

4

Estudo de Caso

4.1

Introdução

Conforme descrito no Capítulo 3, a modelagem proposta permite que existam diversos indicadores de desempenho para um mesmo cromossomo. A escolha deste indicador irá interferir diretamente no perfil de planejamento que se deseja obter, e pode ser responsável pela satisfação ou frustração com a solução obtida. A Seção 4.2, a seguir, apresenta estudos baseados no Programa Mensal de Operação (PMO) elaborado pelo ONS para Janeiro de 2008, usando diversos critérios de otimização.

4.2

Estudo de Caso: PMO 01/2008

Esse estudo de caso foi baseado no PMO de Janeiro de 2008, disponível no site da Câmara de Comercialização de Energia – CCEE. Algumas adaptações foram realizadas no caso oficial. Todas as expansões, tais como entrada de novas usinas e máquinas, assim como alterações nas características cadastrais das usinas foram desconsideradas. A carga relativa ao primeiro ano do estudo foi considerada nos demais anos, evitando-se assim que houvesse um desequilíbrio entre oferta e demanda no caso. A divisão dos estágios em três patamares de carga também foi desconsiderada, ou seja, o problema foi escrito com um único patamar de carga. Esta simplificação reduz bastante o tamanho do cromossomo, pois não será necessário representar um gene para cada patamar de carga de cada período. No entanto, em aplicações práticas esta simplificação não pode ser realizada.

Este caso foi então processado pelo modelo NEWAVE que, além de imprimir os resultados da otimização, imprime também os parâmetros referentes aos sistemas equivalentes de energia. Para que fosse evitada a implementação de rotinas de leitura dos arquivos de entrada do modelo NEWAVE e do cálculo do sistema equivalente de energia, essas informações impressas pelo NEWAVE são usadas como entrada para o protótipo desenvolvido.

Tabela 4.1: Dados Gerais (Caso 01/2008)

Número de período do caso:	120
Mês inicial do estudo:	1
Número de subsistemas:	4
Número de sistemas fictícios:	1
Taxa de desconto:	0,12

Tabela 4.2: Custos de Déficit por Profundidade de Corte de Carga (Caso 01/2008)

Profundidade	Custo (R\$/MWh)
0 - 5%	944,51
5 - 10%	2037,61
10 - 20%	4257,97
20 - 100%	4838,69

Tabela 4.3: Características dos Sistemas Equivalentes de Energia (Caso 01/2008)

	Sudeste	Sul	Nordeste	Norte
Fator de separação da ENA (p.u.)	0,8944	0,9079	0,9756	1,0
Energia armazenável máxima (MWmês)	192925,6	18470,6	51763,1	16225,5
Energia armazenada inicial (MWmês)	90602,0	12921,3	13352,3	5801,9
Energia de vazão mínima (MWmês)	6300,3	692,7	1474,6	701,2

4.2.1

Características Gerais do Estudo

As Tabelas 4.1, 4.2 e 4.3 mostram as características gerais do estudo, os custos de déficit por profundidade de corte de carga¹ e as características dos subsistemas equivalentes de energia, respectivamente. O “Fator de separação da ENA” mostrado na Tabela 4.3 é o fator que deve ser multiplicado pela energia natural afluyente total (composta da energia natural afluyente controlável e a fio d’água) para obter a energia natural afluyente controlável. A taxa de desconto mostrada é usada para referenciar um valor monetário futuro ao presente, usado no cálculo do valor presente esperado do custo total de operação.

A representação espacial dos subsistemas com as interligações existentes entre eles são apresentadas na Figura 4.1, e as capacidades de intercâmbio

¹O custo de déficit depende da profundidade % da carga não atendida. Usualmente esses custos são divididos em 4 patamares de não atendimento da carga

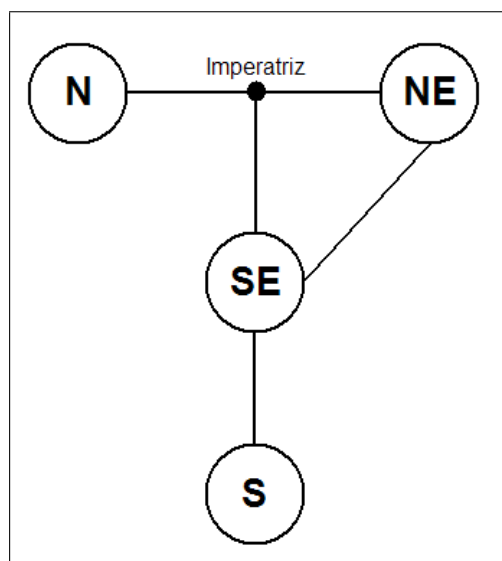


Figura 4.1: Representação espacial do Sistema Interligado Nacional

Tabela 4.4: Capacidades de Intercâmbio entre os Sistemas Equivalentes de Energia (Caso 01/2008)

De	Para	Capacidade (MWmês)
Sudeste	Sul	5479
Sul	Sudeste	5287
Sudeste	Imperatriz	1948
Imperatriz	Sudeste	1442
Nordeste	Imperatriz	1386
Imperatriz	Nordeste	2951
Norte	Imperatriz	3727
Imperatriz	Norte	1700
Sudeste	Nordeste	652
Nordeste	Sudeste	115

destas interligações na Tabela 4.4.

Os mercados totais de energia para cada subsistema, para cada mês do estudo, são mostrados na Tabela 4.5. Estes valores são repetidos em todos os anos considerados na otimização. As gerações de pequenas usinas que não são despachadas centralizadamente são mostradas na Tabela 4.6. As usinas térmicas consideradas no estudo e suas capacidades de gerações máximas e mínimas, assim como o custo variável unitário – CVU de geração, estão na Tabela 4.7.

4.2.2

Descrição dos Testes

Para avaliar o impacto das diferentes abordagens propostas neste trabalho foram realizados testes com as implementações computacionais descritas

Tabela 4.5: Mercado Total de Energia (Caso 01/2008)

Mês	Sudeste	Sul	Nordeste	Norte
Janeiro	32896	8842	7779	3689
Fevereiro	33773	9039	7732	3680
Março	34142	9133	7750	3670
Abril	33526	8741	7681	3670
Maio	32909	8522	7557	3732
Junho	32793	8508	7419	3736
Julho	32833	8448	7437	3707
Agosto	33255	8403	7524	3744
Setembro	33422	8317	7692	3754
Outubro	33528	8363	7867	3741
Novembro	33167	8449	7889	3729
Dezembro	32698	8579	7850	3696

Tabela 4.6: Geração de Pequenas Usinas (Caso 01/2008)

Mês	Sudeste	Sul	Nordeste	Norte
Janeiro	1201	393	124	41
Fevereiro	1211	409	185	50
Março	1173	436	165	47
Abril	1129	496	150	44
Maio	1466	550	162	35
Junho	1575	577	172	33
Julho	1612	601	188	31
Agosto	1586	630	213	28
Setembro	1616	660	263	27
Outubro	1682	671	344	28
Novembro	1748	641	372	35
Dezembro	1599	555	352	34

Tabela 4.7: Características das Usinas Térmicas (Caso 01/2008)

Código	Nome	Subsistema	Custo (R\$/MWh)	GTmax (MWmês)	GTmin (MWmês)
1	ANGRA 1	SE	20,98	637,29	0
13	ANGRA 2	SE	16,26	1309,50	1080
7	CARIOBA	SE	937,00	28,80	0
104	COCAL	SE	120,83	27,64	0
12	CUIABA G CC	SE	6,27	475,02	0
153	DAIA	SE	536,97	36,55	0
187	EBOLT_L	SE	161,34	373,63	0
188	EBOLT_T	SE	139,24	374,17	0
189	EBOLT_TC	SE	139,23	374,17	0
63	IBIRITERMO	SE	188,89	212,25	0
2	IGARAPE	SE	471,77	119,92	0
54	JUIZ DE FORA	SE	150,00	81,90	0
178	MACAE_L	SE	281,27	872,52	0
179	MACAE_TC	SE	253,83	885,97	0
171	NORTEFLU-1	SE	10,50	400,00	399,99
172	NORTEFLU-2	SE	42,60	90,66	0
173	NORTEFLU-3	SE	74,40	181,32	0
174	NORTEFLU-4	SE	108,00	153,16	0
72	NOVA PIRAT	SE	317,98	348,40	0
105	PIE-RP	SE	131,34	27,30	0
6	PIRATINING34	SE	470,34	238,47	0
4	ST.CRUZ 34	SE	310,41	363,28	0
197	T LAGOAS_L	SE	108,80	247,87	0
198	T LAGOAS_T	SE	130,55	246,54	0
75	TERMORIO_L	SE	121,91	1019,43	0
77	TERMORIO_TC	SE	214,48	1026,16	0
19	UTE BRASILIA	SE	1047,38	8,00	0
196	UTE SOL	SE	0,01	189,05	0
108	XAVANTES	SE	778,58	51,82	0
31	ALEGRETE	S	546,40	56,16	0
48	ARAUCARIA	S	219,00	458,19	0
64	CANOAS	S	541,93	147,13	0
29	CHARQUEADAS	S	135,83	63,36	0
28	FIGUEIRA	S	206,39	15,94	0

