

# **DEFINIÇÃO DO ARMAZENAMENTO MÍNIMO PARA A REGIÃO SUL, A SER CONSIDERADO NOS ESTUDOS DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO**

© 2018/ONS

Todos os direitos reservados.

Qualquer alteração é proibida sem autorização.

ONS NT 0145-2018

# **DEFINIÇÃO DO ARMAZENAMENTO MÍNIMO PARA A REGIÃO SUL, A SER CONSIDERADO NOS ESTUDOS DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO**

## Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b> .....	<b>4</b>
1.1	Característica operativas dos principais aproveitamentos da região Sul .....	5
<b>2</b>	<b>Conclusões</b> .....	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Metodologia</b> .....	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Resultados</b> .....	<b>8</b>
4.1	UHE Barra Grande, na bacia do rio Uruguai .....	8
4.2	UHE Salto Santiago, na bacia do rio Iguaçu .....	10
4.3	UHE Passo Real, na bacia do rio Jacuí .....	11
4.4	Informações Adicionais .....	12
4.5	Armazenamento Mínimo Equivalente para a Região Sul .....	13

## 1 Introdução

Os estudos de Planejamento Energético a médio prazo, principalmente aqueles cuja representação da operação hidráulica se dá a reservatório equivalente, devem incluir, em sua metodologia de tomada de decisão, mecanismos que garantam a continuidade do atendimento energético sem a necessidade de medidas especiais que, muitas vezes conduzem a flexibilizações ou não atendimento a restrições impostas aos aproveitamentos, mesmo não representando de forma detalhada as especificidades da operação de cada um destes aproveitamentos de forma individualizada.

Em outras palavras, as diretrizes de operação definidas na etapa de médio prazo, que nortearão as tomadas de decisão nas etapas de curto e curtíssimo prazos, devem pressupor a continuidade do atendimento energético do Sistema Interligado Nacional – SIN e de todas as restrições ambientais e de uso múltiplo da água impostas aos seus aproveitamentos hidrelétricos.

Desta forma, a não representação individualizada dos aproveitamentos hidrelétricos na modelagem do planejamento energético de médio prazo deve ser compensada com um nivelamento maior com as práticas adotadas na operação destes aproveitamentos, assim como a implementação de mecanismos na modelagem que reproduzam estas práticas.

A consideração de volumes mínimos de armazenamento para os subsistemas do SIN se enquadram no cenário proposto acima.

Neste contexto, a composição do volume mínimo a ser considerado para um determinado subsistema, no sentido de reproduzir a operação adotada em seus aproveitamentos, deve levar em consideração a relação entre a capacidade de armazenamento destes reservatórios e os requisitos de defluência que têm que ser atendidos por seus respectivos aproveitamentos.

Mais especificamente para a região Sul, em função da sua reduzida capacidade de armazenamento, cerca de 10% da energia máxima armazenável no região Sudeste/Centro-oeste, e dos requisitos de defluência mínima, devido a restrições ambientais e/ou de engolimento mínimo das unidades geradoras, o armazenamento mínimo proposto para o planejamento de médio prazo deve ser tal que garanta ainda a possibilidade de se adotar medidas especiais, nas etapas de curto e curtíssimo prazo, visando a manutenção da controlabilidade da geração em seus aproveitamentos, mesmo na condição de períodos sucessivos de reduzidas afluências.

Diante do exposto, este estudo buscou evidenciar não só as medidas especiais que são tomadas nas principais bacias da região Sul, bacias do Iguaçu, Uruguai e Jacuí, de forma a se preservar a continuidade da geração na região, medidas estas que podem conduzir à redução de vida útil dos equipamentos, mas também armazenamentos de segurança nestas bacias que reduzem a probabilidade de se

adotar estas medidas especiais, mesmo na ocorrência de períodos sucessivos de vazões reduzidas.

Visando entender melhor o proposto pelo estudo, onde se tenta ressaltar a importância de se estudar a relação entre a capacidade de armazenamento e o regime hidrológico dos aproveitamentos de um subsistema, de forma a se tentar estimar um valor de segurança, deve-se ressaltar que a reduzida capacidade de armazenamento dos reservatórios da região Sul conduz à elevada ocorrência de vertimentos nos aproveitamentos da região.

