



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

ESCOLHA DAS REGRAS DE OPERAÇÃO RACIONAL PARA SUBSISTEMA DE RESERVATÓRIOS NO SEMIÁRIDO NORDESTINO

Allan Sarmento Vieira¹; Valterlin da Silva Santos²; Wilson Fadlo Curi³

RESUMO

Na região Nordeste a maior parte dos reservatórios apresenta grandes taxas de evaporação, altas vazões vertidas e má qualidade das suas águas. Isso ocorre, na maioria dos casos, devido às situações climáticas desfavoráveis, por falta de um planejamento racional ou, até mesmo, pelo mau dimensionamento das estruturas hídricas. Baseado neste contexto, o objetivo desta pesquisa é escolher e analisar a eficiência de quatro regras para operação dos reservatórios Engenheiro Ávidos e São Gonçalo, considerando ou não a vazão advinda do rio São Francisco. As regras de operação dos reservatórios foram avaliadas pela aplicação de um modelo de simulação que utiliza técnicas de programação linear seqüencial, que tem como objetivos, minimizar as perdas por evaporação e por vertimento e maximizar a satisfação de atendimento das demandas. Os resultados demonstraram que a regra de operação de maior eficiência para o sistema foi a com o volume meta igual a 75% da capacidade dos reservatórios, revelando que os reservatórios procuram armazenar água do período de chuva. Considerando a vazão advinda da transposição do Rio São Francisco, podemos concluir que as regras de operação mais adequadas foram aquelas que apresentaram os maiores ganhos sinérgicos.

Palavras-chave: regras de operação, indicadores, eficiência, sinergia.

CHOICE OF THE RULES OF RATIONAL OPERATION FOR SUBSYSTEM OF RESERVOIRS IN THE SEMI-ÁRIDO NORDESTINO

ABSTRACT

In the northeastern Brazil great part of the reservoirs presents great taxes of evaporation, high shed outflows and me the quality of its waters. This occurs, in the majority of the cases, had to the favorable climatic situations, due to a rational planning or, even though, for the bad sizing of the water structures. Based in this context, the objective of this research is to choose and to analyze the efficiency of four rules for operation of the reservoirs Engenheiro Ávidos and São Gonçalo, considering or not it happened outflow of the river San Francisco. The operation rules, had been evaluated way the application of a simulation model, that uses techniques of sequential programming linear, that they minimize the losses for evaporation and vertimento and maximize the satisfaction of attendance of the demands. The results had demonstrated that the operation rule more efficiency for the system was with the volume the equal goal 75% of the capacity of the reservoirs, disclosing that the reservoirs look for to store water of the period of rain. Considering the happened outflow of the transposition of the River San Francisco, we can conclude that the adjusted rules of operation more, had been those that had presented the biggest synergetic profits.

Keywords: rules of operation, pointers, efficiency, synergy.

Trabalho recebido em 23/12/2009 e aceito para publicação em 15/04/2010.

1 Engenheiro Civil, Professor e Doutorando em Recursos Naturais - UACC/CCJS/UFCG, Campina Grande – PB, e-mail: allansarmento@yahoo.com.br.

2 Engenheiro Civil, Doutorando Pós-graduação em Recursos Naturais, CTRN/UFCG, Campina Grande – PB, e-mail: valterlin@yahoo.com.br

3 Engenheiro Elétrico, Professor Ph.D, Depto de Física, CCT/UFCG, Campina Grande – PB, email: wfcuri@pesquisador.cnpq.br

1. INTRODUÇÃO

Nas regiões semi-áridas o problema da escassez de água é mais relevante e antigo do que em outras regiões, aonde falam até em transposição de bacias. Contudo, a escassez hídrica deve ser qualificada e quantificada por tipo de usuário e espaço-temporalmente, para que possamos entender o problema. Além disso, devem-se analisar possíveis formas de gestões da oferta e demanda de água, que somente serão possíveis pelo uso de modelos matemáticos com concepções próximas à realidade, dentro de uma visão sistêmica que contemple os múltiplos interesses dos diferentes setores da sociedade. Uma das saídas para minimizar ou eliminar o efeito da escassez hídrica é a construção de reservatórios, que tem por finalidade armazenar água do período chuvoso para ser usado no período de seca, sendo esta água usada para atender as demandas consuntivas e não-consuntivas.

Porém alguns reservatórios não foram bem dimensionados, gerando assim problemas graves como altas taxas de evaporação, altos volumes vertidos e de qualidade de água. Esses problemas muitas vezes são agravados, também, devido à falta de um planejamento e gerenciamento adequado. A atenuação desse problema só vai ocorrer quando forem desenvolvidas políticas de operação integradas, ótimas ou

ideais, para os reservatórios e que seja de fácil utilização por parte do operador e ainda contemple os diferentes interesses da sociedade.

Baseado neste contexto, este trabalho propõe, como objetivo principal, desenvolver e analisar a eficiência e sustentabilidade de regras de operação ideais e integradas para os reservatórios Engenheiro Ávidos e São Gonçalo, considerando ou não, o efeito da vazão exógena advinda do rio São Francisco. Estas regras de operação serão simuladas a partir do modelo de simulação desenvolvido por Vieira et. al. (2007), que possui como objetivos a maximização da satisfação de atendimento dos usuários da água e minimização das possíveis perdas por evaporação, por vertimento e por descarga de fundo para enfim promover uma política de operação ideal para o subsistema em estudo da bacia do Alto-Piranhas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Operação dos Reservatórios

A principal tarefa na operação de reservatórios é determinar as melhores alocações para diferentes usos, de forma a maximizar o benefício geral entre diferentes usos múltiplos. Regras operacionais são usualmente construídas a partir de modelos de simulação que

simulam a operação do sistema de acordo com os afluxos, características do sistema, e políticas de operação pré-estabelecidas (Yeh, 1985). As regras podem ser modificadas e aperfeiçoadas com uma série de simulações até que resultados aceitáveis sejam obtidos (Draper, 2001). Visto que frequentemente existe um grande número de políticas viáveis, a identificação da melhor regra por um modelo de simulação é uma tarefa de difícil realização. Técnicas matemáticas de otimização fornecem um meio de superar essa dificuldade já que possuem a habilidade de examinar todas as alternativas possíveis e procurar a decisão ótima (Yeh, 1985).