Tabela 4.7 – continuação

Código	Nome	Subsistema	Custo (R\$/MWh)	GTmax (MWmês)	GTmin (MWmês)
26	J.LACERDA A1	S	162,44	85,00	0
27	J.LACERDA A2	S	123,06	120,78	0
25	J.LACERDA B	S	123,00	243,66	0
24	J.LACERDA C	S	100,25	337,59	0
30	NUTEPA	S	653,00	19,95	0
22	P.MEDICI A	S	116,00	83,31	0
23	P.MEDICI B	S	116,00	233,6	0
32	S.JERONIMO	S	249,00	18,05	5
35	URUGUAIANA	S	76,75	574,28	0
109	ALTOS	NE	493,17	12,84	0
111	ARACATI	NE	493,17	11,27	0
113	BATURITE	NE	493,17	11,27	0
117	CAMPO MAIOR	NE	493,17	12,84	0
119	CAUCAIA	NE	493,17	14,50	0
175	CEARA_L	NE	177,45	237,66	0
177	CEARA_TC	NE	492,29	230,45	0
121	CRATO	NE	493,17	12,84	0
125	ENGUIA PECÉM	NE	493,17	14,50	0
74	FAFEN	NE	105,78	125,45	0
42	FORTALEZA	NE	86,48	326,74	0
127	IGUATU	NE	493,17	14,50	0
131	JAGUARARI	NE	493,17	99,47	0
133	JUAZEIRO N	NE	493,17	14,50	0
135	MARAMBAIA	NE	493,17	12,84	0
138	NAZARIA	NE	493,17	12,84	0
43	TERMOBAHIA	NE	100,95	98,21	0
96	TERMOPE	NE	70,16	493,52	0

na Seção 3.5. O modelo NEWAVE, usado atualmente para o planejamento da operação, também foi executado para possibilitar a comparação com a modelagem proposta. Os testes realizados foram:

- *NEWAVE*: execução do caso com o modelo NEWAVE, versão 13a.
- *Minimização do valor esperado do custo total de operação*: otimização mono-critério utilizando a implementação descrita na Seção 3.5.1.

- *Multicritério – Riscos de Déficit = 5%*: otimização multicritério utilizando a versão descrita na Seção 3.5.2, com a meta para os riscos anuais de déficit de 5%.
- *Multicritério – MinE[Custo Total] e Riscos = 5%*: otimização multicritério utilizando a versão descrita na Seção 3.5.3, com a meta para os riscos anuais de déficit de 5% e considerando a minimização do valor esperado do custo total real de operação (desconsidera o custo do déficit).
- *Multicritério – Riscos de Déficit < 5% TxDesc*: otimização multicritério utilizando a versão descrita na Seção 3.5.4, com a meta para os máximos riscos anuais de déficit de 5% e considerando um fator de 12% para referenciar os riscos futuros ao presente.
- *Multicritério – MinE[Custo Total] e Riscos < 5% Txdesc*: otimização multicritério utilizando a versão descrita na Seção 3.5.5, com a meta para os riscos anuais de déficit menores do que 5%, considerando a minimização do valor esperado do custo total real de operação e considerando um fator de 12% para referenciar os riscos futuros ao presente.
- *Multicritério – MinE[Custo Total] e Riscos = 0% Txdesc*: otimização multicritério utilizando a versão descrita na Seção 3.5.5, com a meta para os riscos anuais de déficit de 0%, considerando a minimização do valor esperado do custo total real de operação e considerando um fator de 12% para referenciar os riscos futuros ao presente.

Os estudos mostrados neste trabalho consideraram 800 indivíduos em uma população única, e foram realizados três experimentos com 1000 gerações cada. A cada novo experimento se utilizou os 10% melhores indivíduos obtidos no experimento anterior. O tempo médio de execução destes casos foi de 6 dias em um Pentium IV @ 3GHz com 1Gb de memória RAM.

As taxas iniciais e finais de crossover consideradas foram 0.80 e 0.65, respectivamente, e o operador de crossover utilizado foi o crossover aritmético. As taxas iniciais e finais de mutação foram 0.08 e 0.30, o que garante a introdução de maior diversidade nas gerações finais. Os operadores de mutação usados foram o uniforme e o não-uniforme.

As Figuras 4.2 e 4.3 mostram a evolução dos GAs para os casos “Minimização do valor esperado do custo total de operação” e “Multicritério – Riscos de Déficit = 5%”. Devido à grande dimensão do espaço de busca do problema, que possui 480 genes reais, a evolução é lenta, como mostram as Figuras 4.2 e 4.3. No segundo caso há uma estabilização do valor da avaliação, o que parece indicar uma convergência do GA. No entanto, nas gerações finais o algoritmo apresenta uma evolução significativa. Devido ao tamanho do espaço de busca,

há uma possibilidade real de evolução, mas seriam necessárias mudanças nos parâmetros do GA, tais como tamanho da população e número de gerações, o que certamente aumentaria muito o tempo computacional.

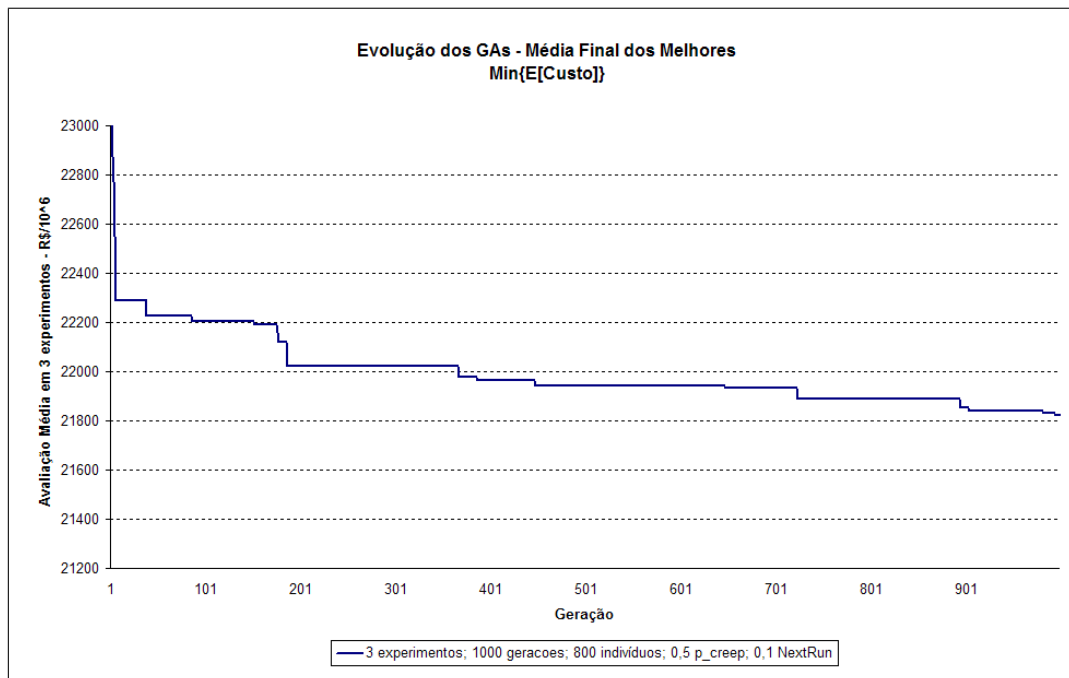


Figura 4.2: Caso 01/2008 – Evolução do GA – $\text{Min}\{E[\text{Custo}]\}$

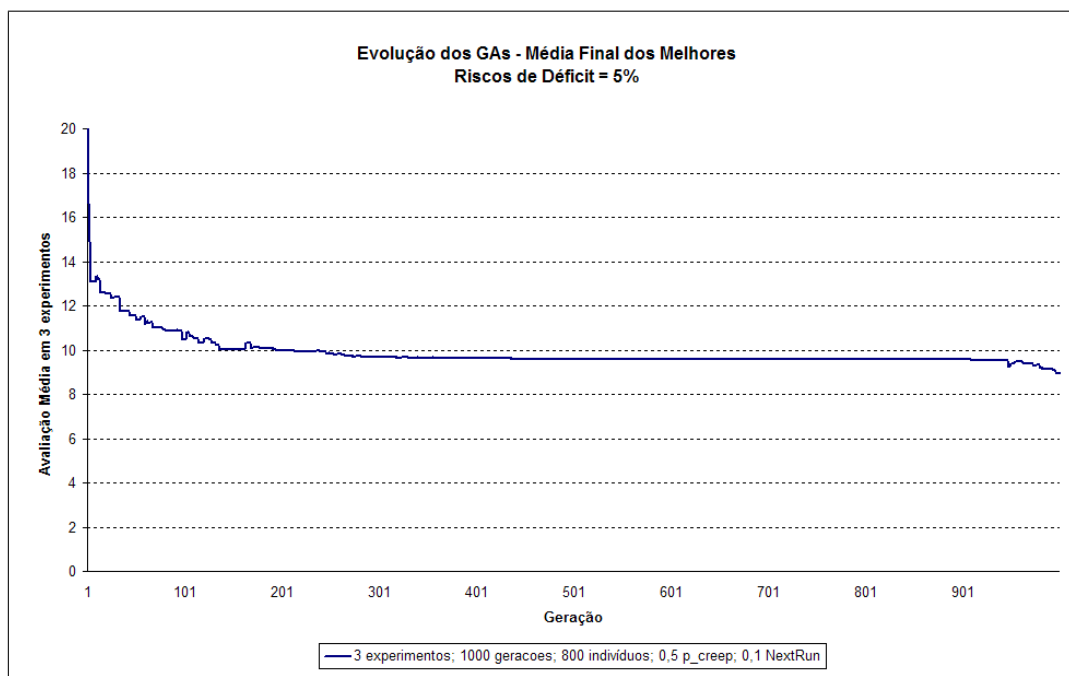


Figura 4.3: Caso 01/2008 – Evolução do GA – Metas de Riscos de Déficit = 5%

Os cromossomos obtidos como resultado após a otimização para 200 cenários foram posteriormente submetidos a um novo conjunto de 2000 séries.

