



**XXII SNTPEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GPL/09  
13 a 16 de Outubro de 2013  
Brasília - DF

**GRUPO - VII**

**GRUPO DE ESTUDO DE PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GPL**

**AValiação de Critérios de Cálculo da Garantia Física Total do SIN**

**L.G.B. Marzano(\*)      M.E.P. Maceira      T.C. Justino      A.C.G. Melo**  
**CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica**

**RESUMO**

Neste trabalho é avaliada a garantia física total do SIN segundo três critérios de garantia de suprimento: (i) critério de risco explícito de déficit de energia elétrica limitado a 5%, que vigorou até 27 de Julho de 2008; (ii) critério de igualdade entre os custos marginais de operação e o custo marginal de expansão, atualmente vigente; e (iii) critério associado ao custo implícito de déficit de energia elétrica. Com relação ao critério associado ao custo implícito de déficit de energia elétrica, dois algoritmos são avaliados. Resultados numéricos são apresentados e discutidos.

**PALAVRAS-CHAVE**

Garantia Física, Critério de Suprimento, Planejamento da Expansão, Sistema de Geração, Sistema Hidrotérmico.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

O conceito de garantia física de um sistema de geração de energia elétrica está associado ao maior mercado de energia que o parque gerador deste sistema pode atender, sem que o critério de garantia de suprimento seja violado. A proposição do critério de garantia de suprimento é de responsabilidade do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), enquanto que o Ministério de Minas e Energia (MME), respeitando o critério estabelecido pelo CNPE, é responsável por disciplinar a forma de cálculo das garantias físicas dos empreendimentos de geração.

Na década passada, o CNPE publicou duas Resoluções definindo o critério de garantia de suprimento a ser adotado. A primeira publicação foi a Resolução CNPE nº 1, de 17 de Novembro de 2004 [1], que estabeleceu que o critério de garantia de suprimento fosse baseado no risco explícito da insuficiência de oferta de energia elétrica (ou risco explícito de déficit de energia), cujo valor não deveria exceder a 5% em cada um dos subsistemas que compõem o Sistema Interligado Nacional (SIN). A segunda publicação ocorreu em 28 de Julho de 2008, na qual a Resolução CNPE nº 9 [2] modificou o critério de garantia de suprimento, que passou a se basear na igualdade entre os custos marginais de operação e o custo marginal de expansão, respeitado o limite do risco de insuficiência da oferta de energia elétrica estabelecido na Resolução CNPE nº 1/2004. A modificação no critério teve como principal objetivo compatibilizar o critério adotado no cálculo das garantias físicas com aquele adotado na elaboração dos planos decenais de expansão de energia.

Um dos objetivos deste trabalho é avaliar a diferença do valor da garantia física total do SIN segundo os dois critérios de garantia de suprimento mencionados acima: (i) aquele associado ao risco de déficit de energia limitado a 5%; (ii) aquele associado a igualdade dos custos marginais de operação e de expansão, respeitado o limite de 5% para o risco de déficit. Adicionalmente, é avaliada a garantia física total do SIN segundo o critério do custo implícito de déficit de energia [3], que no passado foi alvo de estudos conduzidos em conjunto pelo GCPS (Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos) e GTPE (Grupo de Estudos de Critérios de Planejamento Energético).

(\*) Av. Horácio Macedo, 354 – Ilha do Fundão – CEP 21.941-911 Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
Tel: (+55 21) 2598-6065 – Fax: (+55 21) 2598-6482 – Email: marzano@cepel.br

## 2.0 - ALGORITMO PARA CÁLCULO DA GARANTIA FÍSICA TOTAL DO SIN ADOTANDO-SE O CRITÉRIO DE RISCO EXPLÍCITO DE DÉFICIT DE ENERGIA

Em 17 de Novembro de 2004, o CNPE publicou a Resolução CNPE nº 1 [1], que estabeleceu que o critério geral de garantia de suprimento fosse baseado no risco explícito de déficit de energia no sistema elétrico interligado, cujo valor não deveria exceder a 5% em cada um dos subsistemas que compõem o SIN. Estabeleceu também que tal critério deveria ser aplicado nos estudos de expansão da oferta, no planejamento da operação do sistema elétrico interligado e no cálculo das garantias físicas de energia e potência de um empreendimento de geração de energia elétrica.

