

# SINERGIA HÍDRICA EM SISTEMAS INTEGRADOS DE RESERVATÓRIOS: estudos de casos relacionados com a Transposição das Águas do rio São Francisco.

*José Alexandre Moreira Farias<sup>1</sup>; Elano Lamartine Leão Joca<sup>2</sup>; Felipe Fernandes Viana de Araújo<sup>3</sup>; Pedro Henrique Augusto Medeiros<sup>4</sup> & Pedro Antônio Molinas<sup>5</sup>*

**RESUMO** --- A adução de águas exógenas para um sistema de reservatórios ou bacias receptoras pode incrementar a vazão regularizada além da vazão extra aduzida, traduzindo-se no denominado ganho sinérgico. Tal ganho é proveniente do melhor aproveitamento das aflúências naturais ao sistema, uma vez que é disponibilizada uma vazão adicional e suficiente para evitar o colapso no atendimento das demandas. Esse melhor aproveitamento das aflúências naturais é concretizado pela redução dos volumes vertidos e evaporados dos reservatórios, passando a ser estas as parcelas responsáveis pelo ganho sinérgico. Este artigo visa demonstrar, mediante a análise do reservatório Castanhão e de outros 15 reservatórios integrantes do Eixo Sul da Transposição do rio São Francisco, que tal transposição possibilita um ganho sinérgico nas vazões regularizada, decorrentes das reduções dos vertimentos e dos volumes evaporados desses reservatórios.

**ABSTRACT**--- The pumping of external water to a reservoirs system or receiving basins can increase the regulated flow besides the extra added flow, which can be denominated as the synergetic gain. Such gain is obtained from the best use of the natural inflows of the system, once an additional flow is provided and enough to avoid a collapse in supplying the demands. This best use of the natural inflows is obtained by the reduction of the spilled and evaporated volumes from the reservoirs, which are the amounts responsible for the synergetic gain. This paper aims to demonstrate, by means of the analysis of the Castanhão Reservoir and another 15 reservoirs that integrates the South Axis of the São Francisco River Water Transboundary Project, that such transboundary produces a synergetic gain in the regulated flows of the receiving basins, obtained by the reduction of the spilled and evaporated volumes of the reservoirs.

**Palavras-chave:** Sinergia hídrica, transposição de bacias, simulação integrada de reservatórios.

---

1) Msc. em Engenharia Civil, área de concentração - Recursos Hídricos – ACQUATOOL CONSULTORIA S/S, Av. Dom Luis n 300 – salas 708 e 707, 60160-230 Fortaleza – CE; Brasil. E-mail [jalexfarias@yahoo.com.br](mailto:jalexfarias@yahoo.com.br)

2) Msc. em Engenharia Civil, área de concentração - Recursos Hídricos – ACQUATOOL CONSULTORIA S/S, Av. Dom Luis n 300 – salas 708 e 707, 60160-230 Fortaleza – CE; Brasil. E-mail [ejoca@secrel.com.br](mailto:ejoca@secrel.com.br)

3) Msc. em Engenharia Civil, área de concentração - Recursos Hídricos – ACQUATOOL CONSULTORIA S/S, Av. Dom Luis n 300 – salas 708 e 707, 60160-230 Fortaleza – CE; Brasil. E-mail [felipearaujo@secrel.com.br](mailto:felipearaujo@secrel.com.br)

4) Msc. em Engenharia Civil, área de concentração - Recursos Hídricos – ACQUATOOL CONSULTORIA S/S, Av. Dom Luis n 300 – salas 708 e 707, 60160-230 Fortaleza – CE; Brasil. E-mail [pedrohmedeiros@hotmail.com](mailto:pedrohmedeiros@hotmail.com)

5) Engenheiro de Recursos Hídricos e Mestre em Recursos Hídricos. ACQUATOOL CONSULTORIA S/S Avenida Dom Luis, 300 – sala 708 – Meireles; Cep.: 60160-230; Fortaleza – CE; Brasil; Tel: (85) 32649700; [molinas@secrel.com.br](mailto:molinas@secrel.com.br)

## **INTRODUÇÃO**

Durante a realização de vários estudos envolvendo a Transposição das Águas do rio São Francisco, seja em seu Eixo Leste, em seu Eixo Norte ou em seu Eixo Sul, uma das conclusões mais representativas foi a confirmação do aumento das vazões regularizadas nas bacias receptoras, dadas as aduções de vazões exógenas aos sistemas integrados de reservatórios.

Por muito, houve o questionamento de qual parcela das águas era capaz de assegurar tal aumento garantido da oferta hídrica dos sistemas de reservatórios, uma vez que a vazão média aduzida continuamente não representava todo o incremento de vazões regularizadas.

Assim surgiu o conceito de sinergia hídrica, que representa a parcela de acréscimo de vazão regularizada pelo reservatório, ou sistema de reservatórios, que ultrapassa o acréscimo decorrente da vazão aduzida.

O presente artigo visa, então, esclarecer de que forma a adução de vazões exógenas às bacias receptoras das águas transpostas do rio São Francisco é capaz de prover ganhos de sinergia hídrica aos sistemas integrados de reservatórios.

### **Reservatórios e sistemas estudados**

Para o entendimento da sinergia hídrica serão analisados dois casos, quais sejam: os resultados sinérgicos do maior de todos os reservatórios receptores das vazões transpostas do rio São Francisco, no caso o reservatório Castanhão, localizado na bacia hidrográfica do rio Jaguaribe, no Estado do Ceará; e o sistema integrado de bacias receptoras constituintes do Eixo Sul da transposição, formado pelas bacias dos rios Salitre, Itapicuru, Paraguaçu e Vaza Barris, sendo as três primeiras localizadas no Estado da Bahia e a última localizada tanto no referido estado, como no Estado de Sergipe.

Cabe destacar que para o estudo da sinergia hídrica no reservatório Castanhão, este não poderia ser simulado isoladamente, uma vez que em sua bacia hidrográfica total existe um conjunto bastante representativo de reservatórios de porte considerável, destacando-se entre eles, os reservatórios Atalho e Orós.

Assim, o reservatório Castanhão foi simulado de forma integrada a estes dois reservatórios, sendo ainda incorporado ao sistema, todos os vertimentos resultantes da simulação de outros onze reservatórios de porte presentes na região do Médio – Alto Jaguaribe, dos quais cinco (Trussu, Poço de Pedra, Favelas, Várzea do Boi e Trici) encontram-se a montante do reservatório Orós e os demais seis reservatórios (Riacho do Sangue, Joaquim Távora, Lima Campos, Prazeres, Riacho dos

Carneiros II e Quixabinha), localizam-se na bacia hidrográfica incremental entre o reservatório Orós e o reservatório Castanhão.

Quanto ao sistema constituinte do Eixo Sul da Transposição do rio São Francisco, 128 reservatórios foram identificados, ao todo, entre reservatórios construídos, em projeto ou construção e com boqueirões potencialmente barráveis. Porém, a simulação integrada das bacias receptoras envolveu os 51 reservatórios mais representativos, distribuídos espacialmente nas bacias dos rios Salitre, Vaza Barris, Itapicuru e Paraguaçu. Esses reservatórios foram simulados de forma isolada (por bacia) e, depois, interligados com o eixo de adução das águas do rio São Francisco.

Ainda merece destaque que todas as informações necessárias para a simulação dos sistemas aqui considerados (Transposição ao Sistema do Médio – Alto Jaguaribe e Transposição ao Sistema do Eixo Sul) tais como características geométricas e curvas cota-área-volume, série de vazões afluentes, dados de evaporação e pluviometria, bem como as demandas a serem atendidas pelos reservatórios foram colhidos em estudos anteriormente elaborados, SRH (1991), FUNCATE (1999, 2003, 2004).