Os resultados obtidos serão mostrados nas próximas seções.

Resultados da Otimização – 200 Cenários

O valor esperado dos custos totais de operação e a estimativa do desvio padrão deste valor esperado para os casos estudados são mostrados na Figura 4.4. Os valores apresentados são referentes ao período de estudo apenas, não considerando os 5 anos adicionais de pós-estudo. Para a otimização o modelo NEWAVE imprime esses valores apenas para o estudo completo e por esta razão não é mostrado no gráfico.

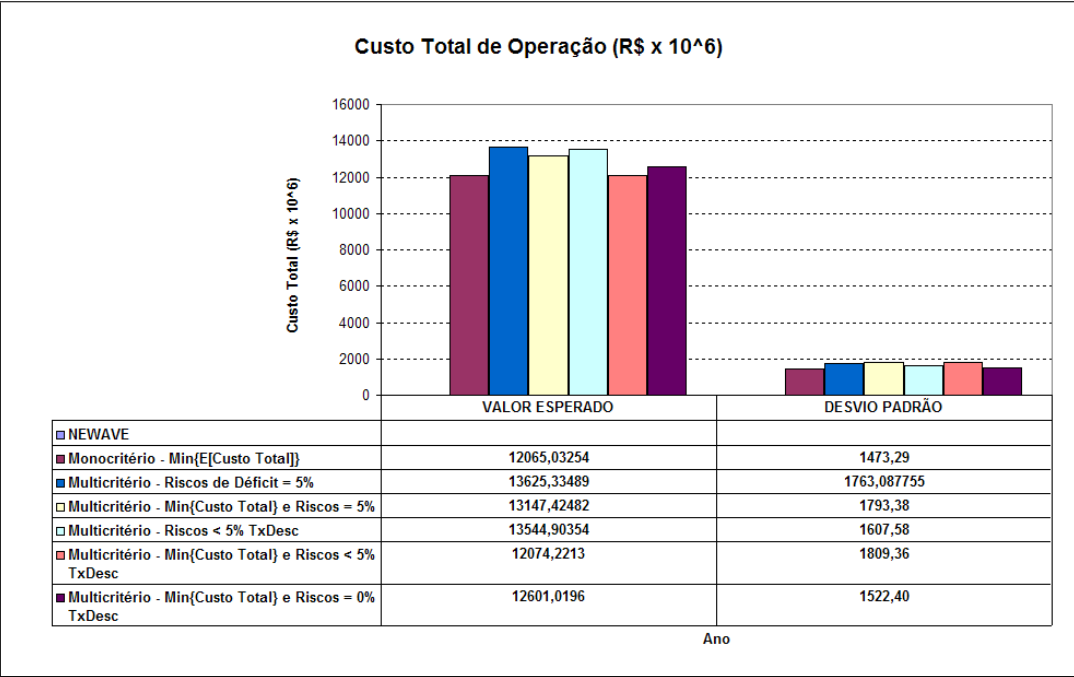


Figura 4.4: Caso 01/2008 – Valor esperado dos custos totais de operação – 200 séries

Os resultados da Figura 4.4 confirmam a expectativa de que, na versão na qual o valor esperado do custo total de operação foi considerado como único objetivo da otimização, o custo total de operação deve ser menor do que nas demais versões. Ao considerar apenas metas de 5% para os riscos anuais de déficit, por sua vez, o custo total de operação se elevou em relação aos demais casos. Mantendo-se as metas de 5% para os riscos anuais de déficit e agregando a estes objetivos a minimização do valor esperado do custo total de operação, houve uma redução do custo total em relação ao caso anterior, conforme esperado. Ao se considerar os níveis máximos de déficit de 5%, o que se verificou é que o custo total de operação não foi distinto do caso “Riscos de Déficit = 5%”, já que ambos desconsideram o critério econômico. Os dois últimos casos, que consideram o critério econômico conjuntamente ao

de segurança, obtiveram custos totais de operação bastante semelhantes ao caso no qual apenas o critério econômico foi considerado.

A fim de observar com maiores detalhes o impacto de diferentes abordagens na solução do problema, serão comparados os riscos anuais de déficit de cada um dos casos estudados.

As Figuras 4.5, 4.6, 4.7 e 4.8 mostram os riscos anuais de déficit para todos os casos estudados.

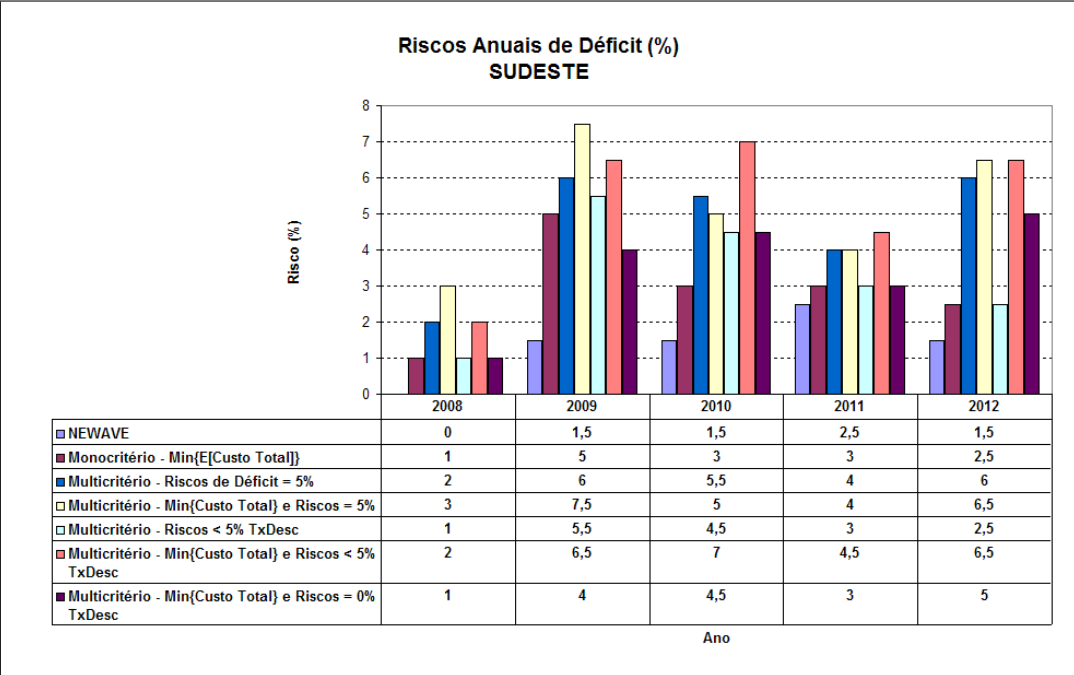


Figura 4.5: Caso 01/2008 – Riscos anuais de déficit – Sudeste – 200 séries

Na versão mono-critério, os riscos não são considerados explicitamente na otimização, de modo que são apenas consequências da política de operação que objetiva a minimização dos custos. Nos gráficos é possível constatar que a solução obtida não possui um comportamento previsível em relação aos riscos, uma vez que os mesmos se apresentaram mais baixos nos subsistemas SE e S, enquanto os riscos nos subsistemas NE e N são mais elevados.

Ao se considerar explicitamente uma meta para os riscos anuais de déficit, por exemplo 5%, soluções como a obtida pela versão mono-critério são consideradas ruins, uma vez que em alguns subsistemas os riscos são muito maiores que o valor meta, enquanto em outros, menores do que o valor meta. A abordagem na qual os riscos são considerados explicitamente valoriza soluções nas quais há uma equalização dos riscos entre os subsistemas, ou seja, nos subsistemas nos quais os riscos de déficit foram inferiores ao valor meta deverá haver um aumento dos riscos, enquanto que nos casos nos quais os riscos foram superiores deverá haver uma redução dos riscos para valores mais