No dia seguinte, em 18 de Novembro de 2004, o MME publicou a Portaria nº 303 [4] descrevendo a metodologia para o cálculo da garantia física de energia de um empreendimento. Esta metodologia consiste nos seguintes passos:

1. determinação da garantia física total do SIN, adotando-se uma configuração estática, ajustada para um risco de déficit de energia limitado a 5%;
2. rateio da garantia física total do SIN em dois blocos: oferta hidráulica e oferta térmica;
3. rateio da oferta hidráulica entre todas as usinas hidroelétricas proporcionalmente às respectivas energias firmes;
4. rateio da oferta térmica entre as usinas termoeletricas, limitando as suas garantias físicas às respectivas disponibilidades máxima de geração contínua, com o eventual excedente de oferta sendo re-distribuído entre as demais usinas termoeletricas.

Na determinação da garantia física total do SIN (passo 1 acima) é utilizado o programa NEWAVE [5], desenvolvido pelo CEPEL. Este programa permite simular a operação de um sistema hidrotérmico levando em consideração as incertezas hidrológicas de forma detalhada. A garantia física total do sistema é obtida iterativamente a partir de inúmeras simulações deste programa, onde a cada iteração são realizadas alterações nos valores de mercado de energia dos subsistemas. Estas alterações são feitas aumentando-se ou diminuindo-se estes mercados, tomando-se o cuidado de que as proporções entre os mercados dos subsistemas Sudeste e Sul e entre os mercados dos subsistemas Nordeste e Norte sejam mantidas. Para cada conjunto de valores de mercado obtêm-se, através de simulação da operação do sistema com 2000 cenários hidrológicos, as probabilidades de déficit anual de energia de cada subsistema (risco de déficit). Buscam-se então, no processo iterativo, valores de mercado para os quais o critério de garantia de suprimento seja atendido, ou seja, riscos de déficit de energia para os pares Sudeste-Sul e Nordeste-Norte não excedendo a 5% (admitindo-se uma pequena tolerância). Quando da convergência do processo, obtém-se a garantia física total do sistema (também denominada carga crítica), que é dada pela soma dos mercados de energia dos quatro subsistemas, e que se caracteriza como o maior mercado de energia que aquela configuração consegue atender sem que o critério de garantia de suprimento seja violado. No fluxograma da Figura 1 é ilustrado o processo iterativo para o cálculo da garantia física total do SIN. Embora não seja objeto deste trabalho, ressalta-se que no cálculo das energias firmes das usinas hidrelétricas é utilizado o programa MSUI [6] desenvolvido pelo ELETROBRAS.

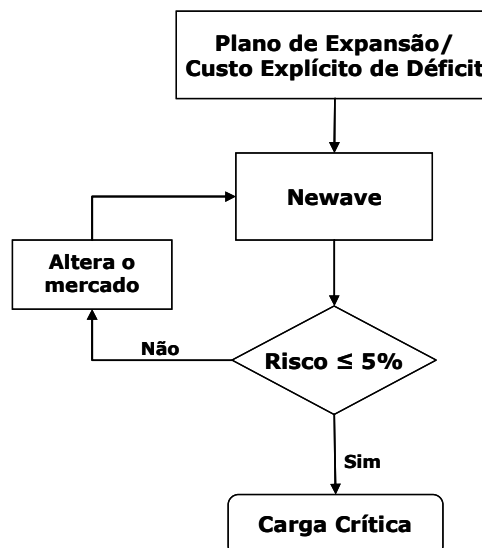


FIGURA 1 – Algoritmo do Cálculo da Garantia Física Total do SIN com Critério de Risco Explícito de Déficit de Energia Limitado a 5%

Vale destacar que o custo de déficit de energia, os custos marginais de operação e os riscos de déficit de energia se caracterizam como variáveis inter-relacionadas. Definindo-se a priori duas delas, a terceira é obtida por consequência. No critério de garantia de suprimento associado ao risco explícito de déficit de energia limitado a

5%, tanto o risco de déficit de energia (valor limite igual a 5%) quanto o custo de déficit de energia são definidos a priori, por isso, são denominadas variáveis explícitas. Os custos marginais de operação são obtidos como consequência do processo de cálculo, por isso caracteriza-se como variável implícita. Ou seja, o critério de garantia de suprimento de risco explícito de déficit de energia limitado a 5% está associado à adoção de custo explícito de déficit de energia, de risco explícito de déficit de energia e de custo marginal de operação implícito.