A extensão da simulação foi de 60 anos (1931 a 1990) para o sistema de reservatórios Castanhão – Atalho – Orós, integrantes do Eixo Norte da transposição; já para o sistema de reservatórios integrantes do Eixo Sul da transposição a simulação foi de 58 anos (1934 a 1991).

*Alguns dados sobre o sistema de reservatórios Castanhão, Orós e Atalho e reservatórios do Eixo Sul da transposição*

As Tabelas 1 e 2 apresentam, respectivamente, algumas informações básicas e hidrológicas sobre os reservatórios Castanhão, Orós e Atalho, e sobre os reservatórios que integram o Eixo Sul da transposição.

Tabela 1 – Alguns dados básicos e hidrológicos dos reservatórios Castanhão, Orós e Atalho

Reservatório	Bacia Hidrográfica	Capacidade (1.000m <sup>3</sup> )	Área da bacia não controlada (km <sup>2</sup> )	Precipitação Média Anual (mm)	Deflúvio Médio Anual (mm)	Coefficiente de Escoamento (%)
Castanhão*	Jaguaribe	4.451.660	16.822	843,1	66	7,83
Orós	Jaguaribe	1.956.300	20.011	706,4	42,9	6,07
Atalho	Jaguaribe	108.300	1.889	902,8	43,9	4,86

\* Capacidade restrita à cota da soleira do vertedouro

Tabela 2 – Alguns dados básicos e hidrológicos dos reservatórios do Eixo Sul da transposição

Reservatório	Status	Bacia Hidrográfica	Capacidade (1.000m <sup>3</sup> )	Área da bacia não controlada (km <sup>2</sup> )	Precipitação Média Anual (mm)	Defluvio Médio Anual (mm)	Coefficiente de Escoamento (%)
Abreus	Identificado	Salitre	30.000	10.600	471,3	0,7	0,15
Caatinga do Moura	Construído	Salitre	3.593	427	853,2	7,3	0,86
Adustina	Construído	Vaza Barris	13.430	295	853,0	35,0	4,10
Cocorobó	Construído	Vaza Barris	245.376	3.667	527,6	10,7	2,03
Gasparino	Projetado	Vaza Barris	48.608	7.185	702,9	12,0	1,71
Lagoa Preta	Identificado	Vaza Barris	101.941	1.705	684,3	59,3	8,67
Vaza Barris	Projetado	Vaza Barris	247.985	1.878	956,1	245,4	25,67
Alecrim	Identificado	Itapicuru	61.440	285	654,2	52,6	8,04
Algodões	Projetado	Itapicuru	7.409	64	914,6	207,8	22,72
Andorinha	Construído	Itapicuru	6.160	220	689,4	65,8	9,55
Andorinha II	Construído	Itapicuru	13.681	109	663,5	63,2	9,52
Angelim - Rio das Pedras	Identificado	Itapicuru	128.940	713	997,6	214,3	21,48
Barroca do Faleiro	Projetado	Itapicuru	7.205	473	783,4	93,0	11,87
Bela Vista	Construído	Itapicuru	4.232	364	766,5	118,9	15,51
Cachoeira Grande	Identificado	Itapicuru	15.915	276	961,7	100,2	10,42
Cruzeiro	Projetado	Itapicuru	801.500	5.580	606,1	34,2	5,64
Espanta Gado	Identificado	Itapicuru	32.955	505	694,6	127,4	18,34
Jacurici ou Rômulo Campos	Construído	Itapicuru	146.819	2.117	738,8	48,0	6,50
Paiaíá	Identificado	Itapicuru	9.113	64	1044,1	234,5	22,46
Passagem ou Quicé	Construído	Itapicuru	15.915	368	793,7	65,1	8,20
Pedras Altas	Construído	Itapicuru	38.449	1.688	972,6	97,2	9,99
Pindobaçu	Construído	Itapicuru	16.879	632	919,0	164,2	17,87
Ponto Novo	Construído	Itapicuru	39.600	897	906,3	165,3	18,24
Queimadas	Construído	Itapicuru	3.000	2.168	671,3	52,5	7,82
Quijingue	Projetado	Itapicuru	29.300	1.201	693,1	46,5	6,71
Rio do Peixe	Construído	Itapicuru	8.323	980	779,7	67,6	8,67
Serrote	Construído	Itapicuru	10.776	102	782,6	86,4	11,04
Sohem	Construído	Itapicuru	35.750	245	733,9	76,9	10,48
Várzea Formosa	Projetado	Itapicuru	80.000	736	719,7	45,3	6,29
Aimoré	Projetado	Jacuípe (Paraguaçu)	7.391	249	909,1	52,8	5,81
Angico	Construído	Jacuípe (Paraguaçu)	3.200	22	970,0	41,1	4,24
Arroz	Construído	Jacuípe (Paraguaçu)	1.832	13	616,8	29,3	4,75
França	Construído	Jacuípe (Paraguaçu)	24.189	2.064	826,5	36,4	4,40
Quatis	Identificado	Jacuípe (Paraguaçu)	13.265	131	1045,2	233,3	22,32
Jacuípe	Construído	Jacuípe (Paraguaçu)	218	1.475	835,3	37,7	4,51
São José do Jacuípe	Construído	Jacuípe (Paraguaçu)	360.900	435	815,4	53,8	6,60
Apertado	Construído	Paraguaçu	108.694	773	1044,1	321,9	30,83
Baixa Grande	Identificado	Paraguaçu	25.920	235	1058,8	57,8	5,46
Bananeira	Identificado	Paraguaçu	23.347	476	764,7	113,9	14,89
Bandeira de Melo	Projetado	Paraguaçu	111.590	11.136	950,0	136,4	14,36
Baraúnas	Projetado	Paraguaçu	38.748	1.182	763,3	114,2	14,96
Casa Branca	Projetado	Paraguaçu	22.371	133	1139,0	390,0	34,24
Integral	Projetado	Paraguaçu	23.730	438	896,0	142,8	15,94
Iraquara	Identificado	Paraguaçu	15.641	452	670,2	94,5	14,10
Juracy Magalhães	Construído	Paraguaçu	4.630	728	862,0	42,8	4,97
Macajuba	Identificado	Paraguaçu	156.600	2.888	926,7	47,8	5,16
Pedra do Cavalo	Construído	Paraguaçu	4.630.960	27.544	792,0	17,0	2,15
Riacho dos Poços	Construído	Paraguaçu	9.167	155	652,4	55,8	8,55
Rocinha ou Cotia	Construído	Paraguaçu	720	475	787,5	124,6	15,82
Saracura	Identificado	Paraguaçu	8.920	659	707,2	54,8	7,75
Una	Identificado	Paraguaçu	68.782	2.055	885,8	112,0	12,64

## CONSIDERAÇÕES METODOLÓGICAS

Para se determinar o ganho sinérgico de um reservatório ou de um sistema integrado de reservatórios é necessário que se estude a capacidade regularizadora dos mesmos, simulando retiradas d'água segundo determinadas regras, a fim de que se conheça a real oferta hídrica do sistema. Deve-se deixar claro que essa oferta está associada a uma determinada garantia de atendimento.

