



**Operador Nacional
do Sistema Elétrico**

Submódulo 7.7

Metodologia de cálculo da energia e da potência asseguradas de usinas despachadas centralizadamente

Rev. Nº.	Motivo da revisão	Data de aprovação pelo ONS	Data e instrumento de aprovação pela ANEEL
0.0	Este documento foi motivado pela criação do Operador Nacional do Sistema Elétrico.	09/10/2000	31/10/2000 Resolução nº 420/00
0.1	Adequação ao Ofício 12/2002-SRG/ANEEL, de 30/04/2002.	09/05/2002	Ajustados pelo ONS e em fase de análise pela ANEEL.
0.2	Adequação ao ofício nº 040/2003-/ANEEL, de 04/02/2003.	-	08/07/2003 Resolução nº 333/03
0.3	Atendimento à Resolução Normativa ANEEL nº 115, de 29 de novembro de 2004.	19/09/2005	04/03/2008 Resolução Autorizativa nº 1287

Assunto	Submódulo	Revisão	Data de Vigência
METODOLOGIA DE CÁLCULO DA ENERGIA E DA POTÊNCIA ASSEGURADAS DE USINAS DESPACHADAS CENTRALIZADAMENTE	7.7	0.3	04/03/2008

1 INTRODUÇÃO	3
2 OBJETIVO	3
3 PRODUTO.....	3
4 ALTERAÇÕES DESTA REVISÃO	3
5 RESPONSABILIDADES	3
5.1 DO OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO – ONS	3
6 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DO PROCESSO.....	4
6.1 OBTENÇÃO DE DADOS E INFORMAÇÕES	4
6.2 CÁLCULO DA ENERGIA E DA POTÊNCIA ASSEGURADA DAS USINAS HIDROELÉTRICAS E TERMOELÉTRICAS.....	4
6.3 DISPONIBILIZAÇÃO DOS RESULTADOS PARA O PODER CONCEDENTE	4
7 HORIZONTE, PERIODICIDADE E PRAZOS	4
8 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS	4
ANEXO 1	5

Assunto	Submódulo	Revisão	Data de Vigência
METODOLOGIA DE CÁLCULO DA ENERGIA E DA POTÊNCIA ASSEGURADAS DE USINAS DESPACHADAS CENTRALIZADAMENTE	7.7	0.3	04/03/2008

1 INTRODUÇÃO

1.1 O Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS participa do cálculo da energia e da potência assegurada das usinas hidroelétricas e termoeletricas despachadas centralizadamente quando solicitado pelo Poder Concedente, de acordo com a metodologia em vigor, definida pelo Poder Concedente.

1.2 Este procedimento registra a metodologia utilizada para o cálculo dos valores das energias e das potências asseguradas das usinas hidroelétricas e termoeletricas despachadas centralizadamente. Ela está descrita no Anexo 1 deste submódulo e se baseia nas disposições do Decreto nº 2.655, de 02 de julho de 1998, e da Portaria MME nº 303, de 18 de novembro de 2004.

1.3 O submódulo aqui mencionado é:

- (a) Submódulo 18.2 *Relação de sistemas e modelos computacionais*.

2 OBJETIVO

2.1 O objetivo deste submódulo é registrar a metodologia adotada no cálculo dos valores das energias e das potências asseguradas das usinas hidroelétricas e termoeletricas despachadas centralizadamente.

3 PRODUTO

3.1 O produto do processo descrito neste submódulo é a nota técnica:

- (a) Cálculo da Energia e da Potência Asseguradas das Usinas Despachadas Centralizadamente.

4 ALTERAÇÕES DESTA REVISÃO

4.1 Em todos os itens deste submódulo, houve alterações de numeração e/ou de conteúdo para atendimento à Portaria MME nº 303, de 18 de novembro de 2004, e à Resolução Normativa ANEEL nº 115, de 29 de novembro de 2004.