Os trabalhos de Yeh (1985) e Wurbs (2005) apresentam uma revisão extensa e detalhada sobre o gerenciamento de reservatórios e modelos de operação. Eles afirmam que a análise de sistemas complexos de recursos hídricos pode envolver um grande número de variáveis e restrições e que não existe um procedimento de solução universal para todos os tipos de problemas. Simonovic (1992) afirma que a simulação e otimização são ferramentas essenciais para o desenvolvimento de uma base quantitativa para diversas decisões em gerenciamento de reservatórios e que a utilização dessas técnicas no planejamento e operações de projetos reais se encontra em constante crescimento.

As principais regras de operação conhecidas na literatura são os volumes metas de acumulação, o zoneamento múltiplo e curvas guia. Os volumes meta de acumulação tentam manter os volumes temporais dos reservatórios próximos das metas desejadas, enquanto procura atender as demandas. Entre as vantagens dessa regra estão o aumento da confiabilidade de atendimento e o atendimento de demandas como piscicultura e geração de energia de forma relativamente simples. Com relação à desvantagem, este não leva em consideração a variabilidade da vazão afluente e demandas. Por outro lado, o zoneamento múltiplo subdivide o volume do reservatório em zonas de alertas, estando à vantagem dessa regra na associação da demanda ao nível do reservatório. Com relação à desvantagem está a não consideração das previsões de afluências, podendo deplecionar os reservatórios ou provocar inundações. Por fim, as curvas-guias condicionadas são regras de operação definidas através do volume armazenado e da vazão afluente. A desvantagem está em não prever a variabilidade das demandas nas suas prioridades de atendimento e na determinação das curvas guias. A vantagem está na consideração da previsão da vazão afluente.

Optou-se neste trabalho pela regra dos volumes metas de acumulação, já que

o modelo de simulação utilizado incorpora, na modelagem matemática, esta metodologia.

2.2 Sinergia

O conceito de sinergia (Sarmiento, 1996) é definido como um ganho de volume de água ou de vazão regularizada para o atendimento das demandas devido à redução de perdas por evaporação e/ou vertimento, só existe sinergia quando ocorrer um reforço devido a outras fontes (vazão exógena). Assim a sinergia pode ser calcula como:

$$\text{Sinergia} = \Delta \text{Acum} + \Delta \text{Vert} + \Delta \text{Evap} \quad (1)$$

onde:

ΔAcum - Variação do volume de água armazenado no final da simulação.

ΔVert - Variação da taxa de volume evaporado.

ΔEvap - Variação do volume total vertido.

2.3 Cálculo da Eficiência de uma Regra de Operação

A eficiência de uma regra de operação num determinado sistema será definida por apresentar as menores perdas (evaporação, vertimento e descarga de fundo) de água com relação as afluências. E pode ser definida pela equação 2:

$$\eta_s = \left(1 - \left(\frac{\sum Pr_t}{\sum Qa_t} \right) \right) * 100\% \quad (2)$$

onde:

η_s – Eficiência de uma regra de operação num determinado sistema;

$\sum Pr_t$ – Somatório das perdas totais do subsistema no período simulado;

$\sum Qa_t$ - Somatório das vazões afluentes que chega ao subsistema no período simulado.

2.4 Indicadores de Sustentabilidade Hídrica

Tais índices, propostos por Hashimoto et al. (1982), fornecem meios de avaliar os efeitos das várias regras de operação, além de auxiliar na avaliação de futuros projetos a serem implantados (Vianna e Lanna, 2002). A Confiabilidade mede a probabilidade de uma série temporal permanecer em estado satisfatório durante o horizonte de operação, ou seja, a percentagem do tempo em que o sistema funciona sem falhas. A Resiliência mede a forma como o sistema recupera-se de uma falha, uma vez que esta tenha ocorrido. É a probabilidade de haver um estado satisfatório no período t+1 dado um valor insatisfatório no período t. A Vulnerabilidade mede a magnitude das falhas a que o sistema está sujeito.

Loucks (1997) (apud Kjeldsen e Rosbjerg, 2001) ainda propôs um índice de sustentabilidade geral definido por:

Sustentabilidade = Confiabilidade * Resiliência * [1 - Vulnerabilidade] (3)

2.5 Área de estudo

A bacia do Alto-Piranhas (Figura 01) corresponde a uma das sub-bacias do Rio Piranhas abrangendo o seu alto curso. Situa-se no extremo oeste do Estado da Paraíba, localizando-se entre as latitudes 6° 36' 47'' e 7° 22' 56'' Sul e, entre as longitudes 37° 48' 15'' e 38° 38' 15'' Oeste no Sertão Paraibano. Hidrograficamente limita-se com a bacia do Rio Piancó ao Sul e Leste, com a bacia do Rio do Peixe ao Norte, com o Médio-Piranhas a Nordeste e com o Estado do Ceará a Oeste. O Rio Piranhas apresenta suas nascentes na Serra da Arara no município de Bonito de Santa Fé recebendo contribuições significativas de quatro cursos d'água na sua margem esquerda: Riacho do Juá, Riacho da Caiçara, Riacho Cajazeiras, Riacho Grande. Na sua margem direita recebe seis contribuições, quais sejam, Riacho do Domingos, Riacho São Domingos, Riacho Mutuca, Riacho Logradouro, Riacho Catolé, Riacho Vazante, Riacho Bonfim. A área da bacia do Alto Piranhas, delimitada a partir das cartas digitalizadas da SUDENE em escala 1:100.000 é de 2.518 km². O seu perímetro, comprimento da linha do divisor de águas que a delimita, medido na mesma base cartográfica é de 318 km. O comprimento do curso d'água