A metodologia usual para a avaliação da disponibilidade hídrica de um dado reservatório tem como ponto central a chamada equação do balanço hídrico, a qual contabiliza todas as afluições ou aportes aos reservatórios bem como todas as retiradas ou eventuais vertimentos. Essa equação tem, em geral, a seguinte formulação:

$$V_{r_i} = V_{r_{i-1}} + V_{a_i} + V_{p_i} - V_{e_i} - V_{v_i} - Q_{ab_i} \quad (01)$$

onde:

$V_{r_i}$  = volume armazenado no mês  $i$ ;  $V_{r_{i-1}}$  = volume armazenado no mês  $i-1$ ;  $V_{a_i}$  = volume afluyente ao reservatório no mês  $i$ ;  $V_{p_i}$  = volume precipitado diretamente sobre o espelho d'água no mês  $i$ ;  $V_{e_i}$  = volume evaporado no reservatório no mês  $i$ ;  $V_{v_i}$  = volume vertido no mês  $i$ ;  $Q_{ab_i}$  = volume regularizado ou retirado no mês  $i$ .

No caso de simulação integrada do sistema, onde a topologia dos reservatórios é considerada, os eventuais volumes vertidos por um dado reservatório podem se constituir em volumes afluentes a reservatórios localizados a jusante. Nesse caso, a equação do balanço hídrico adquire a seguinte forma:

$$V_{r_i} = V_{r_{i-1}} + V_{a_i} + V_{p_i} + V_{vm_i} - V_{e_i} - V_{v_i} - Q_{ab_i} \quad (02)$$

onde:  $V_{vm_i}$  = volume vertido a montante no mês  $i$ .

O procedimento de simulação da operação de um reservatório consiste, portanto, na solução da equação apresentada acima para cada um dos períodos (meses) da simulação. Durante a solução das referidas equações são consideradas, ainda, as seguintes restrições:

Quando  $V_{r_i}$  ultrapassa a capacidade máxima do reservatório:

$$V_{r_i} > Q_{ab_i} \Rightarrow Q_{ab_i} = 0 \quad (03)$$

$$V_{v_i} < Q_{ab_i} \Rightarrow Q_{ab_i} = Q_{ab_i} - V_{v_i} \quad (04)$$

Quando o reservatório em um dado mês não conseguir suprir a vazão retirada, vale então para esses meses:

$$Q'_{ab_i} < Q_{ab} \quad (05)$$

com:  $Q'_{ab_i}$  = vazão retirada nos meses secos extremos.

Quando ocorre o segundo caso, denomina-se falha do reservatório no suprimento. A garantia de abastecimento (g) para uma certa vazão regularizada pré-fixada é dada pela relação entre o número de falhas anotadas no período de simulação (nv) e o número de períodos simulados (n):

$$g = \left(1 - \frac{nv}{n}\right) * 100 \quad (06)$$

A solução da equação do balanço hídrico e o correspondente cálculo de “g” para uma faixa de valores de vazão regularizada permite o estabelecimento da chamada curva de garantia do reservatório, curva esta que relaciona vazão regularizada com níveis de garantia.

O nível de garantia adotado usualmente em estudos hidrológicos para fins hidroagrícolas no Brasil é de 90%, sendo de 95% para fins energéticos, e de 99 – 100 % para fins de abastecimento humano e industrial.

Uma outra forma de operar os reservatórios é considerando o conceito de “volume de alerta”, que corresponde ao volume a partir do qual apenas um percentual da vazão regularizada pode ser retirado, denominado vazão de emergência. A introdução desse conceito na regra de operação resulta em:

$$Q_{ab_i} = \begin{cases} Q_r \Leftrightarrow V_{i+1} \geq V_a \\ \%Q_r \Leftrightarrow V_a \geq V_i \geq V_{\min} \\ 0 \Leftrightarrow \left[ V_i + Q_a - E_i \left( \frac{A_i + A_{i+1}}{2} \right) \right] \leq V_{\min} \\ Q_v < \%Q_r \Leftrightarrow V_{i+1} \geq V_{\min} \end{cases} \quad (07)$$

$$V_{i+1} \leq V_{\max} \rightarrow i=1,2,\dots,n$$

onde,

$V_i$ ,  $V_{i+1}$ ,  $A_i$ ,  $A_{i+1}$  são, respectivamente, os volumes e as áreas do espelho d'água do reservatório para os instantes de tempo  $i$  e  $i+1$  da simulação;  $V_a$  é o volume de alerta;  $\%Q_r$  é a vazão de emergência;  $Q_{abi}$  é a vazão retirada;  $E_i$  é a parcela de evaporação;  $Q_{ai}$  é a vazão afluente ao reservatório, todas respectivamente no intervalo de tempo  $i$  da simulação,  $V_{\min}$  e  $V_{\max}$ ,

respectivamente o volume mínimo operacional e a capacidade máxima do reservatório;  $Q_v$ , a vazão de falha e “n” o número de intervalos de tempo simulados.

Assim, conhecendo-se qual a oferta hídrica regularizada pelos reservatórios condicionados apenas aos seus regimes naturais de afluições, a sinergia do sistema pode ser determinada bastando simular novamente o mesmo sistema, agora, incrementando tais afluições naturais com as aduções da transposição do rio São Francisco, ou seja, incorporando vazões exógenas às bacias receptoras. A sinergia seria então, conforme anteriormente descrito, a parcela de acréscimo de vazão regularizada pelo reservatório, ou sistema de reservatórios, que ultrapassa o acréscimo decorrente da vazão aduzida.

Descrevendo a sinergia em termos de equação, tem-se o seguinte:

$$\text{Sinergia} = Q_{r-ct} - Q_{r-st} - Q_{sf} \quad (08)$$

onde  $Q_{r-ct}$  é vazão ponderada contínua obtida a partir da vazão regularizada pelo reservatório para uma determinada adução;  $Q_{r-st}$  é vazão ponderada contínua obtida a partir da vazão regularizada pelo reservatório sem aportes exógenos;  $Q_{sf}$  é a vazão média aduzida continuamente.

Deve-se observar ainda que caso haja a adução de vazões que não sejam provenientes do rio São Francisco (por exemplo, seja considerada a adução de águas subterrâneas de forma integrada ao sistema de reservatórios), ou haja alguma modificação no regime das afluições provenientes dos vertimentos nos reservatórios ou sistemas localizados a montante, modificações estas decorrentes de alterações na regra operacional dos reservatórios em virtude do aporte hídrico da transposição, a equação 08 passa a ser reescrita da seguinte forma:

$$\text{Sinergia} = Q_{r-ct} - Q_{r-st} - Q_{sf} - Q_{ex} - \Delta Q_{AF} \quad (09)$$

onde  $Q_{ex}$  é um aporte médio contínuo não advindo da Transposição do rio São Francisco (por exemplo, um aquífero); e  $\Delta Q_{AF}$  é uma possível diferença no regime das afluições resultantes dos vertimentos de montante, decorrente de mudanças nas regras de operação do sistema, a ser considerada sobremaneira quando se está calculando a sinergia em um reservatório ou sistema integrado parcialmente. Obviamente que a equação 09 poderá apresentar ambos os termos  $Q_{ex}$  e  $\Delta Q_{AF}$  nulos e/ou não nulos, alternadamente, dependendo da situação analisada.

Assim é que essa parcela de acréscimo da vazão regularizada, descrita como sinergia hídrica, é proveniente do melhor aproveitamento das águas que naturalmente aportam aos reservatórios e que eram antes (sem a adução de vazões exógenas), não aproveitadas e transformadas em vertimentos e evaporações.

Nesse sentido é que a parcela da vazão contínua de ganho sinérgico determinada pela equação 09 deverá ser igual à soma das variações de todas as vazões efluentes com e sem a adução das águas do rio São Francisco, ou seja:

$$\text{Sinergia} = \Delta Vert + \Delta Evap + \Delta Acum \quad (10)$$

onde:  $\Delta Vert$  = Variação entre o que vertia sem a transposição e o que passa a verter com a transposição;  $\Delta Evap$  = Variação entre o que evaporava sem a transposição e o que passa a evaporar com a transposição;  $\Delta Acum$  = Variação entre a diferença de volume acumulado nos reservatórios no final da simulação, em relação ao volume acumulado inicialmente, em ambas situações (com e sem a transposição).

