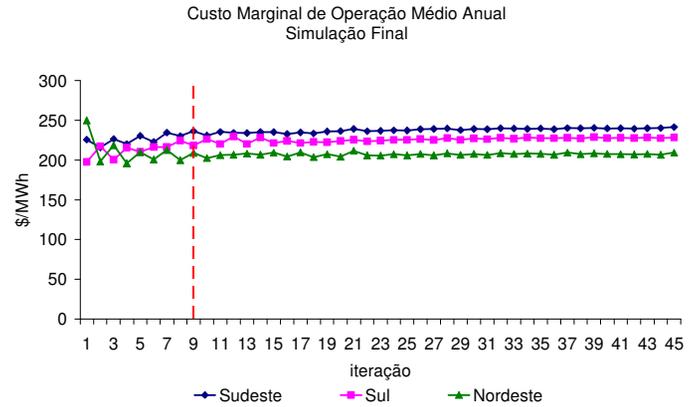
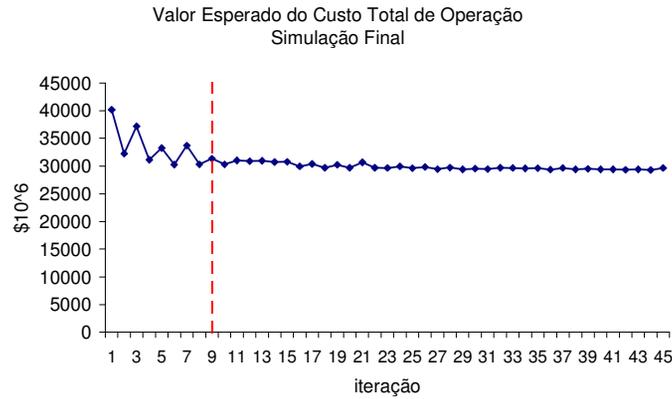
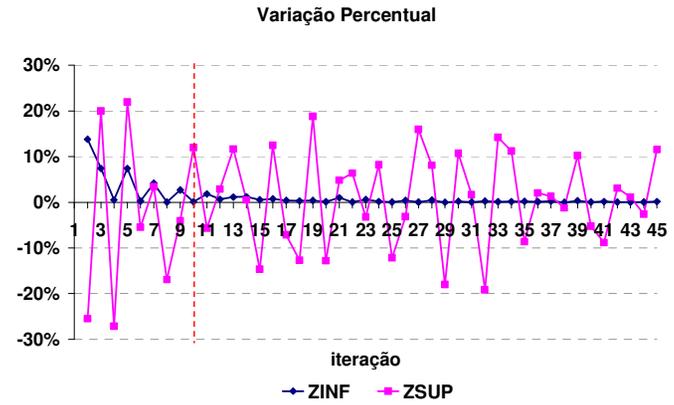
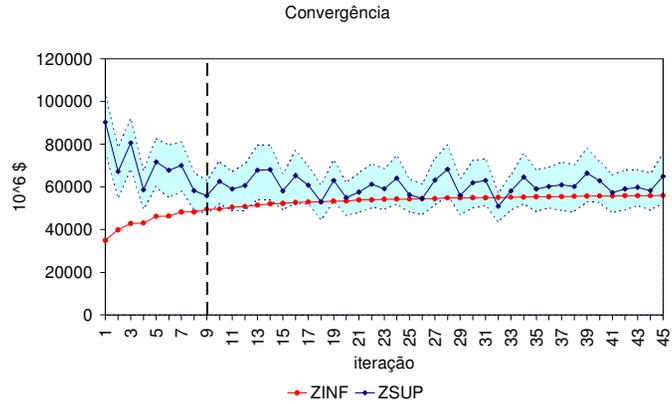


Figura 174: Resultados 45ª iteração – Opção 0 com reamostragem

e) Opção 4 com reamostragem



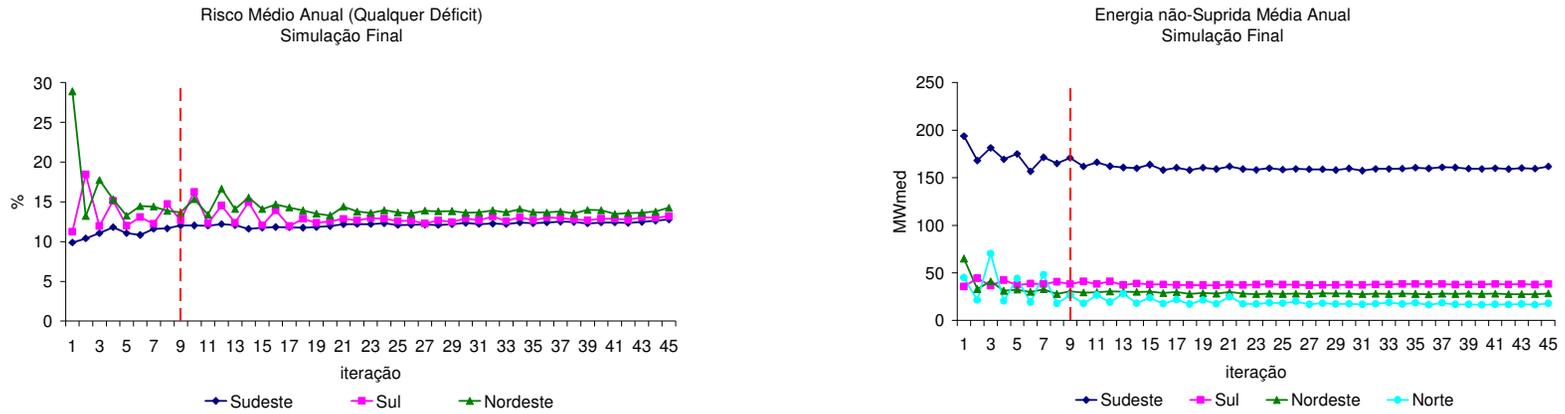


Figura 175: Resultados 45ª iteração – Opção 4 com reamostragem

## **8.10. Resumo**

Neste capítulo foi dado um maior destaque para a opção 4 pois esta apresentou melhores resultados nas análises preliminares. A opção 0 também foi estudada exaustivamente por ser a opção que mais se aproxima da opção Atual.

O aumento do tamanho da amostra backward tem um impacto significativo no tempo computacional de resolução do problema de planejamento da operação. Contudo não é possível usar uma amostra de tamanho muito reduzido, pois é necessário representar de forma adequada o processo estocástico do problema. Nas opções que utilizam as técnicas de agregação para geração da amostra backward, é possível conseguir resultados tão bons utilizando uma amostra de tamanho reduzido, quanto aqueles obtidos com amostras maiores.

As opções que utilizam técnicas de agregação apresentaram menor variação nos resultados se comparadas com a opção Atual, com relação às diversas sensibilidades efetuadas neste capítulo. Em geral, a aplicação do processo de reamostragem resultou em uma redução do custo total de operação durante o cálculo da política ótima de operação.

Os casos que utilizam os métodos de amostragem LHC e AD apresentaram um valor de ZSUP bem maior do que o observado com o método AAS. Isto pode estar associado ao fato de estes métodos não reproduzirem a correlação cruzada da mesma forma nos cenários forward e backward.

No próximo capítulo será apresentada uma retrospectiva das principais contribuições deste trabalho e serão indicadas sugestões para trabalhos futuros.