### 3.0 - ALGORITMO PARA CÁLCULO DA GARANTIA FÍSICA TOTAL DO SIN ADOTANDO-SE O CRITÉRIO DE IGUALDADE ENTRE OS CUSTOS MARGINAIS DE OPERAÇÃO E O CUSTO MARGINAL DE EXPANSÃO

Em 28 de Julho de 2008, o CNPE publicou a Resolução CNPE nº 9 [2], que estabeleceu que o critério para o cálculo das garantias físicas de energia e potência de novos empreendimentos de geração e para os estudos de planejamento da expansão da oferta de energia elétrica passasse a adotar a igualdade entre os custos marginais de operação e o custo marginal de expansão, respeitado o limite do risco de insuficiência da oferta de energia elétrica estabelecido no art. 2º da Resolução CNPE nº 1 [1], de 17 de Novembro de 2004. Cabe ressaltar que desde o ano de 2006, os estudos de planejamento da oferta de energia elétrica já vinham adotando o critério de igualdade dos custos marginais de operação e de expansão (com risco de déficit limitado a 5%), enquanto que as garantias físicas continuavam a ser calculadas com base no critério de risco explícito de déficit de energia. Neste sentido, a publicação da Resolução CNPE nº 9 teve como principal motivador a compatibilização dos critérios adotados nestes estudos.

A metodologia de cálculo foi estabelecida na Portaria MME nº 258 [7], de 28 de Julho de 2008. Os passos são basicamente os mesmos que aqueles apresentados na seção 2.0. A exceção está na determinação da garantia física total do SIN, que passa a ser ajustada de modo a se obter a igualdade entre os custos marginais de operação e o custo marginal de expansão, desde que respeitado o limite de 5% para o risco de déficit de energia. Na Figura 2 é apresentado o fluxograma associado ao cálculo da garantia física total do SIN para o critério de garantia de suprimento estabelecido na Portaria MME nº 258.

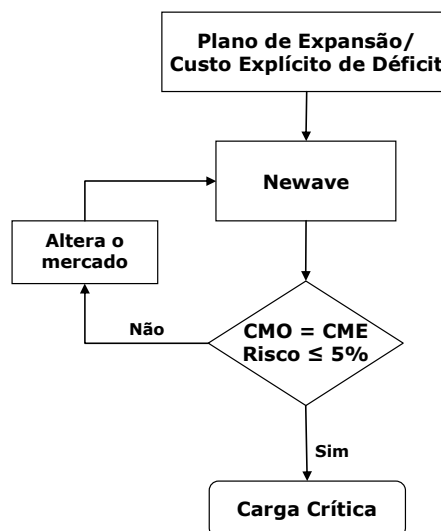


FIGURA 2 - Algoritmo do Cálculo da Garantia Física Total do SIN com Critério de Igualdade entre os Custos Marginais de Operação e o Custo Marginal de Expansão

Vale destacar que no critério de garantia de suprimento associado à igualdade entre os custos marginais de operação e o custo marginal de expansão, as variáveis definidas a priori são os valores limite para os custos marginais de operação e o custo de déficit de energia. Os riscos de déficit de energia são obtidos como consequência do processo de cálculo. Ou seja, tal critério de garantia de suprimento está associado à adoção de custo explícito de déficit de energia, de custo marginal de operação explícito e de risco implícito de déficit de energia.

### 4.0 - ALGORITMOS PARA O CÁLCULO DA GARANTIA FÍSICA TOTAL DO SIN ADOTANDO-SE O CRITÉRIO DO CUSTO IMPLÍCITO DE DÉFICIT DE ENERGIA

Conforme já mencionado, o risco de déficit de energia, o custo de déficit de energia e os custos marginais de operação são três variáveis que estão inter-relacionadas no processo de cálculo da garantia física de energia de um sistema de geração. Definindo-se a priori duas delas, a terceira é obtida por consequência. Logo, três combinações são possíveis:

- (a) define-se a priori valores limite para o risco de déficit de energia e o valor do custo de déficit de energia,

- obtendo-se como consequência valores dos custos marginais de operação;
- (b) define-se a priori valores limite para o custo marginal de operação e o valor do custo de déficit de energia, obtendo-se como consequência os riscos de déficit de energia;
- (c) define-se a priori valores limites para o custo marginal de operação e para o risco de déficit de energia, obtendo-se como consequência o valor do custo de déficit de energia.