Deve-se observar que a parcela final da equação 10 ( $\Delta Acum$ ) passa a ser relevante à medida que os reservatórios envolvidos apresentam volumes úteis consideráveis, como por exemplo, o reservatório Castanhão, cujo volume útil é superior aos 4 bilhões de m<sup>3</sup>.

## MODELO DE SIMULAÇÃO UTILIZADO

Dada a complexidade das simulações aqui consideradas, envolvendo um sistema com 51 reservatórios interligados e, ao mesmo tempo, recebendo volumes aduzidos do rio São Francisco, variando entre zero e um valor máximo pré-estabelecido, de acordo com a necessidade hídrica desse sistema, procurou-se utilizar um modelo de simulação que permitisse estruturar uma gama bem elevada de interligações, não só entre os reservatórios, mas entre os pontos de afluições exógenas e as diversas demandas associadas.

Assim, adotou-se o AcquaNet, que se trata de um modelo de rede de fluxo para simulação de bacias hidrográficas. Com ele, podem-se montar redes com um grande número de reservatórios, demandas e trechos de canais (da ordem de alguns milhares), representando o problema em estudo de forma bastante detalhada (USP, 2002).

Tal modelo também foi utilizado na simulação do sistema composto pelos reservatórios Castanhão, Orós e Atalho.

Na aparência, o AcquaNet, desenvolvido pelo LabSid da Escola Politécnica da USP, é bastante semelhante ao modelo ModSimP32. Entretanto, os dois modelos são completamente diferentes quando se considera o funcionamento e o armazenamento/leitura de dados e resultados. O ModSimP32 funciona com arquivos próprios e é completamente responsável pela criação e atualização destes arquivos. Já o AcquaNet armazena todos os dados e resultados em Bancos de Dados no formato do Microsoft Access e aproveita a estrutura e a funcionalidade possibilitada pela utilização de arquivos neste formato.

A aplicação deste modelo com sucesso a sistemas complexos de reservatórios exige que os modelistas tenham um acurado conhecimento destes, haja vista que o processo de simulação envolve a escolha de “parâmetros” e “volumes alvos” que devem ser objeto de uma otimização do tipo heurística.

## RESULTADOS OBTIDOS

Para uma melhor compreensão tanto do sistema integrado dos reservatórios Castanhão, Orós e Atalho, como do Eixo Sul da transposição, tais sistemas são apresentados, respectivamente, nas Figuras 1 e 2, com toda a estrutura de interligação natural e de canais de adução. Nessas 2 figuras, as vazões mostradas nos *links* que representam os canais por onde passariam as águas transpostas são referentes a um bombeamento contínuo de 24 horas por dia, ou seja, vazões máximas contínuas.

Merece destacar que em ambos os sistemas simulados, para determinar as vazões que poderiam ser aduzidas do rio São Francisco, foi incorporado o reservatório Sobradinho e as demandas associadas ao mesmo, como a demanda destinada à CHESF, atendida com uma garantia correspondente a energia firme, assegurando assim, a disponibilização apenas das águas do rio São Francisco que não seriam necessárias para atender as demandas que ocorrem na bacia doadora, inclusive a exigência de manter 1.300 m<sup>3</sup>/s na foz do rio São Francisco.

Para o Eixo Sul da transposição ainda foi considerada uma vazão contínua de 3,1 m<sup>3</sup>/s fornecida à bacia do rio Vaza Barris proveniente do aquífero Tucano, atendendo parcialmente algumas demandas.