## 1.1 Característica operativas dos principais aproveitamentos da região Sul

A tabela 1.1.1, mostra os aspectos operativos observados na operação dos principais aproveitamentos da região Sul. Nela podem-se observar os requisitos de defluência considerados na análise apresentada neste documento para a definição dos níveis mínimos a serem considerados nos estudos de planejamento.

**Tabela 1.1-1 Aspectos operativos dos principais aproveitamentos da região Sul**

Bacia	Aproveitamento	volume Útil (hm <sup>3</sup> )	EARmáx (%EARmáx Sul)	Requisito de defluência	Motivação
Iguaçu	G. B. Munhoz	3805,00	30,3	-	
	S. Santiago	4112,92	16,4	-	
	Salto Osório	-	-	200 m <sup>3</sup> /s	Restrição ambiental
	Salto Caxias	-	-	400 m <sup>3</sup> /s	Engolimento mínimo - 1 UG
Uruguai	Barra Grande	2192,66	15,0	130 m <sup>3</sup> /s	Engolimento mínimo - 1 UG
	Machadinho	1055,81	4,6	283 m <sup>3</sup> /s	Engolimento mínimo - 1 UG
Jacuí	Passo Real	3356,80	14,9	105 m <sup>3</sup> /s	Engolimento mínimo - 1 UG

## 2 Conclusões

A análise constante deste documento evidencia a necessidade de se considerar, nos estudos de planejamento, níveis mínimos de cerca de 40% EARmáx, 20% EARmáx e 30% EARmáx nas bacias dos rios Uruguai, Iguaçu e Jacuí, respectivamente.

A partir destes valores recomenda-se a adoção de 30% EARmáx como o armazenamento equivalente mínimo para a região Sul nos estudos de planejamento.

### 3 Metodologia

Devido à capacidade reduzida de armazenamento dos aproveitamentos da região Sul, o atingimento de valores reduzidos de armazenamento nos principais reservatórios da região, conduz a um risco elevado, na ocorrência de períodos subsequentes de reduzidas afluências, da perda de controlabilidade da geração da usina.

Ressalta-se que, nas etapas de programação energética, pode-se lançar mão de medidas especiais de operação, tais como flexibilização de restrições e alteração no regime de operação de unidades geradoras, visando preservar os estoques nos reservatórios dos aproveitamentos. Porém, tais medidas não devem ser consideradas nos estudos de planejamento, devido ao seu caráter conjuntural, além da necessidade de se obter anuência do Agente proprietário, caso se necessite operar fora da faixa operativa normal da unidade geradora.

Neste contexto, o estudo considerou, para os reservatórios de Barra Grande, na bacia do rio Uruguai, Salto Santiago, na bacia do rio Iguaçu e Passo Real, na bacia do rio Jacuí, e partindo de armazenamentos iniciais de 10 %VU, 20 %VU, 30 %VU, 40 %VU ou 50 %VU, o risco de se atingir valores inferiores a 5 %VU, em período de até 5 meses seguidos, considerando as afluências naturais do histórico de vazões e a necessidade de se atender apenas o requisito de defluência mínima no aproveitamento.

Ressalta-se que no estudo o único requisito de defluência considerado foi o valor mínimo para a operação do próprio aproveitamento ou de aproveitamento a jusante, caso este se mostra mais restritivo. É o equivalente a considerar que, ao se atingir valores inferiores ao armazenamento mínimo proposto, a operação de preservação dos estoques poderia ser adotada em detrimento da operação energética.

A figura 3-1 mostra detalha graficamente o balanço hidráulico considerado no estudo:

**Figura 3-1 Obtenção da evolução do armazenamento coconsiderados no estudo**



Para cada mês do histórico, avaliou-se a evolução do armazenamento do determinado aproveitamento até 5 meses à frente, em função do requisito mínimo de defluência a ser atendido. Caso, considerando qualquer mês de um determinado ano do histórico de vazões como partida do estudo, se atinja, em até 5 meses subsequentes, armazenamentos inferiores a 5 %VU, classifica-se tal ano como um ano crítico, onde seria necessária a adoção de medidas especiais para garantir a controlabilidade da operação, ou mesmo o desligamento da usina.