principal, o Rio do Alto-Piranhas, perfaz um total de 178 km, medido desde a sua nascente na Serra da Arara no município de Bonito de Santa Fé até o exutório da bacia no município de Pombal. Possui 5 reservatórios (Engenheiro Ávidos, São Gonçalo, São José de Piranhas, Galante e Bom Jesus) monitorados pela AESA (Agencia Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba). Os principais são o açude Engenheiros Ávidos, que abastece a cidade de Cajazeiras, e o açude de São Gonçalo, que abastece a cidade de Sousa e perímetro irrigado de São Gonçalo com uma área aproximadamente de 5.000 ha e agroindústria. A forma da bacia é estreita e alongada, influi fortemente no escoamento do seu curso d'água principal, por isso, na resposta da bacia aos impulsos ou estímulos da chuva, o seu tempo de concentração será maior, ocorrendo o inverso no caso de bacias compactas e de forma arredondada. Neste Trabalho levou-se em consideração só o subsistema de reservatórios Engenheiro Ávidos e São Gonçalo, por serem os principais reservatórios da bacia e por receberem águas da transposição do rio São Francisco. A vazão exógena considerada foi de 10 m³/s proposta pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba (2006).

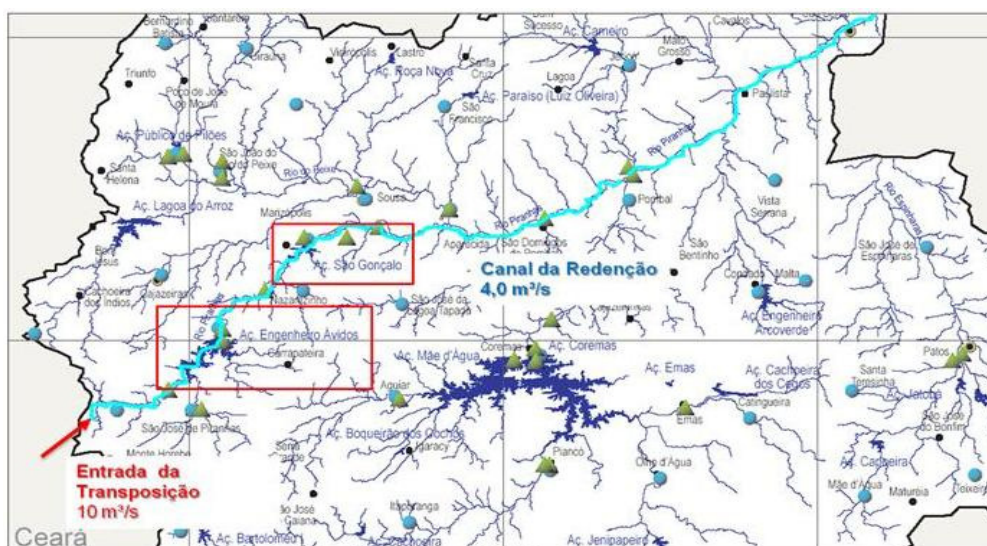


Figura 1. Subsistema de reservatórios na Bacia do Alto-Piranhas

2.6 Dados utilizados

Os dados dos reservatórios considerados no modelo de simulação, tanto estruturais quanto operacionais, dizem respeito às relações cota x área x volume, volumes de armazenamento, máximos e mínimos permitidos; características hidráulicas, descarga de fundo e vertedouros, descargas mínimas e máximas permitidas e também os de vazão afluente e foram extraídos do Plano Diretor

de Recursos Hídricos da Bacia do Alto-Piranhas (1997) e do Cadastro de açudes da Companhia de Água e Esgoto - CAGEPA.

A Tabela 01 mostra os dados de precipitação média mensal de cada reservatório.

Já Tabela 02 mostra os dados de evaporação média mensais, em tanques classe, instalados em cada reservatório.

Tabela 1: Precipitação média mensal.

Açudes	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Totais
Eng. Ávidos	115,1	174,1	235,0	168,6	55,8	26,9	15,5	3,0	4,2	13,5	17,2	35,1	880,6
São Gonçalo	96,0	176,0	247,2	175,6	68,8	34,5	15,8	5,6	4,5	11,6	18,5	41,1	914,4

Fonte: SUDENE (1990).

Tabela 2: Evaporação média mensal.

Açudes	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Totais
Eng. Ávidos	220,4	170,4	185,2	179,8	184,1	197,5	206,3	231,5	222,1	237,1	226,0	248,9	2509
São Gonçalo	182,6	157,2	141,6	136,0	144,8	144,9	168,6	200,1	223,2	216,2	216,2	205,9	2137

Fonte: SUDENE (1990).