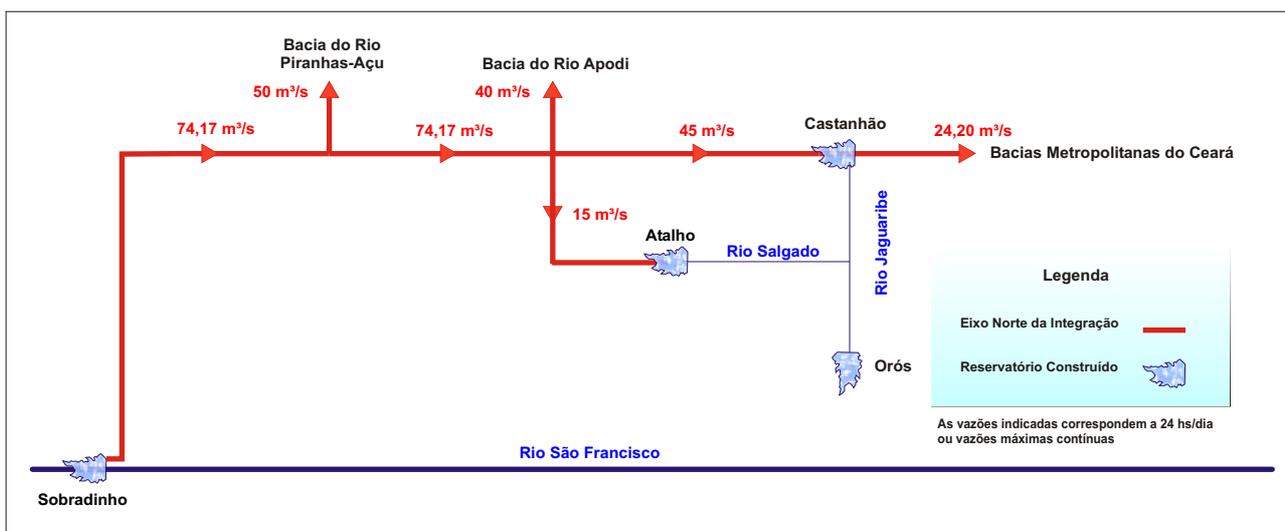


Figura 1. Sistema integrado dos reservatórios Castanhão, Orós e Atalho

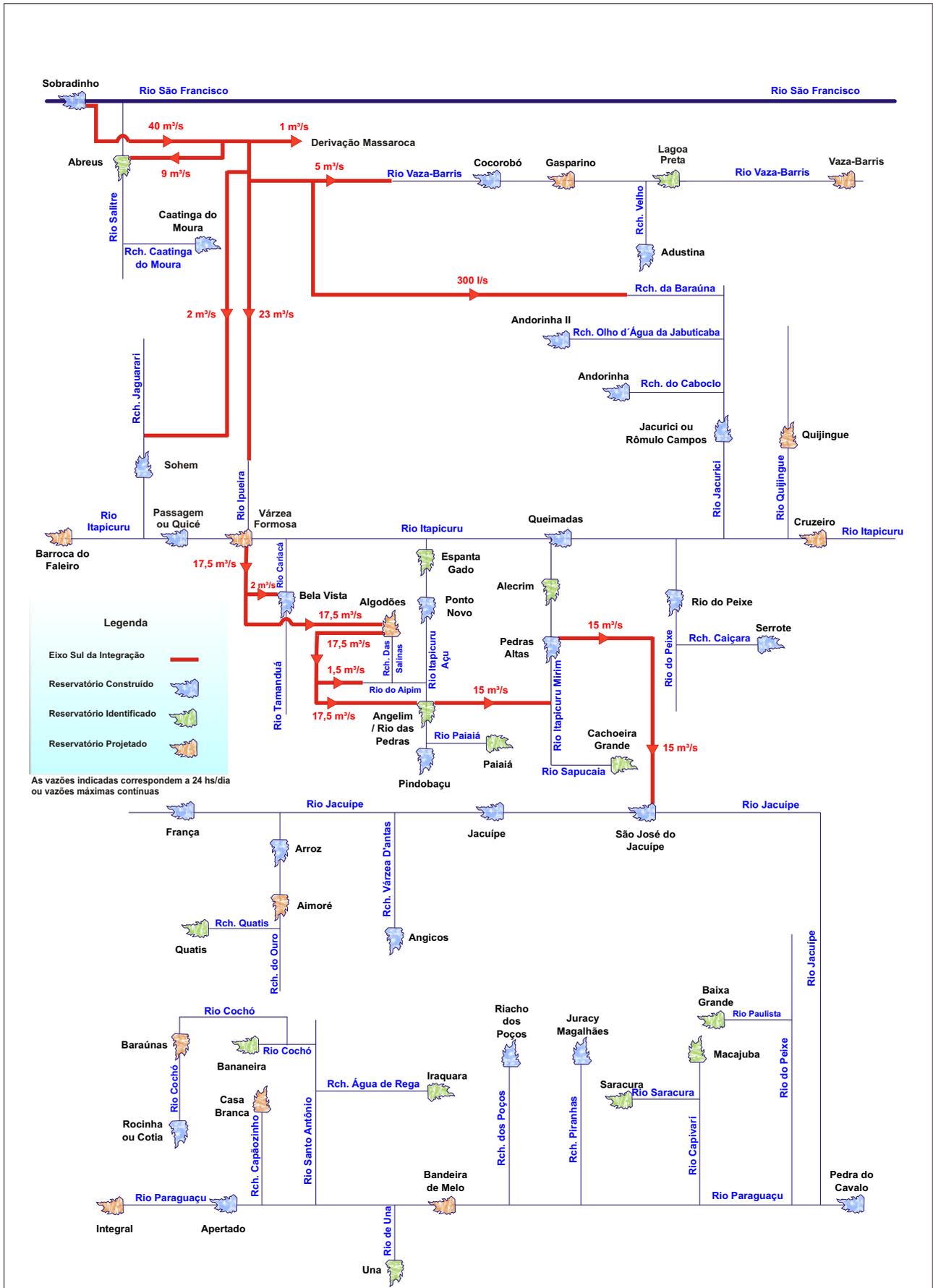


Figura 2. Sistema integrado do Eixo Sul da Transposição

A Tabela 3 mostra os resultados da simulação de 15 reservatórios do sistema do Eixo Sul que recebem diretamente águas aduzidas do rio São Francisco, ou estão associados ao atendimento de demandas de projetos de irrigação integrados.

Já a Tabela 4 mostra os resultados do reservatório Castanhão, contemplando sua simulação integrada com os reservatórios Orós e Atalho e a adução do rio São Francisco.

Nessas duas tabelas é mostrada qual a capacidade de regularizar vazões do reservatório Castanhão e dos 15 reservatórios componentes do Eixo Sul, antes da integração das águas do rio São Francisco e após essa integração, podendo-se assim, calcular o ganho sinérgico desses sistemas, conforme a equação 09.

Como se pode observar, o conceito de volume de alerta (volume a partir do qual são retiradas as vazões de emergência) foi definido de forma a assegurar que 75% da vazão regularizada com cerca de 90% de garantia fosse fornecida durante os períodos de falhas, uma vez que tais vazões foram associadas a demandas que não suportariam ocorrência de “falhas”.

Assim, os 15 reservatórios avaliados no Eixo Sul da transposição do rio São Francisco regularizariam uma vazão fictícia contínua de 18,0 m<sup>3</sup>/s, sem a transposição. Em seguida, com a adução de uma vazão média contínua de 18,1 m<sup>3</sup>/s, esses mesmos reservatórios passam a regularizar uma vazão fictícia contínua de 46,1 m<sup>3</sup>/s.

Ora, a diferença entre as vazões regularizadas com e sem a transposição do rio São Francisco é de 28,1 m<sup>3</sup>/s que, descontadas a vazão média aduzida continuamente de 18,1 m<sup>3</sup>/s e a vazão contínua proveniente do aquífero Tucano (3,1 m<sup>3</sup>/s), resulta em 6,9 m<sup>3</sup>/s, sendo este então, o valor do ganho sinérgico dos 15 reservatórios envolvidos na análise do Eixo Sul da transposição. Tal ganho representa um percentual de 15,0% em relação à nova vazão fictícia contínua.

Já no caso do reservatório Castanhão, este regularizaria uma vazão fictícia contínua sem a transposição de 16,0 m<sup>3</sup>/s (para o conceito de volume de alerta que atende sempre 75% da vazão regularizada com 90% de garantia). Com a adução das águas do rio São Francisco, em seu Eixo Norte, tal reservatório passa a regularizar, de forma contínua, uma vazão fictícia total de 28,9 m<sup>3</sup>/s, atendendo centros de demandas compostos por projetos de irrigação e por consumo urbano.

Cabe salientar que no sistema aqui simulado o reservatório Castanhão fornece ainda uma vazão média contínua de 7,6 m<sup>3</sup>/s ao sistema de Bacias Metropolitanas do Estado do Ceará. Dessa forma, a diferença entre as vazões médias regularizadas antes da transposição e após a transposição resulta em uma vazão média contínua de 20,5 m<sup>3</sup>/s.

Tabela 3 – Ganho Sinérgico do Eixo Sul da transposição do rio São Francisco

Bacia Hidrográfica do rio Principal	Reservatório	Capacidade	Sem Integração das Águas do Rio São Francisco					Com Integração das Águas do Rio São Francisco					Vazão Máxima Aduzida (Eixo Sul)	Vazão Média Aduzida (Eixo Sul)	Ganho Sinérgico	
			Qreg	Gar. de Qreg	Vazão de Emergência (75% de Qreg)	Gar. da Vazão de Emergência	Vazão Fictícia Contínua (VFC)	Qreg	Gar. de Qreg	Vazão de Emergência (75% de Qreg)	Gar. da Vazão de Emergência	Vazão Fictícia Contínua (VFC)				
			hm³	m³/s	%	m³/s	%	m³/s	%	m³/s	%	m³/s				
Salitre	Abreus	30,00	0,0	73,0%	0,0	0,0%	0,0	9,1	90,8%	6,8	100,0%	8,9	10,0	8,8	0,1	1,1%
Vaza Barris	Cocorobó	245,38	1,0	89,8%	0,8	99,7%	4,7	1,3	89,4%	1,0	99,7%	11,0	5,0	2,2	1,0	9,1%
	Gasparino	48,61	1,3	90,5%	1,0	100,0%		1,1	91,0%	0,8	100,0%					
	Lagoa Preta	101,94	2,5	89,8%	1,9	100,0%		4,0	89,7%	3,0	100,0%					
		0,6	90,5%	0,4	100,0%											
Itapicuru	Algodões	7,41	0,2	90,2%	0,2	100,0%	6,5	5,3	90,7%	4,0	99,3%	5,1	25,0	7,1	5,8	22,1%
	Angelim - Rio das Pedras	128,94	3,7	90,5%	2,8	100,0%										
	Bela Vista	4,23	0,2	90,1%	0,2	99,9%										
	Espanta Gado	32,96	1,2	90,5%	0,9	99,9%	2,5	6,5	90,8%	4,9	99,6%	6,3				
	Ponto Novo	39,60	1,4	90,1%	1,1	100,0%										
	Barroca do Faleiro	7,20	0,3	90,2%	0,2	100,0%										
	Sohem	35,75	0,5	89,5%	0,4	100,0%										
	Passagem ou Quicé	15,92	0,6	89,5%	0,5	100,0%										
	Vazea Formosa	80,00	1,2	90,7%	0,9	100,0%										
Pedras Altas	38,45	2,0	90,2%	1,5	100,0%	4,3	9,2	90,1%	6,9	99,9%	14,8					
Jacuípe (Paraguaçu)	São José do Jacuípe	360,90	2,4	89,9%	1,8		100,0%	6,0	92,4%	4,5		99,7%				
<b>TOTAL</b>		<b>1.177,28</b>	<b>18,5</b>				<b>18,0</b>	<b>47,5</b>				<b>46,1</b>	<b>40,0</b>	<b>18,1</b>	<b>6,9</b>	<b>15,0%</b>