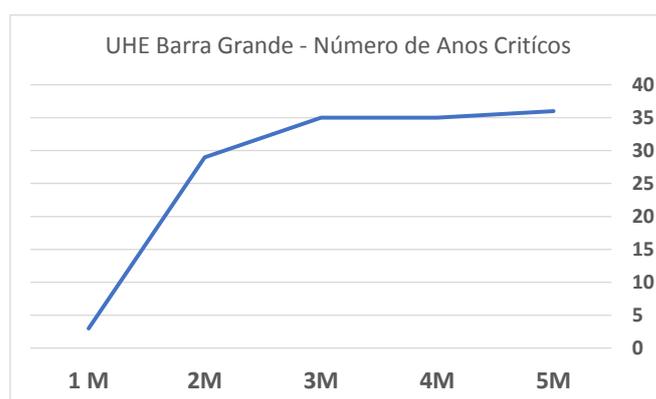
A consideração de um período de até 5 meses se justifica no efeito acumulado considerado o estudo. Ao se fazer análise, identificou-se que analisar a evolução do armazenamento somente no mês seguinte seria insuficiente, devido à alta probabilidade de ocorrer mais de um mês seguido de afluições reduzidas no reservatório. Então optou-se por acumular o efeito de mais de um mês a frente, sendo considerado de 2 a 6 meses à frente.

Porém, notou-se que acumular mais de três meses à frente na análise não agregava informação. Este fato se deve à maior probabilidade, em se considerando períodos superiores a três meses, de que haja elevação nas afluições suficiente para garantir a recuperação do armazenamento.

Neste contexto, e de forma a garantir que o período considerado seja suficiente para que se tenha a recuperação do reservatório, adotou-se o período de até 5 meses para avaliação da evolução dos armazenamentos.

A Figura 3-2 apresenta, a título de exemplo do exposto acima, para a usina de Barra Grande, o número de anos críticos identificados em função da profundidade, em meses à frente, considerado na análise. Observa-se que, para este exemplo, foi considerado o armazenamento inicial de 30 %VU.

**Figura 3-2 Número de anos críticos em função da profundidade da análise**



Pelo gráfico acima, nota-se que considerando apenas um mês a frente, atinge-se armazenamentos inferiores em apenas 3 anos. Quando aprofundamos o estudo para até de 2 e 3 meses, observa-se um aumento expressivo nos anos críticos para 29 e 35, respectivamente. A partir de 4 meses à frente não se nota ganho expressivo na análise. Desta forma, e como para os demais aproveitamentos estudados o efeito foi semelhante, adotou-se profundidade de 5 meses para a análise.

Desta forma, avaliou-se para cada valor de armazenamento inicial proposto no estudo, a quantidade de anos críticos, dentre os 87 anos do histórico de vazões, em que não foi possível atender a restrição de defluência mínima e permanecer em valores iguais ou superiores a 5 %VU.

## **4 Resultados**

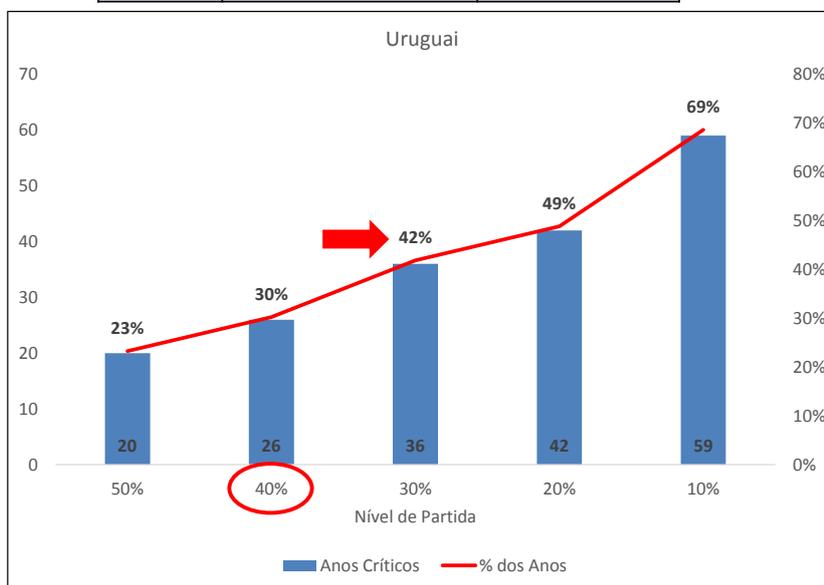
### **4.1 UHE Barra Grande, na bacia do rio Uruguai**