2.7 Características do modelo utilizado

O modelo de simulação integrado utilizado neste trabalho foi desenvolvido na linguagem de programação do MATLAB 6.5 sendo baseado na aplicação da programação linear seqüencial, com artifícios de linearização. Tem como objetivo promover uma política ótima de operação integrada de reservatórios, que visa maximizar o atendimento das demandas hídricas dos diferentes usos, segundo critérios de prioridades de atendimento. As limitações operacionais foram incluídas no modelo através de restrições lineares (balanço hídrico nos nós, volumes metas, volumes mínimos, limitações quanto à operação dos componentes, etc.) e não-lineares (vazão vertida, vazão descarregada, área da superfície líquida do reservatório, etc.). As

não-linearidades foram aproximadas por segmentos lineares e resolvidas num processo matemático seqüencial (programação linear separável e seqüencial) até a convergência, de acordo com uma tolerância desejada para o erro relativo da função objetivo. A demanda hídrica para a agricultura irrigada foi obtida a partir do balanço hídrico no solo. Para avaliar o desempenho do sistema, foi incluído, no modelo, o cálculo de indicadores de desempenho como a confiabilidade, vulnerabilidade, resiliência e sustentabilidade. Assim foi possível representar as constantes e variáveis do modelo de simulação para o sistema mostrado na Figura 2 e estabelecer as possíveis regras de operação, utilizando o volume meta.

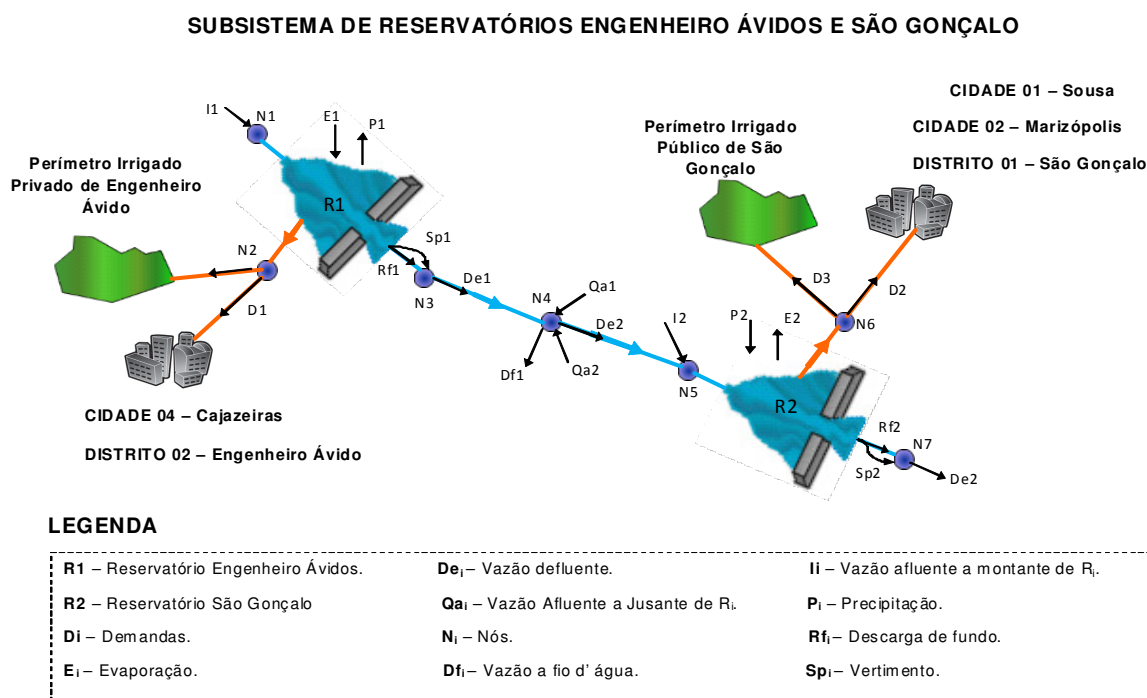


Figura 2. Configuração das variáveis e demandas do subsistema.

2.8 Definição das demandas

As demandas analisadas foram obtidas no Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Alto-Piranhas (1997), onde foram considerados os usos para o abastecimento humano, a pecuária, os perímetros privados e públicos e o consumo das indústrias para o ano de 2013.

2.9 Definição das regras de operação

Para definir a eficiência das regras de operação para o subsistema de reservatórios Engenheiro Ávido e São Gonçalo, com ou sem a transposição do rio São Francisco, foi necessária a criação de quadro regras de operação baseada na metodologia do volume meta. Esta metodologia procura manter um volume armazenado próximo da meta em cada mês para atender as demandas dos diferentes setores. Assim ficaram definidas as seguintes situações:

1º Regra de operação – Os dois reservatórios vão ser operados na sua cota mínima, ou seja, todo volume útil será liberado para atender as demandas;

2º Regra de operação – Os dois reservatórios vão ser operados com um volume meta em 25% do volume útil;

3º Regra de operação – Os dois reservatórios vão ser operados com um volume meta em 50% do volume útil;

4º Regra de operação – Os dois reservatórios vão ser operados com um volume meta em 75% do volume útil.

As quatro regras foram simuladas, considerando um horizonte de tempo de 360 meses, onde foram determinados os indicadores de sustentabilidade para cada demanda e a eficiência para cada regra de operação, analisando uma a uma. A partir destes dados foram calculadas as sinergias de cada regra de operação, considerando a situação da transposição, para enfim definir as regras de operação para o subsistema de reservatório em estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O efeito das regras de operação no subsistema de reservatórios Engenheiro Ávidos e São Gonçalo, levando em consideração ou não a transposição do rio São Francisco, conforme as Figuras 3 e 4, concluiu que a confiabilidade no atendimento às demandas da irrigação e indústria, sem a transposição, foram, na maioria das vezes, inferiores a 90% e crescentes com o aumento do volume meta, mas o abastecimento humano teve uma confiabilidade de 100%, já que possui a maior prioridade.