OBS.: Considerou-se o aquífero Tucano disponibilizando uma vazão constante de 3.1 m³/s à bacia do rio Vaza Barris, atendendo parcialmente alguns projetos de irrigação

- Capacidade: volume máximo acumulado pelo reservatório
- Qreg: vazão regularizada
- Gar. de Qreg: percentual de tempo de fornecimento da vazão regularizada
- Vazão de Emergência: vazão correspondente nesse estudo à 75% da vazão regularizada
- Gar. da Vazão de Emergência: percentual de tempo de fornecimento da vazão de emergência
- Vazão Fictícia Contínua (VFC):  $Qreg \times Gar. de Qreg + Vazão de Emergência \times (Gar. da Vazão de Emergência - Gar. de Qreg)$
- Vazão Máxima Aduzida: vazão máxima escoada continuamente no canal de adução
- Vazão Média Aduzida: vazão média escoada continuamente no canal de adução
- Ganho Sinérgico: vazão extra regularizada proveniente da sinergia hídrica positiva

Tabela 4 – Ganho Sinérgico do reservatório Castanhão, com a integração do Eixo Norte da transposição do rio São Francisco

Bacia Hidrográfica do rio Principal	Reservatório	Capacidade	Sem Integração das Águas do Rio São Francisco					
			Qreg	Gar. de Qreg	Vazão de Emergência (75% de Qreg)	Gar. da Vazão de Emergência	Vazão Fictícia Contínua (VFC)	
			m <sup>3</sup> /s	%	m <sup>3</sup> /s	%	m <sup>3</sup> /s	
Jaguaribe	Castanhão	4.451,6	16,4	90,6%	12,3	99,9%	16,0	
			Com Integração das Águas do Rio São Francisco					
			Qreg	Gar. de Qreg	Vazão de Emergência (75% de Qreg)	Gar. da Vazão de Emergência	Vazão Fictícia Contínua (VFC)	Vazões Médias Aduzida do Res. Castanhão para as Bacias Metropolitanas do Ceará
			m <sup>3</sup> /s	%	m <sup>3</sup> /s	%	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
			7,6	89,6%	5,7	100,0%	7,4	7,6
			21,7	91,5%	16,3	99,6%	21,2	
			0,3	94,2%	-	-	0,3	
			Análise Sinérgica					
			Vazão Máxima Aduzida ao Res. Castanhão	Vazão Média Aduzida ao Res. Castanhão	Varição das Vazões Médias Vertidas de Res. a Montante do Res. Castanhão	Total das Vazões Médias Aduzadas	Ganho Sinérgico	
			m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	% VFC
45,0	4,8	5,6	10,3	10,2	27,9%			

- Capacidade: volume máximo acumulado pelo reservatório

- Qreg: vazão regularizada

- Gar. de Qreg: percentual de tempo de fornecimento da vazão regularizada

- Vazão de Emergência: vazão correspondente nesse estudo à 75% da vazão regularizada

- Gar. da Vazão de Emergência: percentual de tempo de fornecimento da vazão de emergência

- Vazão Fictícia Contínua (VFC):  $Q_{reg} \times Gar. de Q_{reg} + Vazão de Emergência \times (Gar. da Vazão de Emergência - Gar. de Q_{reg})$

- Vazão Máxima Aduzida: vazão máxima escoada continuamente no canal de adução

- Vazão Média Aduzida: vazão média escoada continuamente no canal de adução

- Ganho Sinérgico: vazão extra regularizada proveniente da sinergia hídrica positiva

Para que o reservatório Castanhão fosse capaz de fornecer uma vazão média contínua associada às garantias apresentadas na tabela 4, foi necessário transpor não mais que uma vazão média contínua de 4,8 m<sup>3</sup>/s. Esse valor reduzido se deve às mudanças ocorridas no regime de vertimento dos reservatórios Atalho e Orós, onde o primeiro passa a receber também águas da transposição e o segundo passa a atender apenas os centros de demandas localizados no trecho compreendido entre este e o reservatório Castanhão, não implicando, obrigatoriamente, na exaustão das disponibilidades hídricas do reservatório Orós. Dessa forma é que o reservatório Castanhão, após a transposição, recebe um incremento médio contínuo de 5,6 m<sup>3</sup>/s, em termos de vertimentos dos reservatórios Atalho e Orós.

A sinergia hídrica do reservatório Castanhão é, então, a diferença entre a vazão média contínua de 20,5 m<sup>3</sup>/s regularizados a mais após a transposição, e o total da vazão média contínua de 10,3 m<sup>3</sup>/s afluente a este reservatório (4,8 m<sup>3</sup>/s diretamente da transposição e 5,6 m<sup>3</sup>/s da diferença entre as afluições referentes aos vertimentos dos reservatórios a montante antes e após a

transposição), resultando em um ganho sinérgico de 10,2 m<sup>3</sup>/s. Tal ganho sinérgico no reservatório Castanhão é de 27,9% em relação às novas vazões contínuas fornecidas regularmente por tal reservatório, após a adução das águas do rio São Francisco.

Resumindo, sob as condições do estudo hora apresentado, o ganho sinérgico dos 15 reservatórios ligados diretamente à transposição em seu Eixo Sul é de 6,9 m<sup>3</sup>/s e o ganho sinérgico do reservatório Castanhão é de 10,2 m<sup>3</sup>/s.

Tais ganhos sinérgicos são decorrentes do melhor aproveitamento das aflúncias naturais proporcionado pelo fornecimento, sempre que necessário, de vazões exógenas ao sistema. Esse melhor aproveitamento das aflúncias naturais é sinônimo de redução das “perdas”, resultante da diminuição dos vertimentos e dos volumes evaporados. Portanto, quando for calculada a diferença entre o que era vertido e evaporado antes da transposição e após a transposição nos reservatórios aqui analisados, tal diferença deverá resultar nos ganhos sinérgicos apresentados.

Um terceiro valor a ser considerado é à diferença entre os volumes armazenados nos reservatórios no início e fim do período de simulação que pode ser representativo, ou não, dependendo da capacidade total de acumulação dos reservatórios envolvidos.

Assim, a Tabela 5 mostra as diferenças entre os vertimentos, evaporações e volumes acumulados para o reservatório Castanhão. Já a Tabela 6 mostra essas diferenças para os 15 reservatórios aqui analisados do sistema integrado do Eixo Sul.