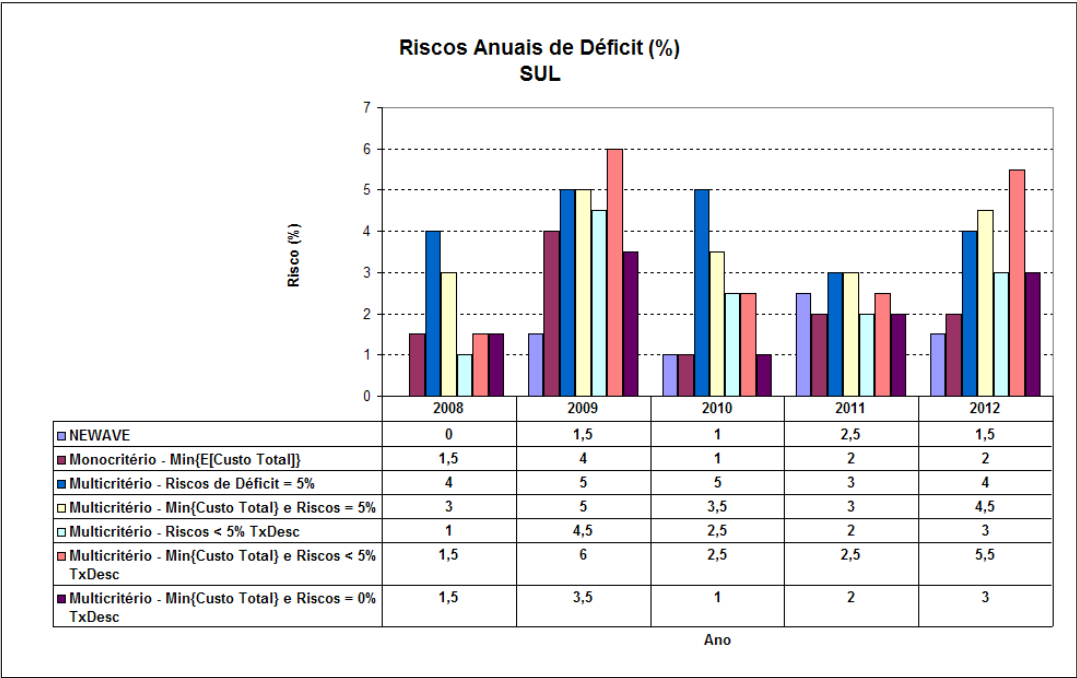


Figura 4.6: Caso 01/2008 – Riscos anuais de déficit – Sul – 200 séries

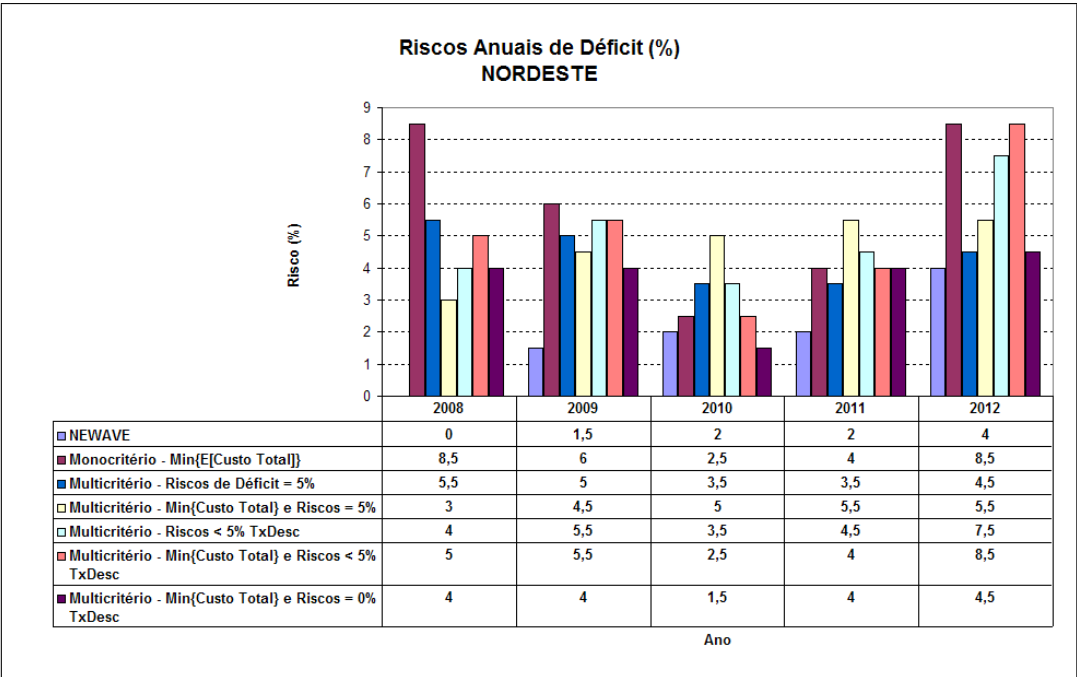


Figura 4.7: Caso 01/2008 – Riscos anuais de déficit – Nordeste – 200 séries

próximos à meta. Este comportamento esperado de fato é observado no caso “Multicritério – Riscos de Déficit = 5%”, pois os riscos dos subsistemas SE e S aumentaram, enquanto houve uma redução para valores próximos a 5% nos riscos dos subsistemas NE e N. Assim, os riscos obtidos ao final da otimização tenderam a se aproximar do valor meta, trazendo um aumento de estabilidade nos riscos em relação à otimização mono-critério.

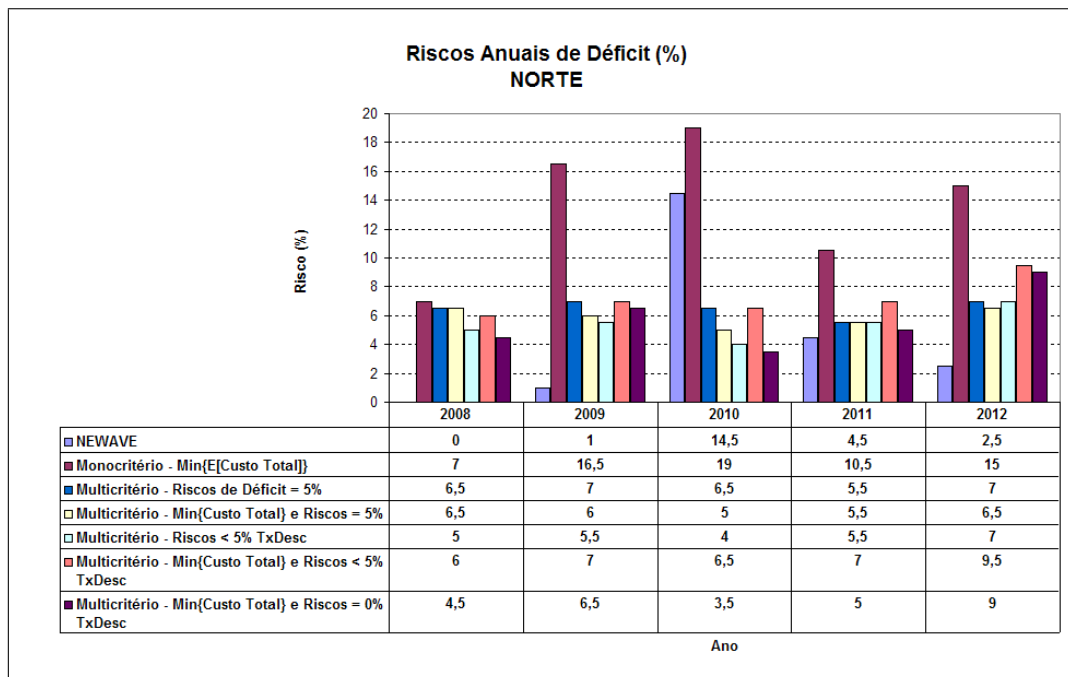


Figura 4.8: Caso 01/2008 – Riscos anuais de déficit – Norte – 200 séries

Ao considerarmos o caso “Multicritério – MinE[Custo Total] e Riscos = 5%”, no qual o critério econômico foi otimizado conjuntamente ao critério de segurança, espera-se que a solução final tenha características mistas das duas soluções anteriores. Conforme mostrado na Figura 4.4, o custo total de operação foi inferior ao caso “Multicritério – Riscos de Déficit = 5%”, mas superior ao da otimização mono-critério. Este comportamento era esperado, assim como a maior estabilidade e equalização dos riscos, que são características da consideração dos riscos diretamente na otimização.

O caso denominado “Multicritério – Riscos de Déficit < 5% TxDesc” incorporou a diferenciação entre riscos de déficit menores do que o valor meta (que não são penalizados), e maiores que o valor meta (que são penalizados). Além disso, foi incorporado ainda a diferenciação entre os riscos de déficit em diferente anos do estudo. Os resultados obtidos para os riscos de déficit mostram que para os subsistemas SE e S os riscos de déficit não aumentaram em relação ao caso mono-critério, contrariamente ao ocorrido nos casos “Multicritério – Riscos de Déficit = 5%” e “Multicritério – MinE[Custo Total] e Riscos = 5%”, o que pode ser atribuído à não penalização dos riscos menores do que 5%.

Ao agregar ao caso anterior o critério econômico, tem-se o caso “Multicritério – MinE[Custo Total] e Riscos < 5% Txdesc”. O baixo custo total de operação obtido para este caso, praticamente semelhante ao caso mono-critério, poderia indicar uma política de operação próxima ao caso mono-critério. No en-

tanto, como os riscos foram considerados, houve uma pressão para diminuição dos riscos elevados obtidos no subsistema Norte para o caso mono-critério. Os riscos obtidos para o subsistema Norte de fato foram reduzidos a valores muito próximos a 5%, com exceção do último ano, no qual foi de 9,5%. Obviamente, como foi considerado o fator para referenciar os riscos ao primeiro ano, a penalização aplicada a este desvio foi menor do que se este desvio ocorresse no primeiro ano do estudo. No subsistema Nordeste este comportamento se repetiu. Já nos subsistemas Sudeste e Sul, os riscos estão mais próximos de 5%, embora no Sudeste sejam observados riscos maiores do que nos demais casos, mas não muito acima de 5%.