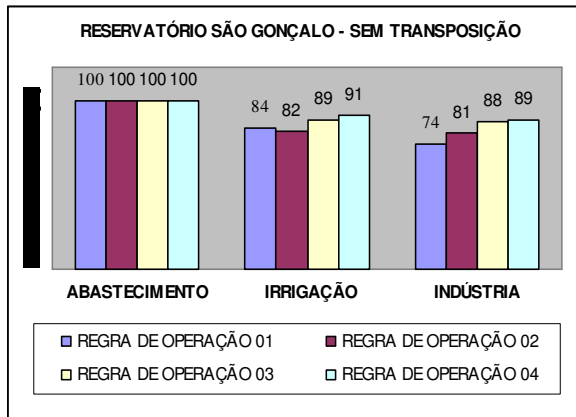


Figura 3. Confiabilidade.

Com a vinda da transposição todas as demandas serão atendidas em 100%,

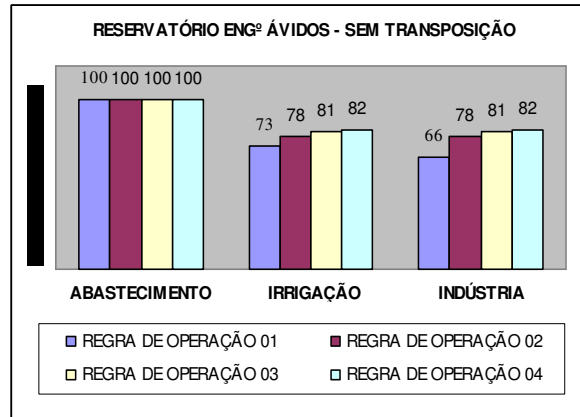


Figura 4. Confiabilidade.

independente da regra de operação estabelecida (Figuras 5 e 6).

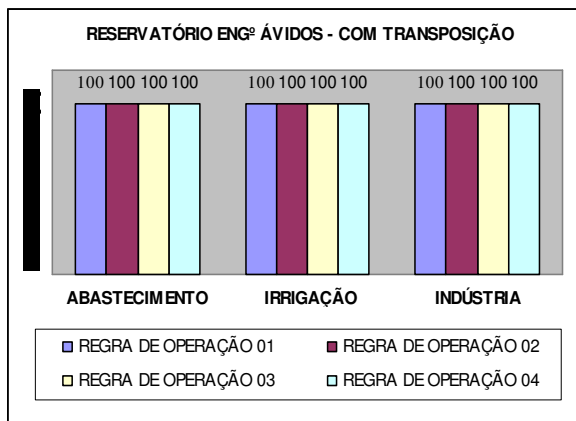


Figura 5. Confiabilidade.

A análise da resiliência (Figuras 7 e 8), nos cenários sem transposição, mostra que o açude de São Gonçalo possui uma maior capacidade de recuperar-se de uma

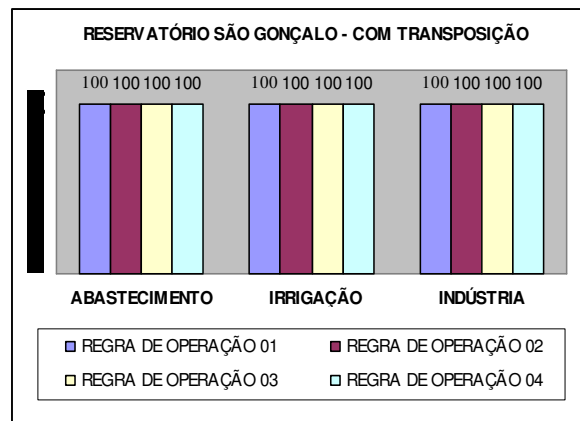


Figura 6. Confiabilidade.

falha com relação ao açude Engenheiro Ávidos, por ter uma geometria estrutural menor.

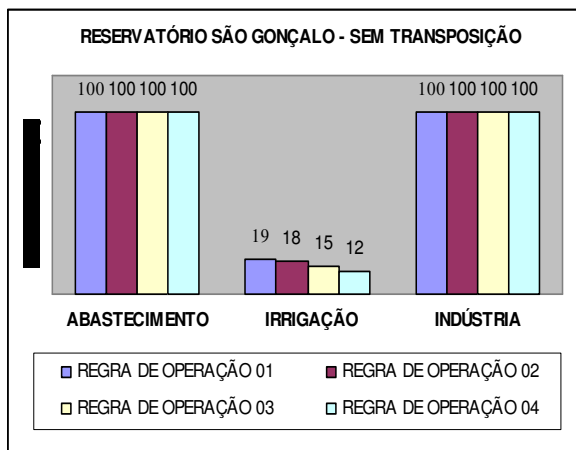


Figura 7. Resiliência.

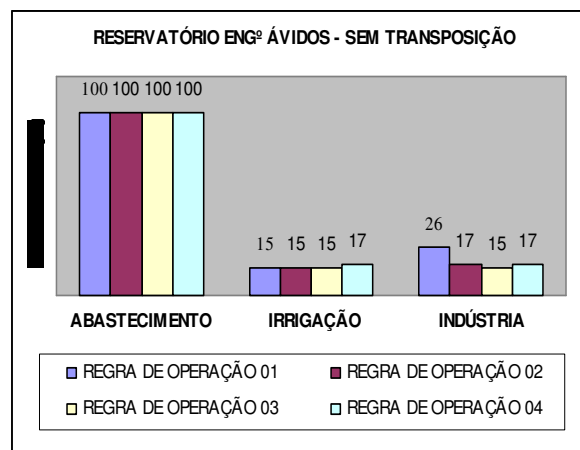


Figura 8. Resiliência.