5 RESPONSABILIDADES

5.1 Do Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS

- (a) Participar, quando solicitado pelo Poder Concedente, do estabelecimento e da revisão da metodologia para cálculo da energia e da potência asseguradas das usinas hidroelétricas e termoeletricas.
- (b) Informar ao Poder Concedente os fatos relevantes identificados que devam levar à revisão das energias e das potências asseguradas.
- (c) Obter os dados e as diretrizes sob responsabilidade do Poder Concedente necessários para o cálculo das energias e potências asseguradas das usinas hidroelétricas e termoeletricas despachadas centralizadamente.

Assunto	Submódulo	Revisão	Data de Vigência
METODOLOGIA DE CÁLCULO DA ENERGIA E DA POTÊNCIA ASSEGURADAS DE USINAS DESPACHADAS CENTRALIZADAMENTE	7.7	0.3	04/03/2008

- (d) Obter internamente dados e informações sob sua responsabilidade a serem utilizados no cálculo da energia e da potência asseguradas das usinas hidroelétricas e termoeletricas despachadas centralizadamente.
- (e) Consolidar dados e informações.
- (f) Calcular a energia e a potência assegurada das usinas hidroelétricas e termoeletricas despachadas centralizadamente.
- (g) Disponibilizar para o Poder Concedente os dados utilizados e os resultados do cálculo da energia e da potência asseguradas.

6 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DO PROCESSO

6.1 Obtenção de dados e informações

6.1.1 O ONS recebe do Poder Concedente os dados sob sua responsabilidade. O ONS procede à consistência e à consolidação desses dados, em conformidade com a padronização requerida pelas ferramentas computacionais utilizadas.

6.2 Cálculo da energia e da potência assegurada das usinas hidroelétricas e termoeletricas

6.2.1 Essa etapa do processo corresponde à execução das simulações para cálculo da energia e da potência assegurada das usinas hidroelétricas e termoeletricas, empregando a metodologia descrita no Anexo 1.

6.3 Disponibilização dos resultados para o Poder Concedente

6.3.1 O ONS disponibiliza para o Poder Concedente a nota técnica “Cálculo das Energias e das Potências Asseguradas das Usinas Despachadas Centralizadamente” com os resultados dos estudos e informações correlatas, a saber:

- (a) valores de energia e de potência asseguradas;
- (b) valores de energia firme e de fatores de rateio;
- (c) ganhos incrementais de energia assegurada na cascata; e
- (d) valores de energia e de potência asseguradas da fase de motorização.

7 HORIZONTE, PERIODICIDADE E PRAZOS

7.1 A participação do ONS no cálculo da energia e da potência asseguradas das usinas hidroelétricas e termoeletricas despachadas centralizadamente ocorre quando solicitada pelo Poder Concedente.

8 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

8.1 Os programas computacionais utilizados nos estudos de cálculo da energia e da potência asseguradas das usinas hidroelétricas e termoeletricas despachadas centralizadamente estão listados a seguir e se encontram detalhados no Submódulo 18.2:

- (a) Modelo para otimização hidrotérmica para subsistemas equivalentes interligados; e
- (b) Modelo para simulação da operação energética a usinas individualizadas.

Assunto	Submódulo	Revisão	Data de Vigência
METODOLOGIA DE CÁLCULO DA ENERGIA E DA POTÊNCIA ASSEGURADAS DE USINAS DESPACHADAS CENTRALIZADAMENTE	7.7 ANEXO 1	0.3	04/03/2008

ANEXO 1**Critérios e premissas para cálculo da energia e da potência asseguradas de usinas hidroelétricas e termoeletricas.**

A metodologia para cálculo de energia e de potência asseguradas está definida na Portaria nº 303, de 18 de novembro de 2004. Apresenta-se, neste anexo, um resumo dessa metodologia.