Tabela 5 - Diferenças entre os vertimentos, as evaporações e os volumes acumulados no reservatório Castanhão

Bacia Hidrográfica do rio Principal	Reservatório	Reservatório Castanhão sem Integração das Águas do rio São Francisco		Reservatório Castanhão com Integração das Águas do rio São Francisco		Diferenças entre as Vazões Vertidas, Evaporadas e Acumuladas (m <sup>3</sup> /s)
Jaguaribe	Castanhão	Volume Total Vertido (hm <sup>3</sup> )	Vazão Média Vertida (m <sup>3</sup> /s)	Volume Total Vertido (hm <sup>3</sup> )	Vazão Média Vertida (m <sup>3</sup> /s)	-6,7
		45.809,9	24,2	33.051,0	17,5	
		Taxa Total de Volume Evaporado (hm <sup>3</sup> )	Vazão Média Evaporada (m <sup>3</sup> /s)	Taxa Total de Volume Evaporado (hm <sup>3</sup> )	Vazão Média Evaporada (m <sup>3</sup> /s)	-3,0
		22.956,6	12,1	17.225,5	9,1	
		Volume Armazenado no Res. no Final da Simulação (hm <sup>3</sup> )	Vazão Média Armazenada no Res. no Final da Simulação (m <sup>3</sup> /s)	Volume Armazenado no Res. no Final da Simulação (hm <sup>3</sup> )	Vazão Média Armazenada no Res. no Final da Simulação (m <sup>3</sup> /s)	-0,5
887,2	0,5	26,6	0,0			
<b>Total</b>		<b>69.653,6</b>	<b>36,8</b>	<b>50.303,1</b>	<b>26,6</b>	<b>-10,2</b>

- Volume Total Vertido: volume efluente do reservatório por vertimento

- Vazão Média Vertida: volume total vertido no tempo decorrido de simulação

- Taxa de Volume Evaporado: diferença total entre o volume evaporado e o volume precipitado diretamente sobre o lago do reservatório

- Vazão Média Evaporada: taxa de volume evaporado no tempo decorrido de simulação

- Volume Armazenado no Res. no Final da Simulação: diferença entre o último e o primeiro volume armazenado no reservatório no período de simulação

- Vazão Média Armazenada no Res. no Final da Simulação: volume armazenado no res. no final da simulação, no tempo decorrido de simulação

- Diferenças entre as Vazões Vertidas, Evaporadas e Acumuladas: diferença entre as vazões obtidas com a Transposição e sem a Transposição

Tabela 6 - Diferenças entre os vertimentos, as evaporações e os volumes acumulados nos 15 reservatórios analisados do sistema integrado do Eixo Sul

Análise dos Vertimentos										
Bacia	Reservatório	Sem Integração das Águas do rio São Francisco				Com Integração das Águas do rio São Francisco				Diferenças entre as Vazões Vertidas (m³/s)
		Nos Reservatórios		Total na Bacia		Nos Reservatórios		Total na Bacia		
		Volume Total Vertido (hm³)	Vazão Média Vertida (m³/s)	Volume Total Vertido (hm³)	Vazão Média Vertida (m³/s)	Volume Total Vertido (hm³)	Vazão Média Vertida (m³/s)	Volume Total Vertido (hm³)	Vazão Média Vertida (m³/s)	
Salitre	Abreus	553,6	0,3	553,6	0,3	335,7	0,2	335,7	0,2	-0,1
Vaza Barris	Cocorobó	0,0	0,0	5.103,7	2,8	0,0	0,0	3.500,3	1,9	-0,9
	Gasparino	2.458,4	1,3			947,2	0,5			
	Lagoa Preta	5.103,7	2,8			3.500,3	1,9			
Itapicuru	Barroca do Faleiro	1.967,8	1,1	24.758,8	13,5	28,0	0,0	14.805,8	8,1	-5,5
	Sohém	71,3	0,0			3,0	0,0			
	Passagem ou Quicé	2.237,0	1,2			159,2	0,1			
	Várzea Formosa	1.604,7	0,9			591,8	0,3			
	Bela Vista	2.184,1	1,2			1.640,4	0,9			
	Algodões	390,5	0,2			0,0	0,0			
	Angelim - Rio das Pedras	5.738,6	3,1			3.409,2	1,9			
	Ponto Novo	12.705,7	7,0			8.237,4	4,5			
	Espanta Gado	14.135,1	7,7			10.163,5	5,6			
	Pedras Altas	6.834,8	3,7			2.410,2	1,3			
	Paraguaçu (Jacupe)	São José do Jacupe	3.570,3			2,0	3.570,3			
<b>TOTAL</b>				<b>33.986,4</b>	<b>18,6</b>			<b>22.092,0</b>	<b>12,1</b>	<b>-6,5</b>
Análise das Evaporações										
Bacia	Reservatório	Sem Integração das Águas do rio São Francisco				Com Integração das Águas do rio São Francisco				Diferenças entre as Vazões Evaporadas (m³/s)
		Nos Reservatórios		Total na Bacia		Nos Reservatórios		Total na Bacia		
		Taxa Total de Volume Evaporado (hm³)	Vazão Média Evaporada (m³/s)	Taxa Total de Volume Evaporado (hm³)	Vazão Média Evaporada (m³/s)	Taxa Total de Volume Evaporado (hm³)	Vazão Média Evaporada (m³/s)	Taxa Total de Volume Evaporado (hm³)	Vazão Média Evaporada (m³/s)	
Salitre	Abreus	370,3	0,2	370,3	0,2	323,2	0,2	323,2	0,2	0,0
Vaza Barris	Cocorobó	529,2	0,3	763,9	0,4	459,9	0,3	631,0	0,3	-0,1
	Gasparino	172,6	0,1			112,2	0,1			
	Lagoa Preta	62,1	0,0			58,8	0,0			
Itapicuru	Barroca do Faleiro	10,1	0,0	1.692,0	0,8	7,0	0,0	1.339,0	0,6	-0,3
	Sohém	74,0	0,0			55,3	0,0			
	Passagem ou Quicé	114,1	0,1			91,3	0,0			
	Várzea Formosa	449,5	0,2			371,3	0,2			
	Bela Vista	50,1	0,0			38,9	0,0			
	Algodões	21,3	0,0			17,0	0,0			
	Angelim - Rio das Pedras	289,1	0,2			262,4	0,1			
	Ponto Novo	222,6	0,1			180,5	0,1			
	Espanta Gado	219,2	0,1			200,5	0,1			
	Pedras Altas	242,1	0,1			114,8	0,1			
	Paraguaçu (Jacupe)	São José do Jacupe	520,6			0,3	520,6			
<b>TOTAL</b>				<b>3.346,8</b>	<b>1,7</b>			<b>2.709,0</b>	<b>1,3</b>	<b>-0,4</b>
Análise entre as diferenças de Volumes Armazenados do Início e Final da Simulação										
Bacia	Reservatório	Sem Integração das Águas do rio São Francisco				Com Integração das Águas do rio São Francisco				Diferenças entre as Vazões Acumuladas (m³/s)
		Nos Reservatórios		Total na Bacia		Nos Reservatórios		Total na Bacia		
		Volume Armazenado no Res. no Final da Simulação (hm³)	Vazão Média Armazenada no Res. no Final da Simulação (m³/s)	Volume Armazenado no Res. no Final da Simulação (hm³)	Vazão Média Armazenada no Res. no Final da Simulação (m³/s)	Volume Armazenado no Res. no Final da Simulação (hm³)	Vazão Média Armazenada no Res. no Final da Simulação (m³/s)	Volume Armazenado no Res. no Final da Simulação (hm³)	Vazão Média Armazenada no Res. no Final da Simulação (m³/s)	
Salitre	Abreus	-5,9	0,0	-5,9	0,0	-9,0	0,0	-9,0	0,0	0,0
Vaza Barris	Cocorobó	-81,3	0,0	-119,6	0,0	-61,4	0,0	-118,4	0,0	0,0
	Gasparino	-16,4	0,0			-19,5	0,0			
	Lagoa Preta	-21,9	0,0			-37,6	0,0			
Itapicuru	Barroca do Faleiro	3,6	0,0	91,5	0,0	0,1	0,0	-96,0	0,0	0,0
	Sohém	1,2	0,0			-3,2	0,0			
	Passagem ou Quicé	8,0	0,0			1,0	0,0			
	Várzea Formosa	21,7	0,0			-1,6	0,0			
	Bela Vista	2,1	0,0			0,2	0,0			
	Algodões	0,2	0,0			0,4	0,0			
	Angelim - Rio das Pedras	12,1	0,0			-58,0	0,0			
	Ponto Novo	19,8	0,0			-7,9	0,0			
	Espanta Gado	7,1	0,0			-11,4	0,0			
	Pedras Altas	15,7	0,0			-15,4	0,0			
	Paraguaçu (Jacupe)	São José do Jacupe	80,3			0,0	80,3			
<b>TOTAL</b>				<b>0,0</b>	<b>0,0</b>			<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>