Nos cenários com a transposição, os reservatórios são 100% resilientes, já que

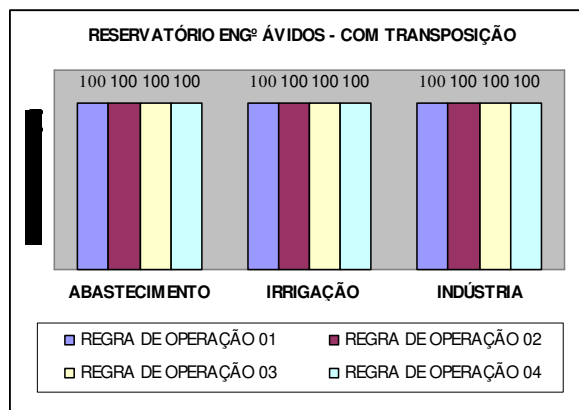


Figura 9. Resiliência.

As Figuras 11 e 12, para os cenários sem transposição, mostram que os setores

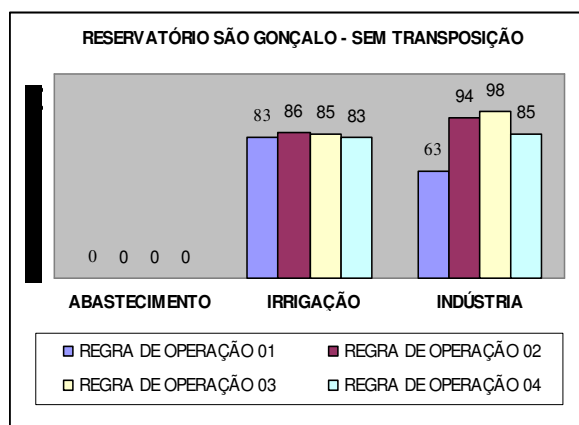


Figura 11 – Vulnerabilidade.

Com a vazão da transposição, Figuras 13 e 14, a vulnerabilidade caiu à

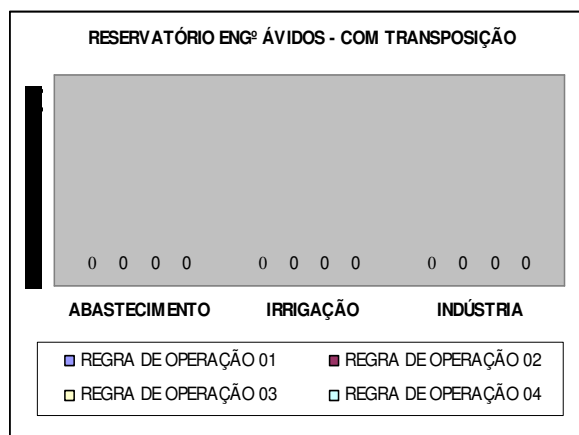


Figura 13 – Vulnerabilidade.

em nenhum mês entrou em processo de falha (Figura 9 e 10).

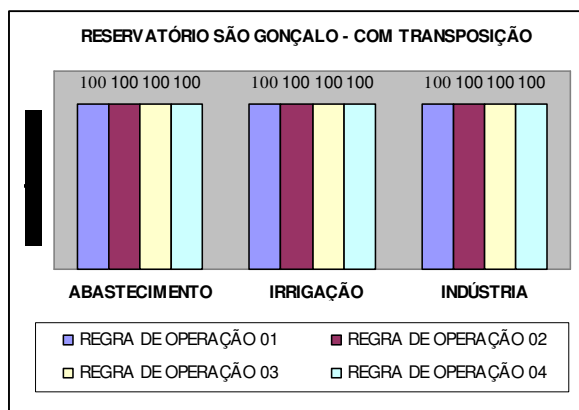


Figura 10 – Resiliência.

da irrigação e indústria possuem em média déficits que podem chegar a 18%.

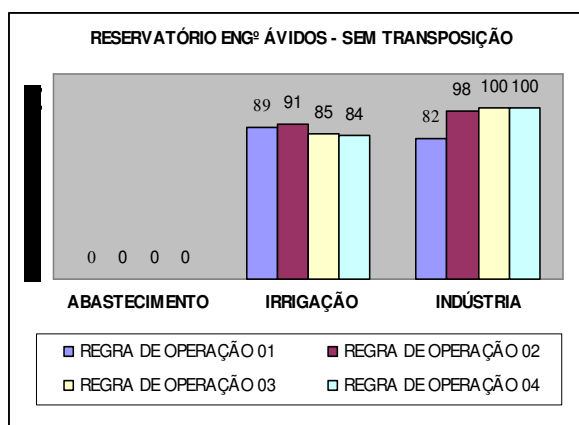


Figura 12 – Vulnerabilidade.

zero, oferecendo assim uma segurança hídrica no atendimento.

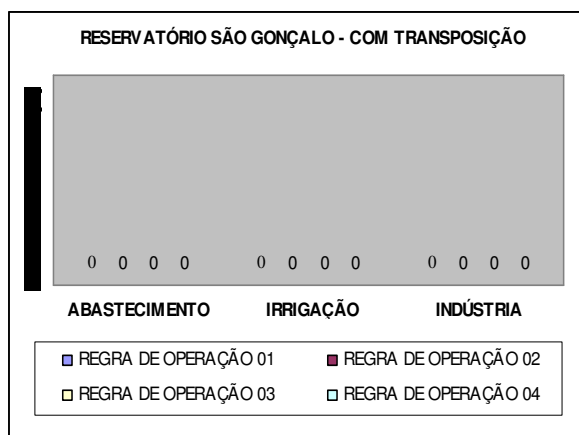


Figura 14 – Vulnerabilidade.

A sustentabilidade hídrica do subsistema em estudo é bastante preocupante para os setores da irrigação e da indústria nos cenários sem a

transposição, como é mostrado nas Figuras 15 e 16, aonde a sustentabilidade chegou à zero.