Em relação ao caso “Multicritério – $\text{MinE}[\text{Custo Total}]$ e $\text{Riscos} = 0\% \text{Txdesc}$ ”, é esperado também um comportamento misto, no qual o custo total seja inferior ao caso “Multicritério – $\text{Riscos de Déficit} = 5\%$ ”, e superior ao caso mono-critério. Além disso, os riscos de déficit devem ser mais equânimes do que no caso mono-critério, e em geral inferiores aos obtidos quando se considera uma valor meta superior a zero, como nos casos anteriores. Esta tendência é confirmada pelos resultados apresentados. Uma característica da modelagem deste caso é a consideração de um fator que pondera os riscos de acordo com o ano no qual ocorreu, reduzindo assim a importância dos riscos nos anos finais do estudo. Consequentemente, nesse tipo de abordagem riscos mais altos nos anos finais do estudo são mais tolerados do que quando não se considera esse fator de desconto para os riscos.

A fim de ilustrar de forma mais detalhada como diferentes critérios de otimização influenciam a política de operação, serão comparados os resultados de dois casos, a saber “Minimização do valor esperado do custo total de operação” e “Multicritério – $\text{Riscos de Déficit} = 5\%$ ” para uma série dentre as 200 otimizadas. Esta série (série 190), representa uma situação na qual o custo total de operação da série foi menor no caso monocritério do que no segundo caso.

Para a série 190, o custo total de operação do caso mono-critério foi de R\$ 10.437.280.770,54, enquanto no caso “Multicritério – $\text{Riscos de Déficit} = 5\%$ ” o custo foi de R\$ 24.576.595.958,67. A partir dos resultados de riscos de déficit já apresentados, observa-se que os subsistemas SE e S têm riscos em geral inferiores a 5% no caso mono-critério. Desta forma, como se deseja que os desvios em relação à meta de 5% sejam minimizados, soluções cujos riscos anuais de déficit nestes subsistemas sejam maiores que no caso mono-critério serão mais valorizadas, tendendo a perpetuar no processo evolutivo. Logo, é esperado que nos subsistemas SE e S ocorram déficits no caso “Multicritério – $\text{Riscos de Déficit} = 5\%$ ” que não ocorreram no caso mono-critério, de modo

que os riscos anuais sejam mais próximos ao valor meta. Esse comportamento é observado nas Figuras 4.10 e 4.12, onde é possível observar, por exemplo, a existência de déficits no último ano do estudo, enquanto que no caso mono-critério (Figuras 4.9 e 4.11) esses déficits não ocorrem. A política de operação obtida pelo AG baseia-se em metas de geração hidráulicas inferiores para o caso “Multicritério – Riscos de Déficit = 5%”, como pode ser observado comparando as gerações hidráulicas dos dois casos.

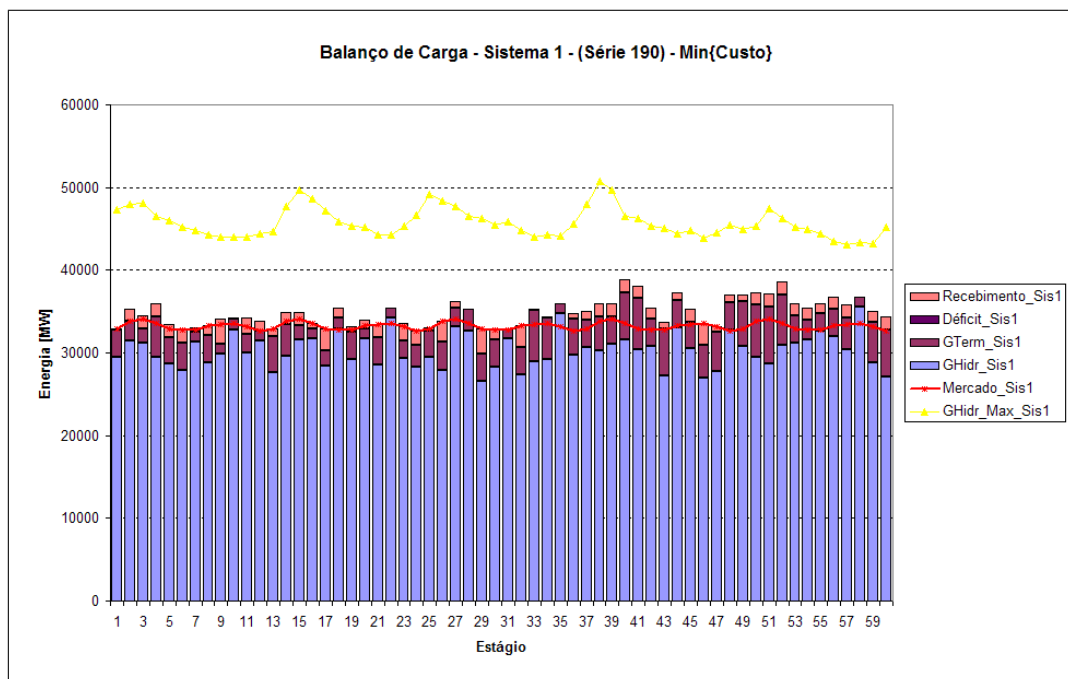


Figura 4.9: Caso 01/2008 – Balanço de Carga (série 190) – Sudeste – *Minimização do valor esperado do custo total de operação*

Nos subsistemas Nordeste e Norte, por sua vez, ocorreram altos riscos de déficit no caso mono-critério, em geral superiores a 5%. Logo, o comportamento esperado é a redução dos riscos de déficit desses subsistemas para valores mais próximos a 5%. Observando os resultados para o Norte, nas Figuras 4.15 e 4.16, constata-se que um déficit ocorrido no terceiro ano de estudo do caso mono-critério não ocorreu no caso “Multicritério – Riscos de Déficit = 5%”, fato que reforça o raciocínio anterior.

A diferença de custos entre as duas abordagens para esta mesma série se justifica pelo fato da ocorrência de déficits no Sudeste e Sul no caso “Multicritério – Riscos de Déficit = 5%”, o que ocasionou um aumento excessivo nos custos de operação desta série.

Estes comportamentos observados mostram que a política de operação obtida com os dois critérios de otimização são distintas, e reforçam as expectativas iniciais em relação aos perfis de solução que seriam obtidos a partir de cada um dos critérios.

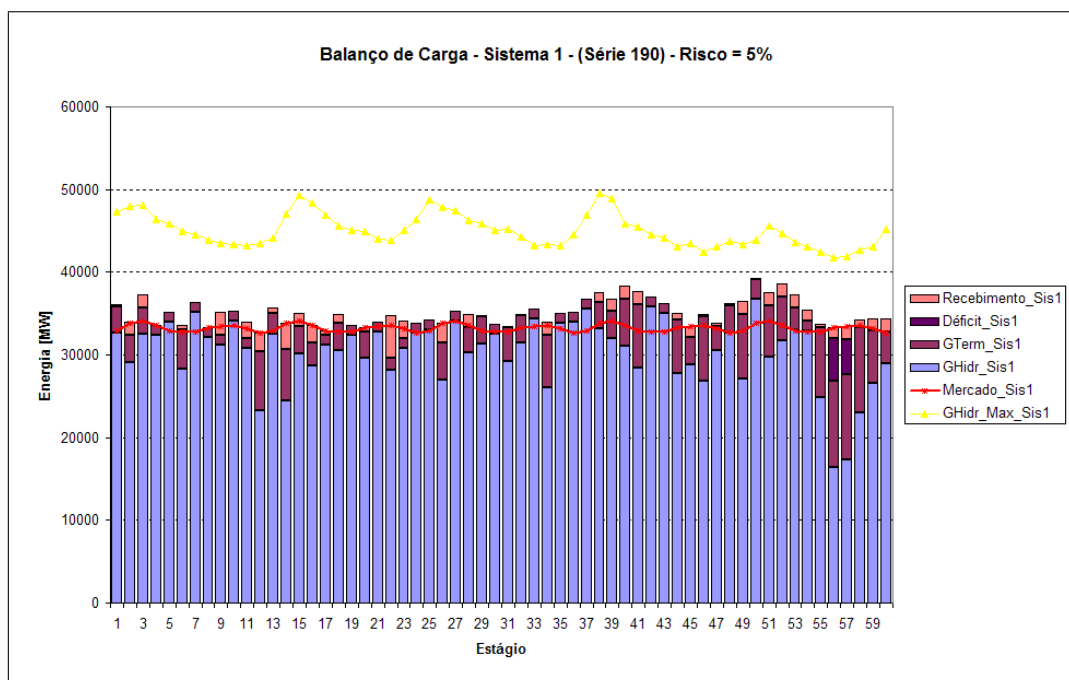


Figura 4.10: Caso 01/2008 – Balanço de Carga (série 190) – Sudeste – Multicritério – Riscos de Déficit = 5%