Energia assegurada de usinas hidroelétricas

A energia assegurada definida para os aproveitamentos hidroelétricos corresponde a 100% de sua energia garantida, obtida conforme os critérios resumidos a seguir:

- (a) Determinação da oferta global de energia por meio de simulação da operação hidrotérmica com quatro subsistemas interligados:
 - (i) Adota-se uma configuração estática, sem considerar aspectos conjunturais como volume de espera, armazenamento inicial, enchimento de volume morto e fatores de perda. Utiliza-se apenas um patamar de carga e um patamar de déficit, para um horizonte de 5 (cinco) anos, com períodos de estabilização inicial e final.
 - (ii) A simulação, considerando subsistemas equivalentes – reservatórios agregados de energia – e limites de intercâmbio não restritivos entre os subsistemas, utiliza 2.000 séries sintéticas de energias afluentes e considera a aplicação do mesmo requisito de carga de energia a todos os meses, num período de 20 (vinte) anos, sendo que:
 - (1) a simulação começa com todos os reservatórios a 100% de seu armazenamento máximo; o período do 1º (primeiro) ao 10º (décimo) ano é utilizado para minimizar os efeitos do estado inicial;
 - (2) o custo futuro após o 20º (vigésimo) ano é considerado nulo para qualquer situação e o período do 16º (décimo sexto) ao 20º (vigésimo) ano é utilizado para minimizar a influência desse custo arbitrado no cálculo das estratégias de geração hidrotérmica e dos intercâmbios.
 - (iii) O risco médio do período do 11º (décimo primeiro) ao 15º (décimo quinto) ano tem como meta o nível de 5%, obtido por meio da variação iterativa do requisito. Tomando por base as cargas médias anuais previstas para um ano de referência, a proporcionalidade entre os requisitos dos subsistemas Sul e Sudeste e entre os requisitos dos subsistemas Norte e Nordeste deve ser mantida fixa. O requisito conjunto Sul/Sudeste pode variar livremente em relação ao requisito conjunto Norte/Nordeste.
 - (iv) A soma dos requisitos obtidos por esse processo é a carga crítica de energia do Sistema Interligado Nacional – SIN.
- (b) Cálculo da oferta de energia hidráulica:
 - (i) Para cálculo do bloco hidráulico, é considerada a participação média da geração hidráulica no atendimento dos requisitos do 11º (décimo primeiro) ao 15º (décimo quinto) ano da simulação para todas as 2.000 séries sintéticas, agregando valor econômico. Isso é feito através do cálculo de um fator (fator hidro), que valoriza a geração em cada mês e cada série pelo seu custo marginal de operação (CMO), calculado da seguinte forma:

Assunto	Submódulo	Revisão	Data de Vigência
METODOLOGIA DE CÁLCULO DA ENERGIA E DA POTÊNCIA ASSEGURADAS DE USINAS DESPACHADAS CENTRALIZADAMENTE	7.7 ANEXO 1	0.3	04/03/2008

$$FH = \frac{\sum_{s=1}^4 \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=11}^{15} \sum_{k=1}^{2000} gh(i, j, k, s) \times cmo(i, j, k, s)}{\sum_{s=1}^4 \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=11}^{15} \sum_{k=1}^{2000} \left[gh(i, j, k, s) + \sum_{l=1}^{nclas} gtt(i, j, k, l, s) \right] \times cmo(i, j, k, s)}$$

$$BH = \sum_{s=1}^4 ccrítica(s) \times FH$$

Sendo:

FH → fator hidro global

gh(*i, j, k, s*) → geração hidráulica total (controlável + fio d'água + vazão mínima), para o mês *i*, para o ano *j*, para a série *k* e para o subsistema *s*.

gtt(*i, j, k, l, s*) → geração da térmica *l* (mínima obrigatória e acima de mínima), para o mês *i*, para o ano *j*, para a série *k* e para o subsistema *s*.

cmo(*i, j, k, s*) → custo marginal de operação, para o mês *i*, para o ano *j*, para a série *k* e para o subsistema *s*.

i → índice de meses

j → índice de anos

l → índice de térmicas

k → índice de séries

s → índice de subsistemas

nclas → nº de térmicas

crítica(*s*) → carga crítica do subsistema *s*, cujo somatório representa a oferta global do sistema garantida a 95%

BH → bloco hidráulico da oferta global

(c) Obtenção da energia assegurada por usina:

(i) O bloco hidráulico é rateado por todas as usinas hidráulicas usadas na simulação, proporcionalmente às suas energias firmes¹. Essas, por sua vez, são obtidas a partir de uma simulação estática com configuração puramente hidráulica, em que são consideradas as vazões do período crítico² do SIN.