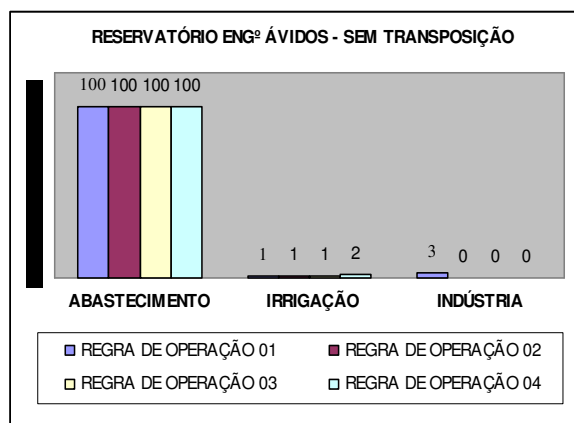
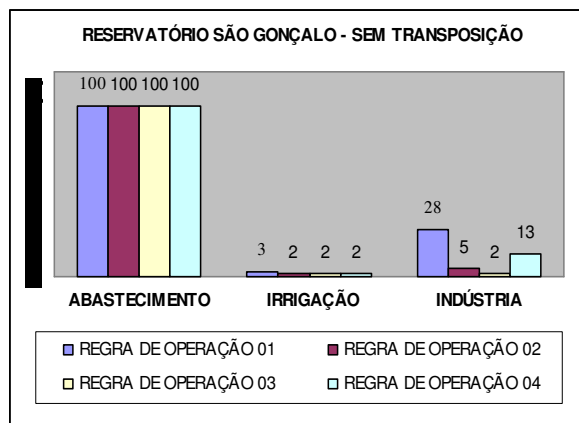


Figura 15 – Sustentabilidade hídrica.

Figura 16 – Sustentabilidade hídrica.

A situação é revertida com a transposição, como pode ser observado nas Figuras 17 e 18.

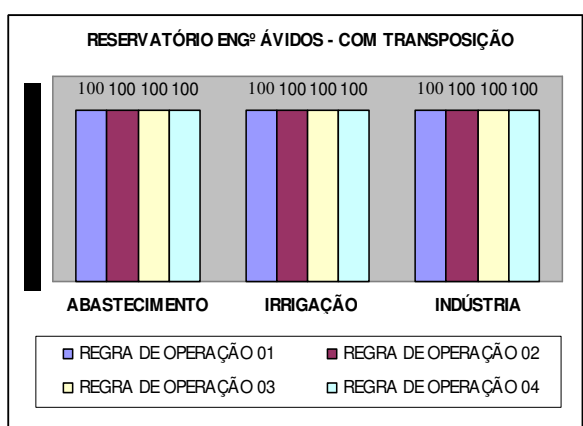
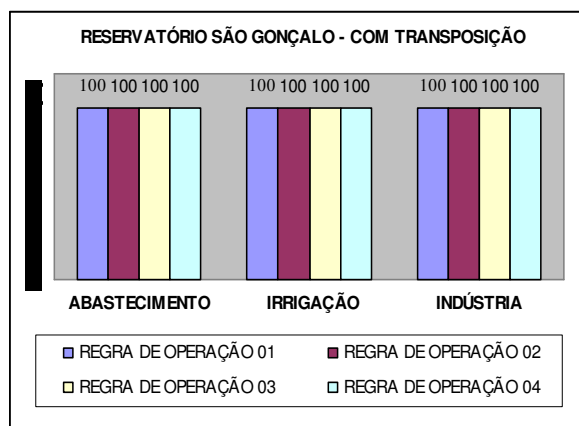


Figura 17 – Sustentabilidade hídrica.

Figura 18 – Sustentabilidade hídrica.

Na Figura 19 pode ser observada a eficiência de cada regra de operação, levando em consideração ou não a transposição do rio São Francisco. No cenário sem transposição, a regra de operação 04 mostrou-se a mais eficiente para o subsistema em estudo, isso ocorreu porque os reservatórios, a cada mês, procuraram armazenar água, diminuindo

assim a liberação por descarga de fundo e vertimento, onde possibilitou um aumento claro na confiabilidade de atendimento das demandas de irrigação e indústria. Para os cenários onde foi considerada a transposição do rio São Francisco, pode ser observado que a eficiência é praticamente a mesma com aplicação de qualquer regra de operação para o subsistema em estudo,

isso ocorreu porque a vazão que vai ser transposta é grande, comparativa aos afluxos naturais, e os reservatórios foram dimensionados para receber vazões afluentes naturais, conforme definidas em com a queda da eficiência.

projeto. Será necessário, para o caso da transposição, um estudo mais detalhado de como vai ser usado água para que não ocorram desperdícios, situação constatada