O reservatório da UHE Barra Grande corresponde a cerca de 50% da energia máxima armazenável na bacia do rio Uruguai. A análise considerou não só o requisito de defluência mínima de 130 m<sup>3</sup>/s da própria usina, que corresponde ao engolimento mínimo de uma unidade, mas também a restrição de 283 m<sup>3</sup>/s de referente à UHE Machadinho, imediatamente a jusante de Barra Grande. Ou seja, a defluência considerada para a UHE Barra Grande foi o maior valor entre sua própria defluência mínima, 130 m<sup>3</sup>/s, e o complemento necessário à vazão incremental à UHE Machadinho para atender sua defluência mínima, 283 m<sup>3</sup>/s.

A Figura 4.1-1 mostra, para a UHE Barra Grande, a quantidade de anos críticos identificados, em função do armazenamento inicial considerado:

**Figura 4.1-1 Resultados para a UHE Barra Grande**

Nível Inicial	Número de Anos Críticos	% dos Anos Críticos
50%	20	23%
40%	26	30%
30%	36	42%
20%	42	49%
10%	59	69%



Observa-se que ao se considerar armazenamento de 30% VU para a UHE Barra Grande, houve a identificação de 36 anos, correspondendo a 42% do histórico, ou seja, mais de um terço dos anos considerados, em que se atingiu valores inferiores a 5% VU no reservatório. Quando se considera armazenamento inicial de 40% VU, este número cai para 26 anos, 30% do histórico.

Esta análise mais quantitativa se mostra alinhada com a análise qualitativa comumente feita na etapa de Programação Energética. Acima de 40%  $EARM_{\max}$  na bacia do Uruguai a política pressupõe máxima exploração dos recursos da bacias, desde que os mesmos sejam alocáveis ou transferíveis. Para valores inferiores a 40%  $EARM_{\max}$  na bacia, faz-se um acompanhamento mais estrito das condições hidrometeorológicas na bacia, de forma a se definir a política de operação, podendo inclusive conduzir à necessidade de se manter minimizada a operação nas usinas de cabeceira, conduzindo à necessidade de se rever a política energética da região Sul, em função da significativa participação da geração da bacia do rio Uruguai no balanço energético da região.

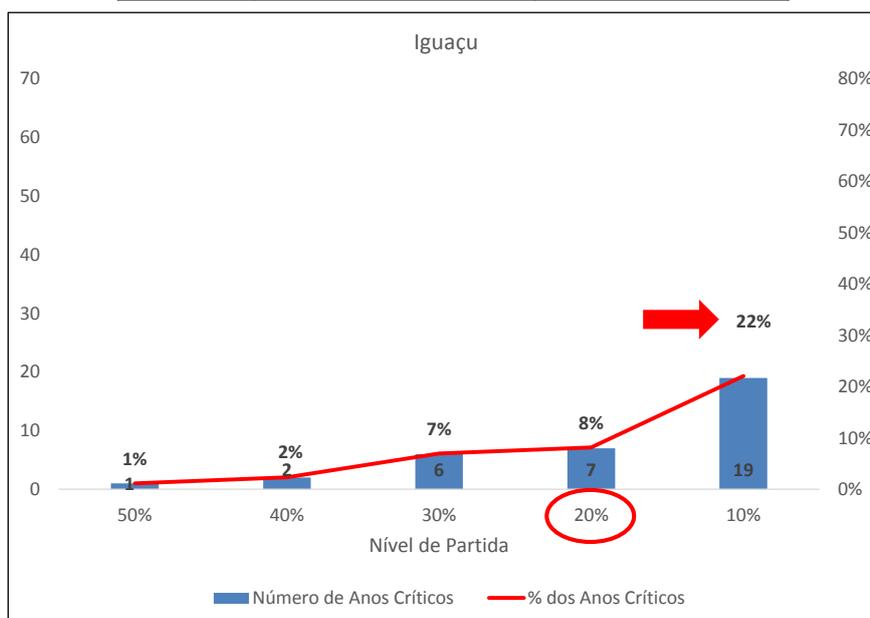
## 4.2 UHE Salto Santiago, na bacia do rio Iguaçu