As combinações (a) e (b) estão associadas aos critérios de risco explícito de déficit de energia e de igualdade entre os custos marginais de operação e o custo marginal de expansão, respectivamente, e seus algoritmos foram apresentados nas seções 2.0 e 3.0. A combinação (c) está associada ao critério do custo implícito de déficit de energia.

O custo implícito de déficit de energia é o valor do custo de déficit de energia para o qual, em uma simulação energética com a estratégia ótima de operação do SIN, ocorre a igualdade entre os custos marginais de operação e o custo marginal de expansão, e, simultaneamente, obtém-se risco de déficit de energia igual a um valor pré-definido, por exemplo, 5%.

A obtenção do custo implícito de déficit de energia se dá através de um processo iterativo baseado no cálculo da carga crítica do SIN, no qual, a partir de um plano de expansão pré-definido, são realizadas simulações energéticas sucessivas, onde, além de alterarem-se ao longo do processo iterativo os valores de mercado de energia dos subsistemas, altera-se também o valor do custo de déficit de energia. O processo é concluído quando o critério de garantia de suprimento é atendido, neste caso, caracterizado pela igualdade entre os custos marginais de operação e o custo marginal de expansão e riscos de déficit de energia iguais a 5%. Ou seja, busca-se no processo iterativo, valores de mercado e de custo de déficit de energia que resultam em custos marginais de operação iguais ao custo marginal de expansão e também, ao mesmo tempo, riscos de déficit de energia iguais 5%. Quando da convergência do processo, obtém-se não só a garantia física total do sistema, mas também o valor do custo implícito de déficit de energia.

No fluxograma apresentado na Figura 1, dado uma configuração do parque gerador e o valor do custo de déficit de energia, é determinada a carga crítica do sistema que atende a condição de risco de déficit de energia igual a 5%. Tomando-se como base esta Figura, para aplicação do critério do custo implícito de déficit de energia deveria-se acrescentar duas instruções ao fluxograma: (i) a verificação ao atendimento da igualdade entre os custos marginais de operação e o custo marginal de expansão; e (ii) a alteração do valor do custo de déficit de energia ao longo do processo iterativo. Estas duas instruções podem ser incluídas no fluxograma através do acréscimo de um *loop* externo àquele já existente. Desta forma, no fluxograma da Figura 3(a) – algoritmo tipo 1 (baseado em [8]) – é ilustrado o processo iterativo associado ao critério do custo implícito de déficit de energia. Uma variante do fluxograma 3(a), no qual a ordem da verificação de atendimento aos critérios de igualdade entre os custos marginais de operação e o custo marginal de expansão e de risco de déficit igual a 5% é alterada, é ilustrada na Figura 3(b) – algoritmo tipo 2.