Assim, tem-se para o cálculo da energia assegurada de cada usina:

¹ Energia firme é a energia média gerada no período crítico do SIN que, de acordo com o critério vigente, compreende o período de junho de 1949 a novembro de 1956.

² Período crítico é aquele em que os reservatórios, partindo cheios e sem reenchimentos totais intermediários, são deplecionados ao máximo.

Assunto	Submódulo	Revisão	Data de Vigência
METODOLOGIA DE CÁLCULO DA ENERGIA E DA POTÊNCIA ASSEGURADAS DE USINAS DESPACHADAS CENTRALIZADAMENTE	7.7 ANEXO 1	0.3	04/03/2008

$$EA_u = \frac{EF_u}{EF_s} \times BH$$

Sendo:

$EA_u \rightarrow$ energia assegurada da usina

$EF_u \rightarrow$ energia firme da usina

$EF_s \rightarrow$ energia firme do sistema

$BH \rightarrow$ bloco hidráulico

Energia assegurada de usinas termoeletricas

O lastro físico das usinas termelétricas é obtido de forma idêntica ao cálculo do bloco hidráulico, compatível com o critério de operação otimizada do SIN. A oferta térmica é obtida da seguinte forma:

$$FT(l, s) = \frac{\sum_{i=1}^{12} \sum_{j=11}^{15} \sum_{k=1}^{2000} gt(i, j, k, l, s) \times cmo(i, j, k, s)}{\sum_{s=1}^4 \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=11}^{15} \sum_{k=1}^{2000} \left[gh(i, j, k, s) + \sum_{l=1}^{nts} gt(i, j, k, l, s) \right] \times cmo(i, j, k, s)}$$

$$ET(l, s) = FT(l, s) \sum_{s=1}^4 ccrítica(s)$$

Sendo:

$FT(l, s)$ \rightarrow Fator térmico da térmica l do subsistema s . Para se obterem valores individualizados por térmica, deve-se ter uma relação biunívoca térmica-classe térmica.

$gh(i, j, k, s)$ \rightarrow geração hidráulica total (controlável + fio d'água + vazão mínima), para o mês i , para o ano j , para a série k e para o subsistema s .

$gt(i, j, k, l, s)$ \rightarrow geração térmica total da térmica l (inflexibilidade + despacho por mérito), para o mês i , para o ano j , para a série k e para o subsistema s .

$cmo(i, j, k, s)$ \rightarrow custo marginal de operação, para o mês i , para o ano j , para a série k e para o subsistema s .

$i \rightarrow$ índice de meses

$j \rightarrow$ índice de anos

$l \rightarrow$ índice de térmicas

$k \rightarrow$ índice de séries

$s \rightarrow$ índice de subsistemas

$nts \rightarrow$ nº de térmicas do subsistema s

Assunto	Submódulo	Revisão	Data de Vigência
METODOLOGIA DE CÁLCULO DA ENERGIA E DA POTÊNCIA ASSEGURADAS DE USINAS DESPACHADAS CENTRALIZADAMENTE	7.7 ANEXO 1	0.3	04/03/2008

$ET(l,s)$ → energia assegurada da térmica l do subsistema s .

Se as usinas térmicas apresentarem energia assegurada maior que suas disponibilidades máximas [potência x fator de capacidade máxima x (1-TEIF) x (1-IP)], essa energia será limitada ao valor da disponibilidade máxima e o excesso será redistribuído pelas demais térmicas da configuração na proporção de suas energias asseguradas calculadas no passo anterior. Caso alguma das beneficiárias de uma parte do rateio ultrapasse sua disponibilidade máxima, será feito um re-rateio nos mesmos moldes.