O reservatório da UHE Salto Santiago é o maior da região Sul em volume útil, com 4.113 hm<sup>3</sup>. Além disso, Salto Santiago está imediatamente à montante das usinas a fio d'água de Salto Osório, com defluência mínima de 200 m<sup>3</sup>/s por questões ambientais, e Salto Caxias, cujo engolimento mínimo é de 400 m<sup>3</sup>/s, sendo responsável pelo atendimento aos requisitos de defluência das duas últimas. A necessidade de regularizar este atendimento foi considerado no estudo.

A Figura 4.2-1 mostra, para a UHE Salto Santiago, a quantidade de anos críticos identificados, em função do armazenamento inicial considerado:

**Figura 4.2-1 Resultados para a UHE Salto Santiago**

Nível Inicial	Número de Anos Críticos	% dos Anos Críticos
50%	1	1%
40%	2	2%
30%	6	7%
20%	7	8%
10%	19	22%



Observa-se que ao se considerar armazenamento de 10% VU para a UHE Salto Santiago, houve a identificação de 19 anos, correspondendo a 22% do histórico. Quando se considera armazenamento inicial de 20% VU, este número cai significativamente para 7 anos, 8% do histórico.

A bacia do rio Iguaçu, por possuir maior capacidade de armazenamento da região Sul, permite que se atinja valores mais baixos sem a necessidade de se rever a política energética visando a preservação de seus estoques de cabeceira.

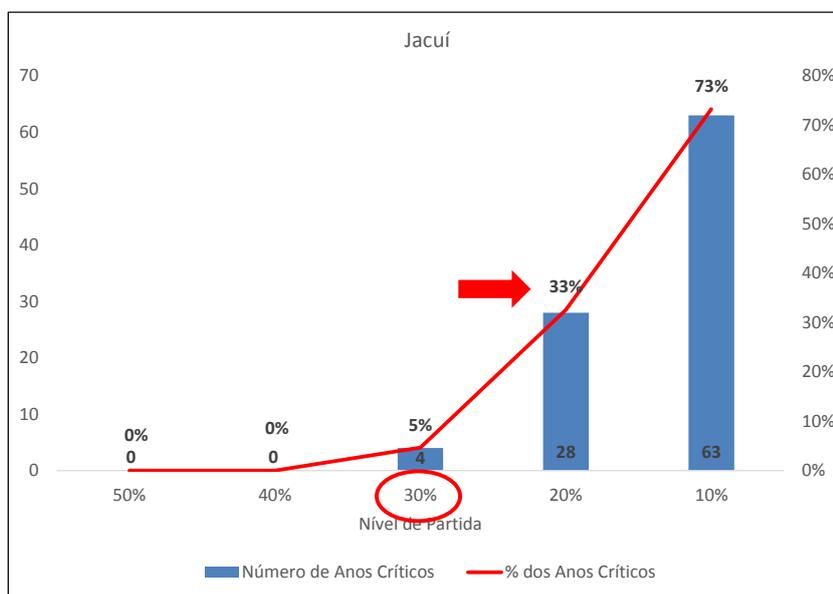
### 4.3 UHE Passo Real, na bacia do rio Jacuí

O reservatório da UHE Passo Real corresponde a cerca de 93% da energia máxima armazenável na bacia do rio Jacuí. A análise considerou o requisito de defluência mínima de 105 m³/s, que corresponde ao engolimento mínimo de uma unidade.

A Figura 4.3-1 mostra, para a UHE Passo Real, a quantidade de anos críticos identificados, em função do armazenamento inicial considerado:

**Figura 4.2-1 Resultados para a UHE Passo Real**

Nível Inicial	Número de Anos Críticos	% dos Anos Críticos
50%	0	0%
40%	0	0%
30%	4	5%
20%	28	33%
10%	63	73%



Observa-se que ao se considerar armazenamento de 20% VU para a UHE Passo Real, houve a identificação de 28 anos, correspondendo a 33% do histórico. Quando se considera armazenamento inicial de 30% VU, este número cai significativamente para 4 anos, 5% do histórico.