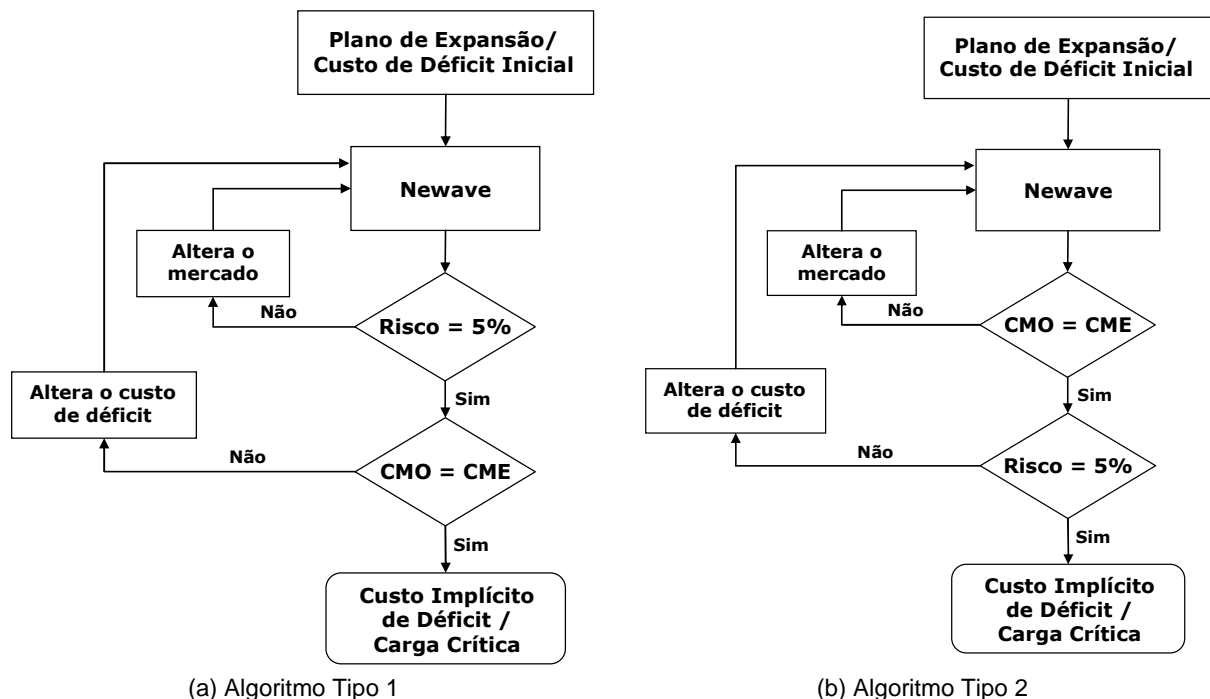


FIGURA 3 - Algoritmos para o Cálculo da Garantia Física Total do SIN com Critério do Custo Implícito de Déficit de Energia

Nos cálculos da garantia física total do SIN segundo o critério do custo implícito de déficit de energia foram realizadas simulações adotando-se os dois algoritmos ilustrados na Figura 3.

## 5.0 - ESTUDO DE CASOS

### 5.1 Modelos Adotados

Nas análises realizadas neste trabalho foram utilizados o modelo NEWAVE versão 16.0 e o programa FACEG (Ferramenta Automática para o Cálculo da Energia Garantida do SIN) [9] compatível com a versão 16.0 do NEWAVE.

### 5.2 Critério de Convergência

Nas análises realizadas neste trabalho foram adotados na avaliação da convergência do processo iterativo valores de custo marginal de expansão igual a 113 R\$/MWh com uma tolerância de  $\pm 2$  R\$/MWh e risco de déficit de energia de 5% com tolerância de  $\pm 0,2$  pontos percentuais.

### 5.3 Configuração do Caso de Estudo

Neste trabalho foi considerada a configuração do SIN adotada na definição das garantias físicas para o leilão de energia nova A-3 de 2011, cujo deck de dados encontra-se disponibilizado no site da Empresa de Pesquisa Energética – EPE ([www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br)).

### 5.4 Resultados Numéricos

#### 5.4.1 Resultados Adotando-se o Critério de Igualdade entre os Custos Marginais de Operação e o Custo Marginal de Expansão

Na Tabela 1 são apresentados a garantia física total do SIN (carga crítica), os custos marginais de operação e os riscos de déficit de energia de cada subsistema, obtidos com a adoção do critério de igualdade entre os custos marginais de operação (CMO) e o custo marginal de expansão (CME). A convergência do processo iterativo é avaliada tomando-se o maior valor entre os custos marginais de operação do par Sul/Sudeste (S/SE) e o maior valor entre os custos marginais de operação do par Norte/Nordeste (N/NE). Ou seja, o par S/SE apresenta CMO de 113,00 R\$/MWh e o par N/NE apresenta CMO de 112,96 R\$/MWh, cujos valores atendem o critério de convergência de  $113 \pm 2$  R\$/MWh. Adicionalmente, todos os riscos de déficit de energia são inferiores a 5%.

Tabela 1 - Resultados Associados a Configuração do Leilão A-3/2011 (Critério CMO = CME)

	<b>SE</b>	<b>S</b>	<b>NE</b>	<b>N</b>	<b>B. Monte</b>	<b>SIN</b>
Carga Crítica (MWmed)	41.226	10.646	12.228	8.060	-	72.160
CMO (R\$/MWh)	113,0	113,0	112,96	111,07	111,06	-
Risco de Déficit (%)	1,48	1,05	0,37	0,72	-	-

Como o critério de igualdade entre os custos marginais de operação e o custo marginal de expansão é o atualmente vigente, os valores apresentados na Tabela 1 podem ser tomados como referência para a garantia física total do SIN.