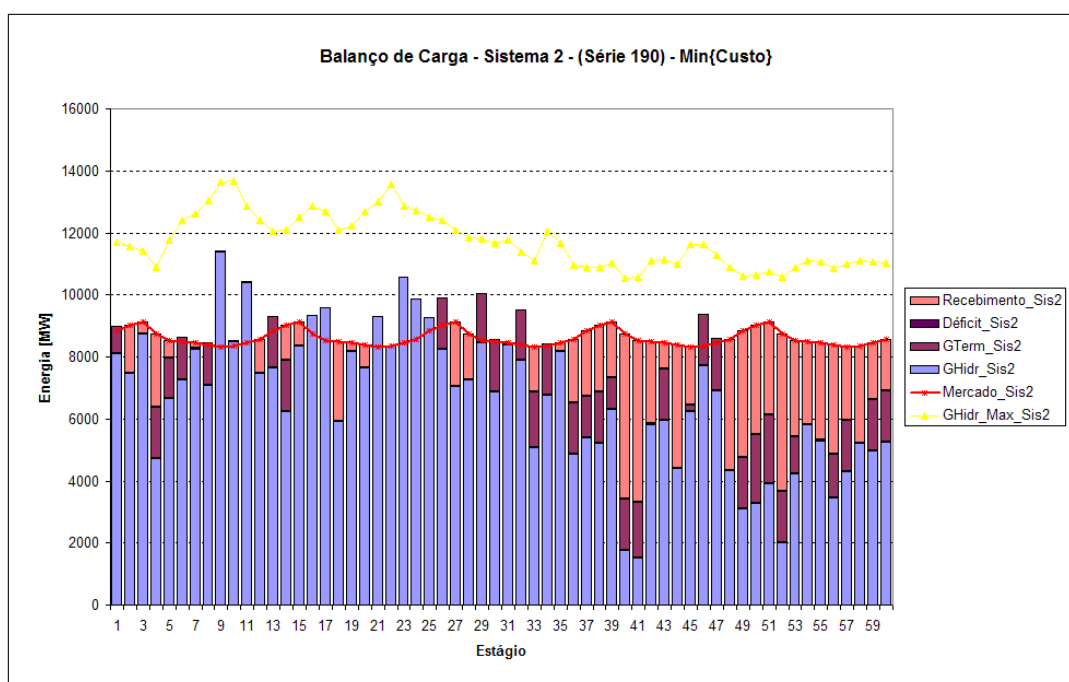


Figura 4.11: Caso 01/2008 – Balanço de Carga (série 190) – Sul – Minimização do valor esperado do custo total de operação

Resultados com 2000 Cenários – Simulação Final

Uma política de operação calculada para um conjunto de cenários pode ser avaliada usando um segundo conjunto de cenários. Este tipo de avaliação é interessante quando se deseja obter estatísticas, tais como os riscos de déficit,

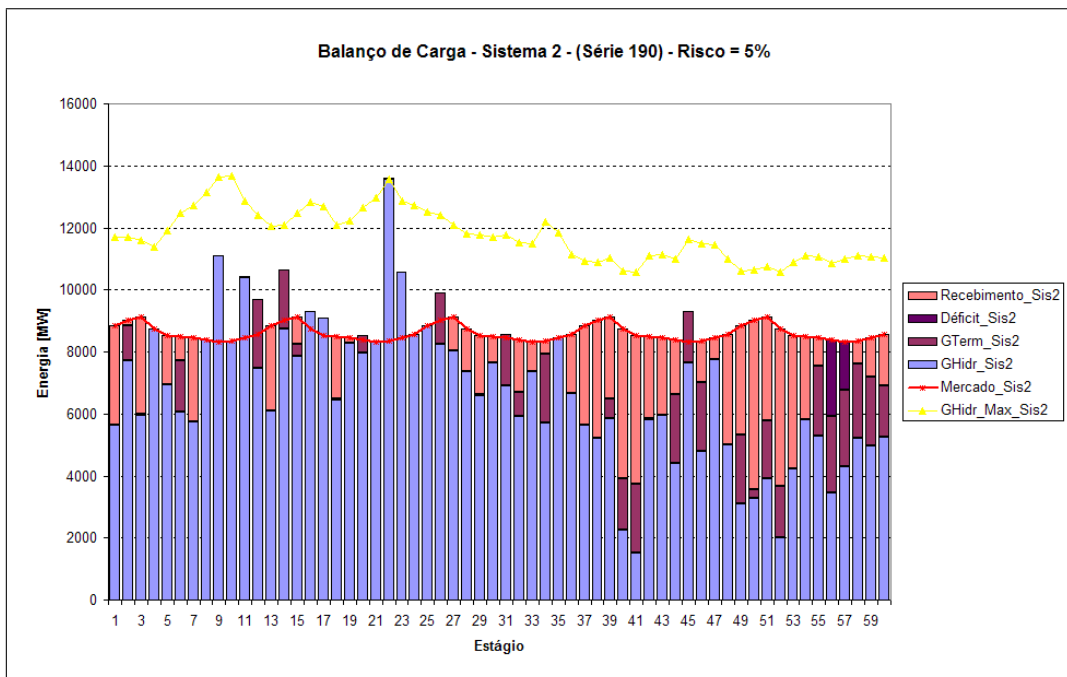


Figura 4.12: Caso 01/2008 – Balanço de Carga (série 190) – Sul – *Multicritério* – *Riscos de Déficit = 5%*

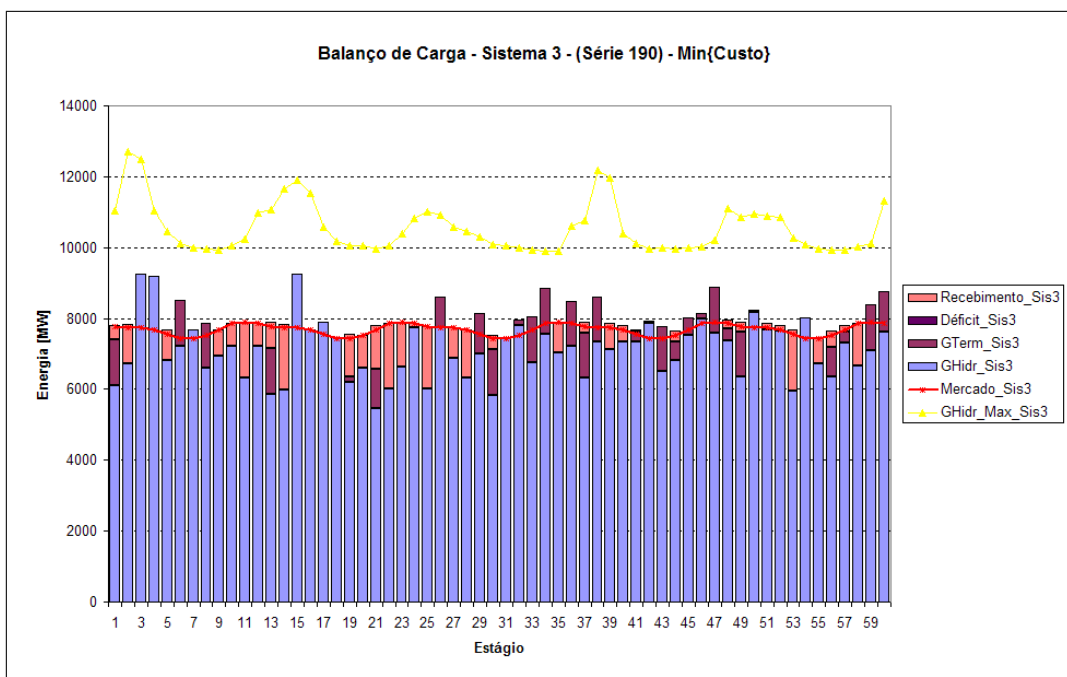


Figura 4.13: Caso 01/2008 – Balanço de Carga (série 190) – Nordeste – *Minimização do valor esperado do custo total de operação*

além de permitir verificar a robustez da estratégia. No entanto, os conjuntos de cenários utilizados devem ser compatíveis, ou seja, devem ser representativos dos mesmos fenômenos estatísticos. Em relação à tomada de decisão, como esta deve ser realizada para o primeiro estágio apenas, e este deve ser determinístico, o uso de um segundo conjunto de cenários não é necessário.

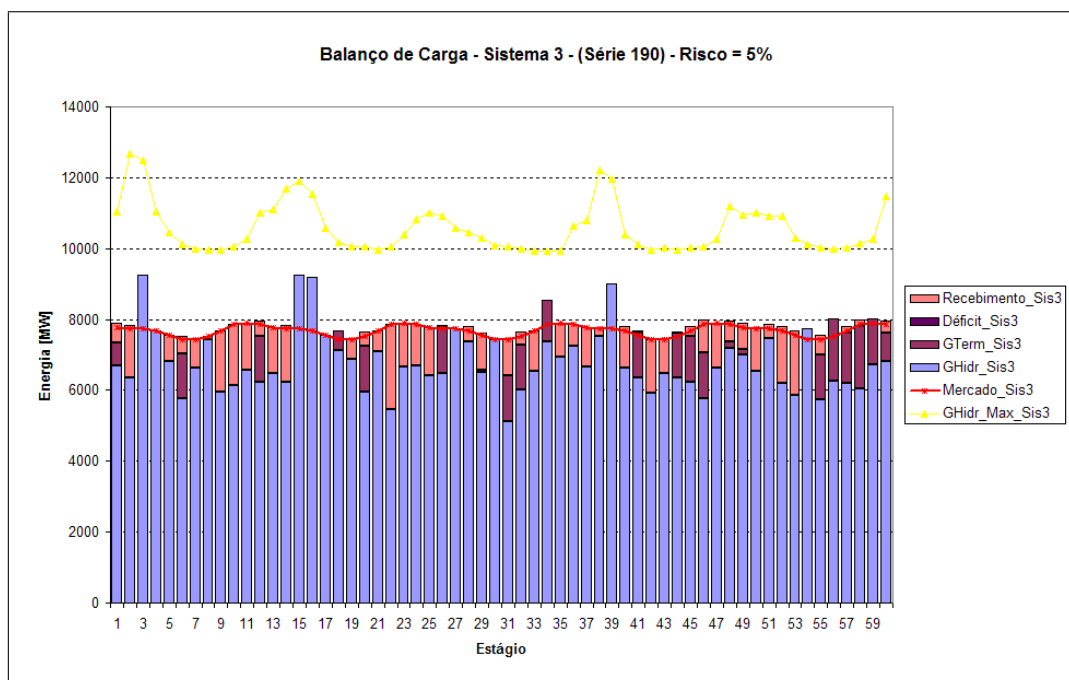


Figura 4.14: Caso 01/2008 – Balanço de Carga (série 190) – Nordeste – Multicritério – Riscos de Déficit = 5%