#### 4.4 Informações Adicionais

A bacia do rio Uruguai é responsável por cerca de 30 %EAR<sub>máx</sub> da região Sul. Além disso, os aproveitamentos desta bacia respondem por cerca de 38% da capacidade de armazenamento da região. Esta relação entre capacidade de armazenamento relativamente baixa e contribuição significativa na geração da região Sul, evidencia a necessidade de se preservar os estoques da bacia do rio Uruguai, de forma a garantir a continuidade desta geração e a segurança no atendimento energético à região Sul.

A tabela 4.4-1 mostra a correlação entre as vazões médias mensais históricas nas principais bacias da região Sul:

**Tabela 4.4-1 Correlação entre as vazões médias mensais nas bacias da região Sul**

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
~ 80% EAR <sub>SUL</sub> Iguaçu x Uruguai	0,83	0,79	0,76	0,81	0,84	0,79	0,82	0,75	0,72	0,67	0,86	0,84
Iguaçu x Jacuí	0,58	0,60	0,63	0,50	0,45	0,51	0,55	0,47	0,38	0,44	0,75	0,66
Uruguai x Jacuí	0,80	0,85	0,87	0,76	0,70	0,81	0,81	0,80	0,78	0,85	0,88	0,82

**NOV - MAI**  
**Semestre de menor MLT no Sul**

As bacias dos rios Iguaçu e Uruguai respondem, juntas, por cerca de 80 %EAR<sub>máx</sub> da região Sul. Além disso, nota-se alta correlação entre as vazões destas bacias, correlação esta que se intensifica nos meses onde se observa, historicamente, a redução nas vazões. Nota-se também alta correlação entre as bacias do Uruguai e do Jacuí.

Diante do exposto, observa-se que a proteção aos aproveitamentos das bacias da região Sul deve se dar de forma integrada.

Outro fato que se deve observar, ao se analisar as condições hidrológicas da região Sul, é o fato de seu regime hidrológico não ser tão bem definido quanto os das demais regiões do SIN. Isto torna mais premente a consideração de um volume mínimo para a região, ao longo de todo o ano, e não somente em um determinado mês. Além disso, a consideração do volume mínimo para a região Sul apenas no mês de novembro, em conformidade com as demais regiões, faz com que esta metodologia tenha pouca efetividade para a região Sul, já que este mês é de transição entre o período úmido e o período seco na região. A mês de transição entre o período seco e o período úmido na região Sul é maio.

#### 4.5 Armazenamento Mínimo Equivalente para a Região Sul

A tabela 4.5-1 mostra os armazenamentos mínimos indicados por bacia, conforme o estudo descrito neste documento. A partir destes valores calculou-se o armazenamento equivalente para a região Sul:

**Tabela 4.5-1 Armazenamento Equivalente para a Região Sul**

	%EARMáx do Sul	Armazenamentos Mínimos Recomendados (%EARMáx)	Armazenamentos Equivalente da Região Sul (%Earmax)
Iguaçu	51,0	20	27,9
Uruguai	29,9	40	
Jacuí	15,9	30	
Outras	3,2	30	

Desta forma, para que a proteção aos aproveitamentos das bacias se dê de forma integrada, recomenda-se, no planejamento, a adoção de armazenamento equivalente mínimo de 30 %EARMáx para a região Sul.

## Lista de figuras e tabelas

### Figuras

<b>Figura 3-1</b> Obtenção da evolução do armazenamento coconsiderados no estudo	<b>6</b>
<b>Figura 3-2</b> Número de anos críticos em função da profundidade da análise	<b>7</b>
<b>Figura 4.1-1</b> Resultados para a UHE Barra Grande	<b>9</b>
<b>Figura 4.2-1</b> Resultados para a UHE Salto Santiago	<b>10</b>
<b>Figura 4.2-1</b> Resultados para a UHE Passo Real	<b>11</b>

### Tabelas

<b>Tabela 1.1-1</b> Aspectos operativos dos principais aproveitamentos da região Sul	<b>5</b>
<b>Tabela 4.4-1</b> Correlação entre as vazões médias mensais nas bacias da região Sul	<b>12</b>
<b>Tabela 4.5-1</b> Armazenamento Equivalente para a Região Sul	<b>13</b>