#### 5.4.2 Resultados Adotando-se o Critério de Risco Explícito de Déficit de Energia

Na Tabela 2 são apresentados a carga crítica do SIN, os custos marginais de operação e os riscos de déficit de energia de cada subsistema, obtidos com a adoção do critério de risco explícito de déficit de energia limitado a 5%. A convergência do processo é avaliada tomando-se o maior valor entre os riscos de déficit de energia do par Sul/Sudeste (S/SE) e o maior valor entre os riscos de déficit de energia do par Norte/Nordeste (N/NE). Ou seja, os pares S/SE e N/NE apresentam riscos de déficit de energia de 4,95% e 4,84%, respectivamente, cujos valores atendem o critério de convergência de  $5\% \pm 0,2$  pontos percentuais.

Tabela 2 - Resultados Associados a Configuração do Leilão A-3/2011 (Critério Risco de Déficit = 5%)

	<b>SE</b>	<b>S</b>	<b>NE</b>	<b>N</b>	<b>B. Monte</b>	<b>SIN</b>
Carga Crítica (MWmed)	44.764	11.560	15.716	10.359	-	82.399
CMO (R\$/MWh)	403,54	403,54	414,36	403,22	403,22	-
Risco de Déficit (%)	4,95	3,73	4,84	4,14	-	-

Comparando os resultados da Tabela 2 com os da Tabela 1, verifica-se que a carga crítica do SIN calculada com o critério de risco explícito de déficit de energia limitado a 5% é cerca de 10.000 MWmed maior do que aquela determinada pelo critério de igualdade entre os custos marginais de operação e o custo marginal de expansão. Ou seja, o critério de risco explícito de déficit de energia superestima a garantia física total do SIN.

Vale também destacar que os valores de CMO apresentados na Tabela 2 são muito superiores ao custo marginal de expansão de 113 R\$/MWh, o que não caracteriza uma situação de equilíbrio estrutural do sistema.

#### 5.4.3 Resultados Adotando-se o Critério do Custo Implícito de Déficit de Energia

Na Tabela 3 são apresentados os resultados obtidos segundo o critério do custo implícito de déficit de energia adotando-se o algoritmo tipo 1.

Tabela 3 - Resultados da Configuração do Leilão A-3/2011 (Critério Custo Implícito de Déficit - Algoritmo Tipo 1)

	<b>SE</b>	<b>S</b>	<b>NE</b>	<b>N</b>	<b>B. Monte</b>	<b>SIN</b>
Carga Crítica (MWmed)	39.170	10.116	14.131	9.314	-	72.731
CMO (R\$/MWh)	101,51	101,51	111,32	102,80	102,80	-
Risco de Déficit (%)	4,91	3,79	4,97	3,61	-	-
Custo de Déficit (R\$/MWh)	462,00					

No algoritmo tipo 1, o *loop* interno busca a convergência dos riscos de déficit alterando, de forma independente, os mercados de energia dos pares S/SE e N/NE. Por isto, com relação aos riscos de déficit de energia, a convergência do processo é avaliada tomando-se o maior valor entre os riscos de déficit de energia do par S/SE e o maior valor entre os riscos de déficit de energia do par N/NE. Já o *loop* externo busca a convergência dos custos marginais de operação através da alteração do valor do custo de déficit de energia, que deve ser único para todo o SIN. Logo, com relação aos custos marginais de operação, a convergência do processo foi avaliada tomando-se o maior valor entre os custos marginais de operação dos subsistemas Sul/Sudeste/Norte/Nordeste (S/SE/N/NE). Na Tabela 3, os riscos de déficit de energia para os pares S/SE e N/NE são 4,91% e 4,97%, respectivamente, atendendo ao critério de convergência de  $5\% \pm 0,2$  pontos percentuais, e o custo marginal de operação da quadra S/SE/N/NE é 111,32 R\$/MWh, atendendo ao critério de convergência de  $113 \pm 2$  R\$/MWh.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados obtidos adotando-se o algoritmo tipo 2. Neste algoritmo, observa-se situação inversa à do algoritmo 1, isto é, o *loop* interno busca a convergência dos custos marginais de operação (alterando os mercados de energia dos pares S/SE e N/NE) e o *loop* externo busca a convergência dos riscos de déficit (alterando o valor do custo de déficit de energia). Logo, a convergência dos custos marginais de operação foi avaliada tomando-se o maior valor de cada par S/SE (114,10 R\$/MWh) e N/NE (112,74 R\$/MWh), e a dos riscos de déficit tomando-se o maior valor entre aqueles da quadra S/SE/N/NE (4,95%).