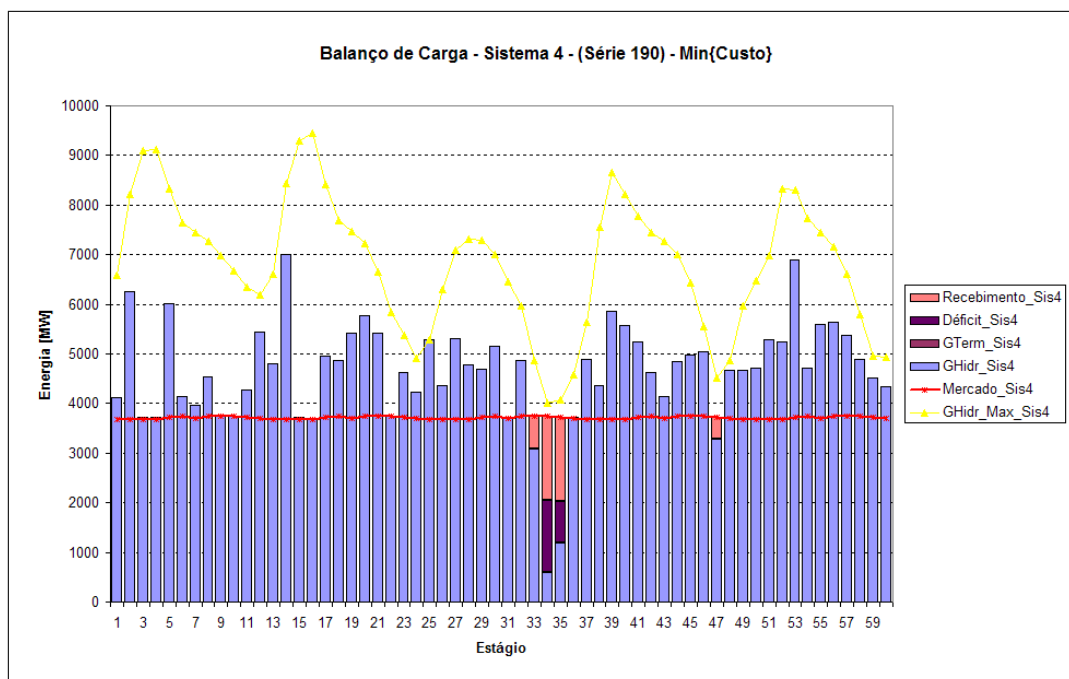


Figura 4.15: Caso 01/2008 – Balanço de Carga (série 190) – Norte – Minimização do valor esperado do custo total de operação

Os resultados de valor esperado dos custos totais de operação e a estimativa do desvio padrão para os 2000 cenários usados pelo NEWAVE na simulação final estão na Figura 4.17.

Nas Figuras 4.18, 4.19, 4.20 e 4.21 estão os riscos anuais de déficit para todos os testes realizados com este conjunto de séries.

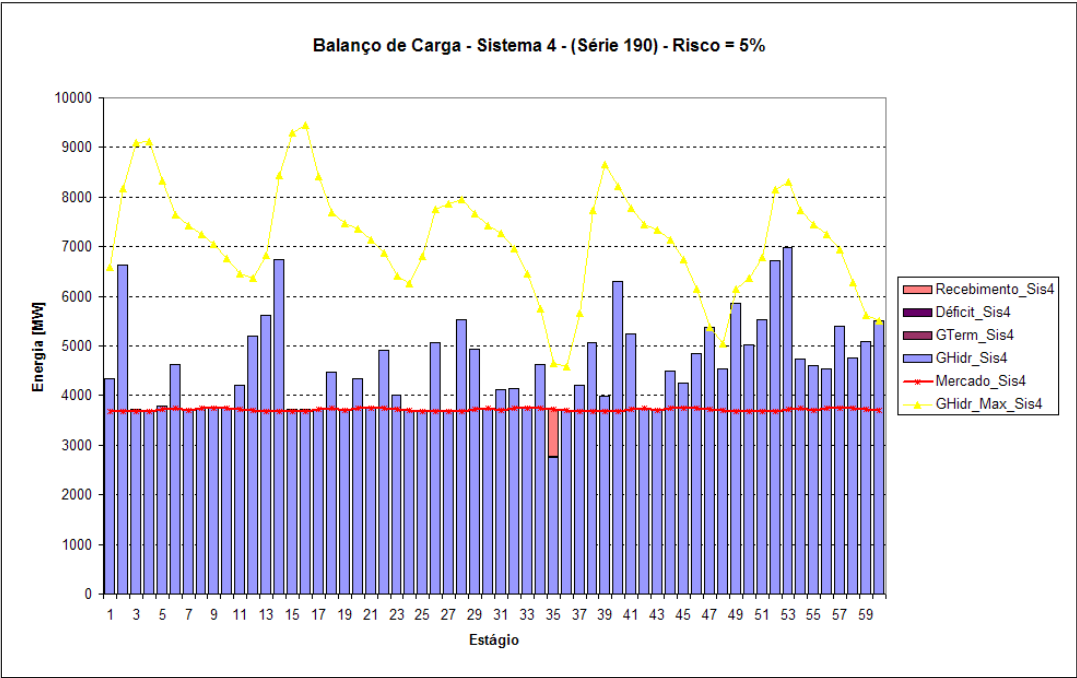


Figura 4.16: Caso 01/2008 – Balanço de Carga (série 190) – Norte – *Multi-critério* – *Riscos de Déficit = 5%*

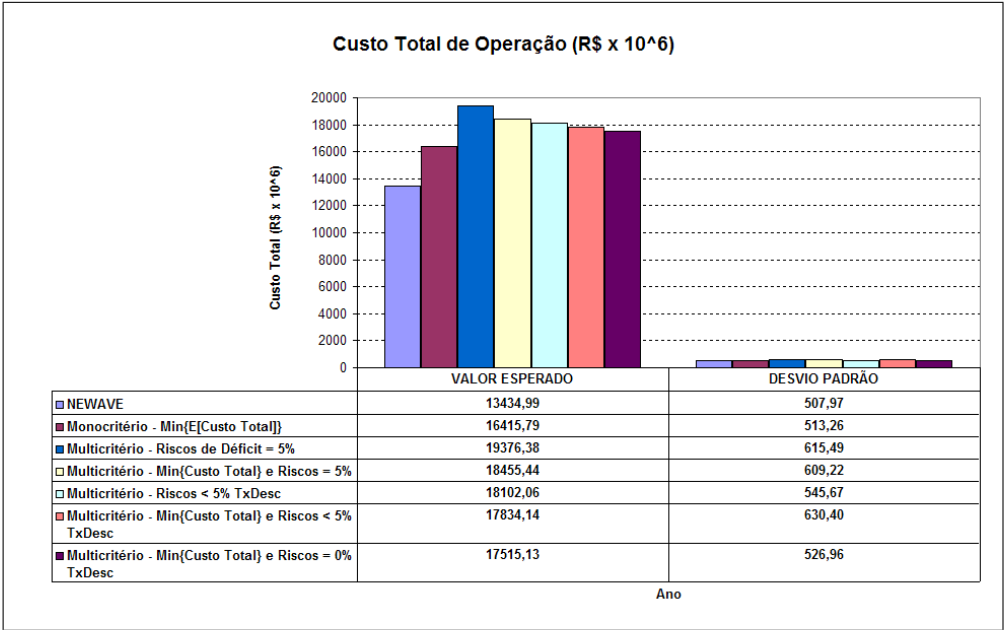


Figura 4.17: Caso 01/2008 – Valor esperado dos custos totais de operação – 2000 séries

Em geral, o comportamento relativo observado para as séries usadas na otimização se repete, mantendo a coerência entre as diferentes políticas calculadas usando diferentes critérios. É importante observar, no entanto, que houve uma diferença razoável no nível geral dos custos. Esta elevação se deve inicialmente à natureza aleatória da amostragem dos cenários, o que não garante a compatibilidade entre as amostras usadas. Os resultados para