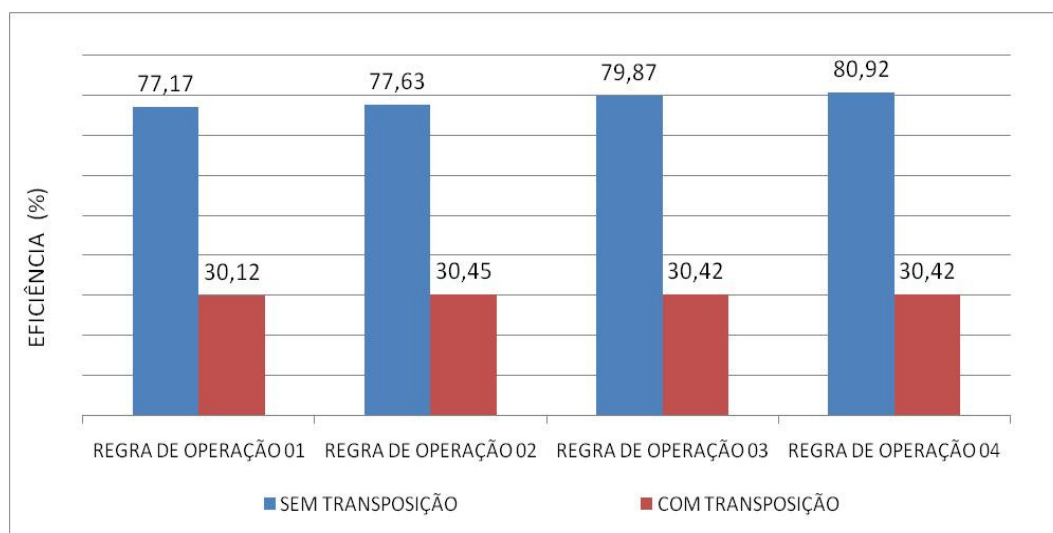


Figura 19 – Eficiência das regras de operação do subsistema de reservatório.

Analisando o ganho sinérgico mostrado na Tabela 03, pode se observar que o valor da sinergia foi negativo, indicando que o subsistema está perdendo água por evaporação, vertimento e por descarga de fundo. Este superávit de águas

pode ser utilizadas para outras regiões onde haja insegurança hídrica ou então usada para aumentar os projetos de desenvolvimento socio-econômico-ambiental da região.

Tabela 3: Sinergia para cada regra de operação.

SITUAÇÕES SIMULADAS	SINERGIA
Regra de operação 01	-4,06
Regra de operação 02	-4,06
Regra de operação 03	-4,23
Regra de operação 04	-4,31

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados da confiabilidade, da sustentabilidade hídrica e da eficiência das regras de operação, podemos concluir que a situação ideal para o subsistema de reservatórios Engenheiro Ávido e São Gonçalo, caso a transposição do rio São Francisco não ocorra, é regra de operação 04, que tem como volumes meta 75% a capacidade dos reservatórios, já que possui maior eficiência e apresentaram os melhores resultados para os indicadores de sustentabilidade. Para o cenário com a transposição seria necessário levar em consideração o ganho sinérgico para definir a regra ou as regras de operação. Contudo as regras de operação escolhidas foram a 01 ou 02, já que apresentaram um maior ganho sinérgico em comparação com as outras regras.

5. REFERÊNCIAS

- CELESTE, A. B.; SUZUKI, K.; KADOTA, A. A., deterministic-stochastic model for real-time reservoir Operation under inflow uncertainty. In: IAHS Scientific Assembly, 7, Foz do Iguaçu, 2005. Proceedings... Foz do Iguaçu: International Association for Hydrological Sciences, (2005).
- DATTA, B.; BURGESS, S. J. Short-term, single, multiple-purpose reservoir operation: Importance of loss functions and forecast errors. *Water Resource Res.*, Washington, v. 20, n. 9, p. 1167-1176, set. (1984).
- DRAPER, A. J. Implicit stochastic optimization with limited foresight for reservoir systems. Davis, California, 164 f. Thesis in Engineering – University of California (2001).
- HASHIMOTO, T.; STEDINGER, J. R.; LOUCKS, D. P. Reliability, resiliency and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. *Water Resources Res.*, Washington, v. 18, n. 1, p. 14-20, (1982).
- LOUCKS, D. P. Sustainable water resources management. *Water International Resource Association*, v. 25, n. 1 p. 3-10, mar. (2000).
- LOUCKS, D. P. Quantifying trends in system sustainability. *Hydrologic Science J.* v. 42, n. 4, p. 513-530, (1997).
- MATEUS, G. R.; LUNA, H. P. C. Programação Não-Linear. Belo Horizonte UFMG, 1986. 289p.
- PERH – Plano Estadual de Recursos Hídrico da Paraíba, www.aesa.pb.gov.br/perh/relatorio_final/Capitulo%205/pdf/5.11%20-%20TranspAguasBacia%20sHidrograficas.pdf (2006).
- PDRH-PB - Plano Diretor de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba: Diagnostico do Estado – estudo de base das bacias do rio Piancó e Alto-Piranhas, disponível em CD-ROM, Scientec, João Pessoa, (1997).
- RODRIGUES, A. C. L. R., Nova proposta de operação de outorga aplicada a reservatórios - estudo de caso: bacia hidrográfica do rio Piancó. Tese Doutorado em Recursos Naturais - Universidade Federal de Campina Grande, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Orientador: Rosires C. Curi (2007).

- SIMONOVIC, S. P., Reservoir system analysis: closing gap between theory and practice. *Journal of Water Resources Planning and Management*, New York. Vol. 118, n° 3, pp. 262 – 280, (1992).
- SANTOS, V. S. Um modelo de otimização multiobjetivo para análise de sistemas de recursos hídricos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - Campina Grande, (2007).
- SARMENTO F.J.; MOLINAS P.A.; CARDOSO E.F., “Wasserwirtschaftliche Aspekte der Überleitung vom Rio São Francisco im Nordosten Brasiliens“ *Z. f. Kulturtechnik und Landentwicklung* 37, Blackwell Wissenschafts - Verlag, Berlin – Alemanha, (1996)..
- TEICH, D. H., “Vai valer mais que petróleo”, artigo publicado na revista *Veja* no. 37, pp. 74-75, (2002).
- VIEIRA, A. S., Um modelo de simulação, via programação linear seqüencial, para sistemas de recursos hídricos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande. Orientador: Rosires Catão Curi, (2007).
- WURBS, R. A., Comparative Evaluation of Generalized River/Reservoir System Models. Technical Report n282. Texas Water Resources Institute, (2005).
- YEH, W. W-G. Reservoir management and operations models: A state-of-the-art review. *Water Resources Res.*, Washington, v. 21 n.12, p.1797-1818, dez. (1985).