Tabela 4 - Resultados da Configuração do Leilão A-3/2011 (Critério Custo Implícito de Déficit - Algoritmo Tipo 2)

	<b>SE</b>	<b>S</b>	<b>NE</b>	<b>N</b>	<b>B. Monte</b>	<b>SIN</b>
Carga Crítica (MWmed)	43.199	11.155	11.398	7.513	-	73.266
CMO (R\$/MWh)	114,10	114,10	112,74	112,00	112,00	-
Risco de Déficit (%)	4,95	3,58	0,47	2,33	-	-
Custo de Déficit (R\$/MWh)	600,00					

Das Tabelas 3 e 4 verifica-se que as cargas críticas do SIN obtidas com os algoritmos 1 e 2 possuem valores muito próximos. Além disso, tais valores são bastante próximos daquele obtido com critério atualmente vigente de igualdade entre os custos marginais de operação e o custo marginal de expansão (vide Tabela 1). Por outro lado, os algoritmos 1 e 2 resultaram em custos implícitos de déficit de energia bem diferentes, além de seus valores serem extremamente baixos quando comparado com o valor de 2.950 R\$/MWh que representa o custo explícito de déficit de energia utilizado no cálculo das garantias físicas para o leilão A-3/2011. Ressalta-se que existem no SIN usinas térmicas a gás e a óleo com custo operacional superior aos custos de déficit apresentados nas Tabelas 3 e 4. Se tais valores de custo de déficit fossem aplicados na operação do sistema, estas usinas térmicas nunca seriam chamadas a gerar por ordem de mérito econômico.

#### 5.4.4 Análise de Sensibilidade para o Critério do Custo Implícito de Déficit de Energia

Com relação ao processo de cálculo da garantia física total do SIN segundo o critério do custo implícito de déficit de energia, foram realizadas análises de sensibilidade adotando-se valores de risco de déficit de energia iguais a 3% e 2%. Também foram feitas simulações com a configuração do SIN adotada na definição das garantias físicas para o leilão de energia nova A-5 de 2010 (deck de dados disponível no site [www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br)). Os valores da carga crítica do SIN e os custos implícitos de déficit de energia resultantes desta análise encontram-se sumarizados na Tabela 5, que inclui também aqueles resultados já apresentados na seção 5.4.3.

Analisando os valores de carga crítica do SIN constantes da Tabela 5 verifica-se que todos eles apresentam a mesma ordem de grandeza. Ou seja, nas análises efetuadas, a garantia física total do SIN segundo o critério do custo implícito de déficit de energia se mostrou pouco sensível ao valor do risco de déficit pré-estabelecido, ao algoritmo empregado e a configuração adotada. Além disso, tais valores são bastante próximos daquele obtido com o critério vigente (vide Tabela 1).

Tabela 5 – Resultados Sumarizados (Critério Custo Implícito de Déficit)

Config.	Resultado	CMO = CME & Risco = 5%		CMO = CME & Risco = 3%		CMO = CME & Risco = 2%	
		Alg. Tipo 1	Alg. Tipo 2	Alg. Tipo 1	Alg. Tipo 2	Alg. Tipo 1	Alg. Tipo 2
A-5/2010	Carga Crítica (MWmed)	73.138	73.511	72.313	73.095	72.232	72.745
	Custo de Déficit (R\$/MWh)	475	600	680	1.300	1.350	1.900
A-3/2011	Carga Crítica (MWmed)	72.731	73.266	72.688	72.936	72.156	72.520
	Custo de Déficit (R\$/MWh)	462	600	650	1.000	1.100	1.950

Com relação ao custo implícito do déficit de energia, verifica-se que seu valor aumenta à medida que são pré-estabelecidos menores níveis de risco de déficit de energia. Ainda com relação ao custo implícito do déficit de energia, o algoritmo tipo 1 sempre resultou em valores menores do que o algoritmo tipo 2. A diferença de valores pode ser grande, como por exemplo, quando é considerado risco de déficit de 3% e configuração do leilão A-5/2010, onde o custo implícito de déficit de energia variou de 680 R\$/MWh (algoritmo tipo 1) para 1.300 R\$/MWh (algoritmo tipo 2), uma variação de quase 100%.