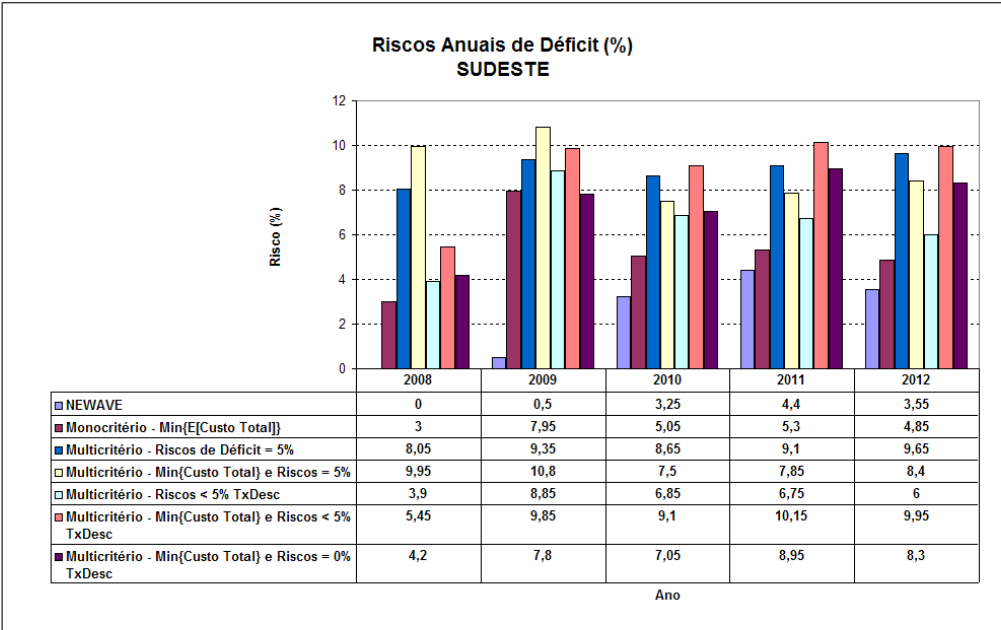


Figura 4.18: Caso 01/2008 – Riscos anuais de déficit – Sudeste – 2000 séries

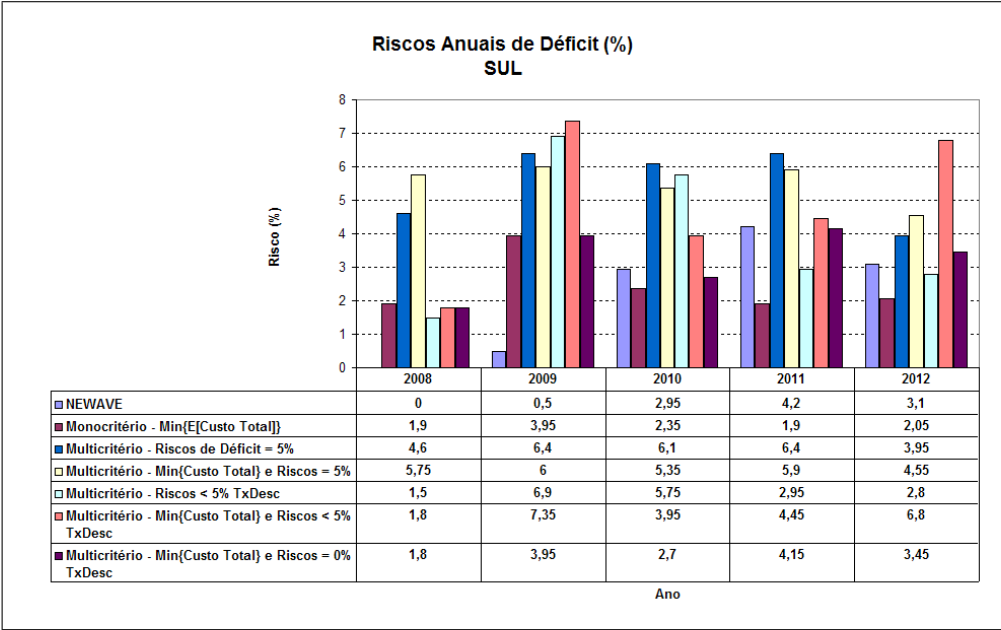


Figura 4.19: Caso 01/2008 – Riscos anuais de déficit – Sul – 2000 séries

os riscos de déficit apresentam, em linhas gerais, o mesmo comportamento.

Como pode ser constatado, o modelo NEWAVE apresentou maior estabilidade de resultados entre os dois casos. Uma possível explicação é a utilização de séries adicionais, denominadas aberturas, em cada um dos cenários otimizados pelo NEWAVE. A consideração destas aberturas que, no caso executado foram 20 em cada estágio, para cada uma das 200 séries, pode tornar a comparação realizada injusta.

De forma geral, os resultados apresentam comportamentos satisfatórios

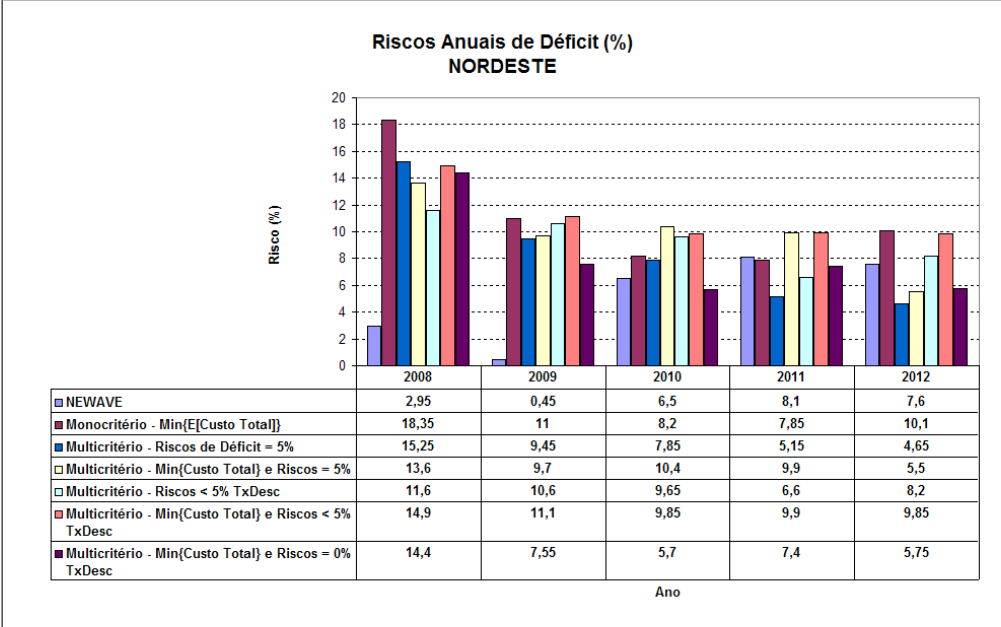


Figura 4.20: Caso 01/2008 – Riscos anuais de déficit – Nordeste – 2000 séries

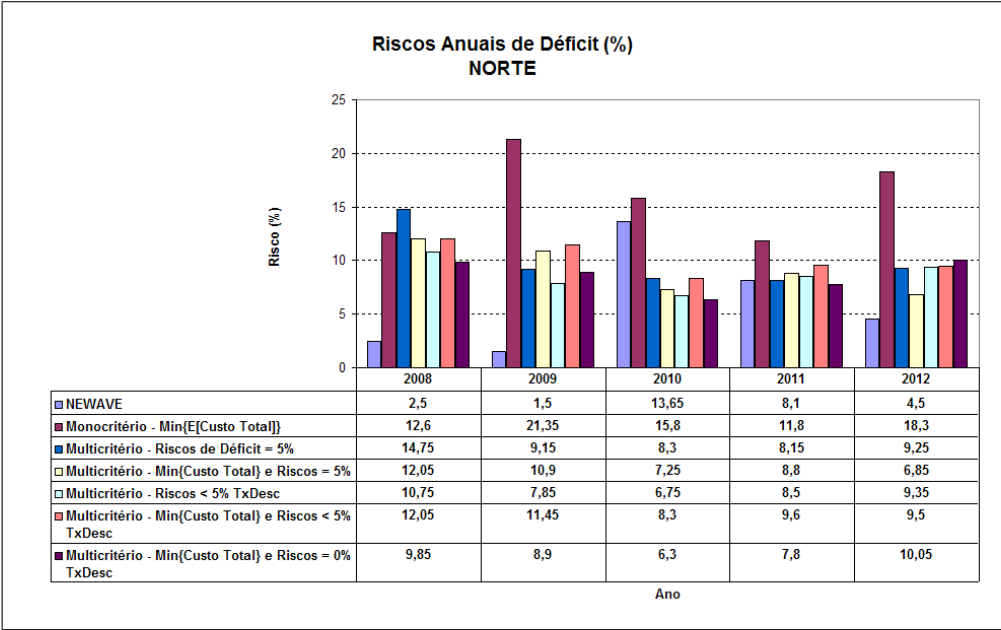


Figura 4.21: Caso 01/2008 – Riscos anuais de déficit – Norte – 2000 séries

e coerentes com a teoria previamente apresentada.

4.3

Considerações Finais

Neste capítulo foram realizados estudos de casos baseados no PMO de Janeiro de 2008. Seis possíveis avaliações para os cromossomos foram testadas, sendo uma mono-critério visando a minimização do valor esperado do custo total de operação, duas visando a minimização da distância entre os riscos anuais de déficit e um valor meta, e três conjugando esses dois tipos de objetivos.

Os resultados mostram que ao se considerar apenas a minimização do valor esperado do custo total de operação, os riscos anuais de déficit são em geral mais instáveis, sendo muitas vezes elevados. Ao se considerar apenas os riscos de déficit nas funções-objetivo, os riscos tendem a ser mais estáveis mas, por outro lado, o custo total de operação encontrado geralmente é mais alto. A opção de considerar o custo e os riscos na função de avaliação mostrou que há uma redução no custo total de operação, enquanto os riscos ainda têm um comportamento que se assemelha mais aos casos nos quais apenas os riscos de déficit compunham a função-objetivo.

A modelagem proposta mostrou-se, portanto, promissora para uso no problema de planejamento da operação de sistemas hidrotérmicos uma vez que os planejamentos obtidos conduzem a operações viáveis, além de permitir uma grande flexibilidade na consideração dos objetivos a serem otimizados.