- Volume Total Vertido: volume efluente do reservatório por vertimento
- Vazão Média Vertida: volume total vertido no tempo decorrido de simulação
- Taxa de Volume Evaporado: diferença total entre o volume evaporado e o volume precipitado diretamente sobre o lago do reservatório
- Vazão Média Evaporada: taxa de volume evaporado no tempo decorrido de simulação
- Volume Armazenado no Res. no Final da Simulação: diferença entre o último e o primeiro volume armazenado no reservatório no período de simulação
- Vazão Média Armazenada no Res. no Final da Simulação: volume armazenado no res. no final da simulação, no tempo decorrido de simulação
- Diferenças entre as Vazões Vertidas, Evaporadas e Acumuladas: diferença entre as vazões obtidas com a Transposição e sem a Transposição

Analisando o reservatório Castanhão, na tabela 5, pode-se observar que o ganho sinérgico é proveniente de uma redução de 6,7 m<sup>3</sup>/s nos vertimentos, de 3,0 m<sup>3</sup>/s nas evaporações e 0,5 m<sup>3</sup>/s em relação às diferenças de volumes acumulados no final e início da simulação.

Já na tabela 6, observa-se que o ganho sinérgico nos 15 reservatórios envolvidos no Eixo Sul da transposição e aqui analisados (6,9 m<sup>3</sup>/s) é proveniente de uma redução média contínua de 6,5 m<sup>3</sup>/s e 0,4 m<sup>3</sup>/s, respectivamente nos vertimentos e evaporações.

Ainda é possível observar na tabela 6 que, tanto pela capacidade máxima de acumulação nesses 15 reservatórios ser inferior a 1,2 bilhões de m<sup>3</sup>, como pela escala de precisão do AcquaNet ser 0,01 hm<sup>3</sup> para volumes e 0,01 m<sup>3</sup>/s para vazões, a diferença entre o que ficava armazenado nesses reservatórios no final da simulação em relação ao início, antes e após a transposição, não interfere nos resultados.

## CONCLUSÕES

Uma das principais conseqüências da adução de vazões exógenas a bacias hidrográficas e a sistemas de reservatórios, aqui avaliado mediante a transposição das águas do rio São Francisco para o reservatório Castanhão (integrante do Eixo Norte) e para os 15 reservatórios do Eixo Sul que estão envolvidos diretamente no recebimento das vazões aduzidas, ou envolvidos no atendimento de projetos de irrigação, é o fato de que a oferta, sempre que necessária, de uma água extra a tais bacias e sistemas pode melhorar o aproveitamento das aflúências naturais, transformando substanciais volumes antes vertidos e evaporados, em vazões regularizadas.

Dessa forma é que o conceito de sinergia hídrica, no caso positiva, e que é caracterizada e calculada mediante a diferença entre as vazões regularizadas e as aflúências e aduções com e sem a transposição, é devidamente explicada pelas reduções das efluências computadas como perdas (evaporações, vertimentos e volumes acumulados não utilizados).

Ainda, deve-se frisar que não se pode desconsiderar a variação de volumes acumulados no início e final da simulação que, para o reservatório Castanhão aqui analisado, representou numa vazão contínua de 0,5 m<sup>3</sup>/s; outro ponto importante é a utilização de um modelo de simulação eficaz computacionalmente, que trabalhe todo o sistema de forma integrada, evitando erros de transcrições e de perdas de dados na hora de transferir resultados entre os reservatórios simulados conjuntamente.

## BIBLIOGRAFIA

FUNCATE – FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA, APLICAÇÕES E TECNOLOGIA ESPACIAIS (1999). *Projeto de Transposição de Águas do rio São Francisco para o Nordeste Setentrional: estudos de inserção regional*. São José dos Campos- SP.

FUNCATE – FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA, APLICAÇÕES E TECNOLOGIA ESPACIAIS (2003). *Projeto de Transposição de Águas do rio São Francisco – Água para Todos – Eixo Sul: estudos hidrológicos complementares das bacias hidrográficas dos tributários da margem direita do rio São Francisco entre Sobradinho e Paulo Afonso, Vaza Barris, Itapicuru e médio e baixo Paraguaçu nos Estados da Bahia e Sergipe*. São José dos Campos- SP.

FUNCATE – FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA, APLICAÇÕES E TECNOLOGIA ESPACIAIS (2004). *Revisão dos Estudos de Pré-Viabilidade do Eixo Sul do Projeto de Integração do rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste*. São José dos Campos- SP.

JOCA E.L.L., MOLINAS P.A., FARIAS J.A.M., ARAÚJO F.F.V. de, MENEZES F.A.L. de (2004) “Análise da Potencialização da Açudagem nas Bacias Hidrográficas dos Rios Vaza Barris e Itapicuru nos Estados da Bahia e Sergipe” in Anais do VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, São Luis - MA, Nov. 2004.

MOLINAS P.A (1996). *Aspectos da Operação dos Reservatórios das Bacias Receptoras de Águas da Transposição do São Francisco*. Relatório elaborado para a secretaria de Políticas Regionais, Fortaleza-CE.

MOLINAS P.A., SARMENTO F.J (1999). “A Operação dos Reservatórios sujeitos a Transposição de Águas: estudo de caso dos reservatórios das bacias receptoras de águas da transposição do rio São Francisco” in Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte - MG, Dez. 1999

MOLINAS P.A., SARMENTO F.J., CARDOSO E.F. (1995). “Aspectos da Operação dos Reservatórios das Bacias Receptoras de Águas da Transposição do Rio São Francisco” in Anais do XI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Recife - PE, Nov. 1995, 2, pp. 33-38

SARMENTO F.J., MOLINAS P.A., CARDOSO E.F. (1996). “Wasserwirtschaftliche Aspekte der Überleitung vom Rio São Francisco im Nordosten Brasiliens“ Z. f. Kulturtechnik und Landentwicklung 37, Blackwell Wissenschafts - Verlag, Berlin - Alemanha.

SEMARH – SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DO MEIO AMBIENTE, DOS RECURSOS HÍDRICOS E MINERAIS DO ESTADO DA PARAÍBA (2002). *Estudos Hidrológicos e Estruturação de um Sistema Preliminar de Monitoramento e Gestão dos Reservatórios Relacionados com o Abastecimento Humano no Estado da Paraíba*. PRÓ-ÁGUA Semi-Árido. João Pessoa - PB.

SEPLANTEC – SECRETARIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO E DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE (2000). *Estudo Sobre Desenvolvimento de Recursos Hídricos no Estado de Sergipe*. Agência de Cooperação Internacional do Japão – JICA. Aracajú - SE.

SRH-CE – SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO CEARÁ. (1991). *Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH*. Fortaleza – CE.

SRHSH – SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS, SANEAMENTO E HABITAÇÃO DA BAHIA (1995). *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Itapicuru*. Salvador - BA.

SRHSH – SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS, SANEAMENTO E HABITAÇÃO DA BAHIA (1996). *Plano Diretor de Recursos Hídricos das Bacias dos Rios Vaza Barris e Real*. Salvador - BA.

SRHSH – SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS, SANEAMENTO E HABITAÇÃO DA BAHIA (1996). *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Médio e Baixo Paraguaçu*. Salvador - BA.

USP – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (2002). *AcquaNet – Modelo para Alocação de Água em Sistemas Complexos de Recursos Hídricos: manual do usuário*. LabSid – Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões. São Paulo - SP.