## 6.0 - CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo avaliar a garantia física total do SIN segundo três critérios de garantia de suprimento: (i) critério de risco explícito de déficit de energia limitado a 5%, que vigorou até 27 de Julho de 2008; (ii) critério de igualdade entre os custos marginais de operação e o custo marginal de expansão, que se caracteriza como o critério atualmente vigente; e (iii) critério associado ao custo implícito de déficit de energia.

Os resultados das simulações computacionais mostraram que, para o critério de risco explícito de déficit de energia limitado a 5%, o valor da garantia física total do SIN é superestimada em cerca de 10.000 MWmed. Adicionalmente, os valores de CMO resultantes são muito maiores que o custo marginal de expansão, caracterizando uma situação de desequilíbrio estrutural do sistema.

Com relação ao critério do custo implícito de déficit de energia, foram empregados 2 algoritmos distintos nas simulações, e a convergência do processo foi realizada adotando-se valores de risco de déficit de 5%, 3% e 2%. Em todas as simulações, a garantia física total do SIN se mostrou bastante estável, variando muito pouco devido a alterações no valor do risco de déficit pré-estabelecido, do algoritmo empregado e da configuração adotada. Além disso, os valores resultantes são bastante próximos daqueles obtidos com o critério vigente. Por outro lado, o valor do custo implícito de déficit de energia resultante se mostrou bastante sensível ao algoritmo empregado, podendo resultar em diferenças de quase 100%. Além disso, seu valor aumenta à medida que são pré-estabelecidos menores níveis de risco de déficit de energia. Os valores obtidos variaram de 462 R\$/MWh (configuração A-3/2011, algoritmo tipo 1 e critério CMO=CME & Risco=5%) até 1.950 R\$/MWh (configuração A-3/2011, algoritmo tipo 2 e critério CMO=CME & Risco=2%), todos eles bastante baixos quando comparados com os valores de 2.900 R\$/MWh e 2.950 R\$/MWh adotados como custo explícito de déficit de energia nos cálculos das garantias físicas para os leilões A-5/2010 e A-3/2011, respectivamente. Existem no SIN usinas térmicas a gás e a óleo com custo operacional superior a alguns custos implícitos de déficit obtidos. Se tais valores de custo de déficit fossem aplicados na operação do sistema, estas usinas térmicas nunca seriam chamadas a gerar por ordem de mérito econômico.

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), Resolução CNPE nº 1, 17 de Novembro de 2004, disponível em [www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br).
- [2] Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), Resolução CNPE nº 9, 28 de Julho de 2008, disponível em [www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br).
- [3] GCPS/GTPE, “Estudo de Critérios de Garantia de Suprimento de Energia”, Novembro/1991.
- [4] Ministério de Minas e Energia (MME), Portaria nº 303, 18 de Novembro de 2004, disponível em [www.aneel.gov.br/](http://www.aneel.gov.br/).
- [5] Maceira, M.E.P., Duarte, V.S., Penna, D.D.J., Moraes, L.A.M., Melo, A.C.G., “Ten Years of Application of Stochastic Dual Dynamic Programming in Official and Agent Studies in Brazil - Description of the NEWAVE Program,” 16th PSCC Proceedings, Glasgow, Scotland, 2008.

- [6] ELETROBRAS, “MSUI Modelo de Simulação a Usinas Individualizadas Versão 3.2 – Manual de Metodologia”, Outubro de 2009.
- [7] Ministério de Minas e Energia (MME), Portaria nº 258, 28 de Julho de 2008, disponível em [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br).
- [8] Ramos, D.S., Castro, R., Kamimura, A., “Planejamento Indicativo: Uma Proposta para Discussão”, CIER, Quito, Equador, 1998.
- [9] Marzano, L.G.B., Maceira, M.E.P., Machado Jr, M.F., “Ferramenta Automática para o Cálculo da Energia Assegurada do Sistema Interligado Nacional”, XI Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica, Belém, 2009.