Onde:

Fator de capacidade máxima (FCMAX) - fator que, multiplicado pela potência, resulta na potência máxima da usina

Taxa Equivalente de Indisponibilidade Forçada (TEIF) - taxa que indica em termos percentuais o valor esperado da indisponibilidade por motivos não programados

Taxa de Indisponibilidade Programada (IP) - taxa que indica em termos percentuais o valor esperado da indisponibilidade por motivos programados

Definição da potência assegurada

Potência assegurada de usinas hidroelétricas

A potência assegurada para as usinas hidroelétricas é definida com base em sua potência garantida, obtida conforme o critério resumido a seguir:

- (a) O valor da potência garantida de uma usina hidrelétrica corresponde a 95% de permanência de todos os valores mensais de potência, obtidos a partir da mesma simulação com o histórico de vazões que determinou o valor da energia firme da usina.

Para determinar a potência assegurada de uma usina, considera-se a sua potência disponível quando a usina estiver completamente motorizada; desse montante subtrai-se o consumo próprio da usina e sua parcela da reserva de potência – abrangendo inclusive a parcela relacionada a saídas intempestivas de unidades geradoras através do índice TEIF.

Assim sendo:

$$PD = PG \times (1 - TEIF)$$

$$PA = \frac{PD - 1,05 \times CP}{1,035}$$

Sendo:

PA → potência assegurada da usina

PD → potência disponível

PG → potência garantida

CP → consumo próprio da usina, considerado como 1% da sua potência instalada

Assunto	Submódulo	Revisão	Data de Vigência
METODOLOGIA DE CÁLCULO DA ENERGIA E DA POTÊNCIA ASSEGURADAS DE USINAS DESPACHADAS CENTRALIZADAMENTE	7.7 ANEXO 1	0.3	04/03/2008

Para calcular a potência assegurada de usinas hidroelétricas na fase de motorização, utiliza-se a equação para cálculo da potência assegurada, substituindo-se a potência garantida da usina hidroelétrica pela potência instalada na fase de motorização. Esse cálculo é feito até que o valor de mais uma unidade de motorização se iguale à potência assegurada. A partir daí, a potência assegurada na fase de motorização é a própria potência assegurada da usina.

Potência assegurada de usinas termoeletricas

Para as usinas termoeletricas, as potências asseguradas por unidade são iguais às suas disponibilidades máximas, a saber:

$$PA_t = POTEF \times FCMAX \times (1 - TEIF) \times (1 - IP)$$

Sendo:

PA_t → potência assegurada

POTEF → potência efetiva da usina termoeletrica

FCMAX → fator de capacidade máxima

TEIF → Taxa Equivalente de Indisponibilidade Forçada

IP → Taxa Equivalente de Indisponibilidade Programada

Ganhos incrementais de energia assegurada na cascata

- (a) Para a quantificação de possíveis ganhos de energia assegurada nas demais usinas a jusante na cascata, em função da inserção de uma usina hidroelétrica, calculam-se as energias asseguradas dessas usinas por meio de duas simulações:
 - (i) simulações em que se considera a inserção da usina; e
 - (ii) simulações sem a inserção da usina.
- (b) O ganho incremental é o somatório, se positivo, dos valores resultantes, em cada usina da cascata, da diferença entre a energia assegurada obtida a partir das simulações com a inserção da usina e a obtida sem a inserção da usina.

Premissas

- (a) A configuração estática abrange as usinas existentes e planejadas com concessão ou autorização já outorgadas na época de realização dos cálculos. A partir de 12/07/2001, a ANEEL, por meio do Fax nº 52/2001-DR/ANEEL, determina, salvo casos de orientação em contrário, que sejam considerados também os empreendimentos já licitados e com proposta vencedora, mesmo que os contratos de concessão ainda não tenham sido assinados.
- (b) Considera-se a variação sazonal do canal de fuga da UHE Tucuruí.
- (c) A UHE Serra da Mesa é representada no Norte como um reservatório sem máquinas, limitado a 55% de seu volume útil. No Sudeste é representada como aproveitamento completo, apontando para o mar.