

INFLUÊNCIA DO FLUXO SUBTERRÂNEO PROVENIENTE DE BACIA SEDIMENTAR NA OPERAÇÃO DE RESERVATÓRIOS – ESTUDO DE CASO: BARRAGEM JABURU I

Rosiel Ferreira Leme^{1} & Louise Caroline Peixoto Xavier² & Fabiola Costa de Lima³ & José Alves Carneiro Neto⁴ & Daniel Lira Lopes Targino⁵ & Lucrécia Nogueira de Sousa⁶ & Nosliana Nobre Rabelo⁷ & Samiria Maria de Oliveira da Silva⁸*

Resumo – As características geológicas da bacia de contribuição de um reservatório têm influências significativas neste, podendo ocorrer durante todo o período operacional em razão do fluxo subterrâneo, se tornando mais evidente em bacias sedimentares e influenciando diretamente o balanço hídrico. O presente trabalho tem por objetivo avaliar a interferência do fluxo subterrâneo no volume de reserva hídrica de um açude durante o período operacional. Um estudo do balanço hídrico do açude Jaburu I foi feito, para determinar a partir de dados reais de monitoramento, a influência da bacia sedimentar na operação do açude. Um dos resultados foi a quantificação do fluxo subterrâneo durante o período de estiagem, avaliando seu comportamento hidráulico para diferentes cenários, assim como sua influência na alimentação do reservatório e atenuação do deplecionamento do nível do açude. Avaliou-se ainda seu comportamento durante o período de inverno, pautado na ocorrência de elevados volumes infiltrados no maciço devido à alta capacidade de retenção hídrica da rocha sedimentar.

Palavras-Chave – Bacia sedimentar, Barragem Jaburu I.

INFLUENCE OF UNDERGROUND FLOW FROM SEDIMENTARY BASIN IN THE OPERATION OF RESERVOIRS - CASE STUDY: JABURU I DAM

Abstract – The geological characteristics of the contribution basin has significant influences over them, eventually occurring over all the operational period as a consequence of the subterranean flux, becoming evident in sedimentary basins and influencing the hydric balance directly. The objective of this paper is to evaluate the interference of the subterranean flux in the hydric reservation volume of a dam during the operational period. The hydric balance of the Jaburu I dam was analyzed to determine, based of real monitoring data, the influence of the sedimentary basin over dam operations. One result was the quantification of the subterranean flux over drought periods, evaluating hydraulic behavior for different scenarios, as well as its influence on feeding and depletion rates of the reservoir. Its behavior was also assessed over winter periods, showing the occurrence of high volumes of infiltration in underground rock due to its high hydric retention capacity.

Keywords – Sedimentary basin, Jaburu I dam.

¹ Professor Adjunto I do Curso de Engenharia Civil do Campus da Universidade Federal do Ceará em Russas. rosiefferreira@gmail.com

² Graduanda em Engenharia Civil no Campus da UFC em Russas. louise090995@gmail.com

³ Mestre em geotecnia pelo Departamento de Engenharia hidráulica e Ambiental DEHA da Universidade Federal do Ceará. fabiola-cl@hotmail.com

⁴ Engenheiro Civil da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH. jalvesnt@gmail.com

⁵ Graduando em Engenharia Civil no Campus da UFC em Russas. danielira.92@live.com

⁶ Geóloga da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH. lucrecia.nogueira@cogerh.com.br

⁷ Doutoranda do Departamento de Engenharia hidráulica e Ambiental - DEHA da Universidade Federal do Ceará. nosliana_rabelo@hotmail.com

⁸ Professora Adjunta I do Curso de Engenharia Civil do Campus da Universidade Federal do Ceará em Russas. samiriamaria@hotmail.com

INTRODUÇÃO

O dimensionamento de reservatórios nas regiões do semiárido nordestino tem tomado grande importância ao longo da história, a fim de atenuar os efeitos da seca e exigindo cada vez mais o desenvolvimento de métodos ainda mais precisos e eficientes. O conhecimento do comportamento da obra em determinadas condições permite aprimorar os métodos comumente utilizados para elaboração de projetos, promovendo desenvolvimento científico.

Nesse sentido, o dimensionamento hidrológico exige a necessidade de estimar o comportamento hídrico do reservatório, tendo como base os parâmetros físicos da bacia de contribuição e dos parâmetros climáticos da área de estudo. Entre estes parâmetros mais importantes, a capacidade de infiltração da bacia afeta diretamente a hidrologia do sistema, sendo a definição deste essencial para a o projeto de uma obra eficiente.

Para tanto, Gaioto (1992) pontua a percolação como uma das preocupações primordiais dos especialistas envolvidos com projeto, construção e operação de barragens de terra, posto que dela resultam as subpressões, perdas de resistências do solo por aumento da saturação e processos de erosão à jusante da barragem, fatores que afetam diretamente a rentabilidade do aproveitamento, o gradiente e as subpressões associados à segurança do reservatório.

No entanto, em muitas regiões as águas subterrâneas ainda são fundamentais para o desenvolvimento socioeconômico, transformando-se num bem estratégico a ser racionalmente explorado, conforme pautado por Aguiar *et al.* (2015).

Em relação aos parâmetros físicos, a constituição geológica local poderá afetar diretamente o fluxo subterrâneo, visto que alguns tipos de bacias de constituição sedimentar tendem a apresentar alta porosidade e alta capacidade de retenção hídrica. Neste caso, em períodos de estiagem, por exemplo, o reservatório pode apresentar um menor deplecionamento do nível d'água, devido à alimentação do açude pelo fluxo subterrâneo proveniente de rochas sedimentares adjacentes, como é exemplificado na ilustração a seguir (Figura 1).

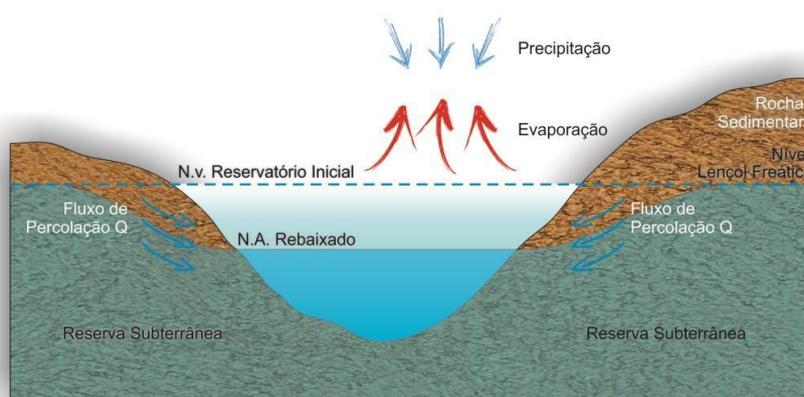


Figura 1. Exemplo da influência de bacias sedimentares na reservação hídrica.

Nesse sentido, este trabalho propõe avaliar a influência do fluxo subterrâneo proveniente de bacia sedimentar na operação de reservatórios, reconhecendo seu potencial hídrico subterrâneo, por meio de uma avaliação mais realista das reservas hídricas, propondo, para isso, um estudo de caso da barragem Jaburu I. Tais avaliações são pertinentes de modo que, permitem a incorporação de planos de gestão e monitoramento do problema pautado.

ESTUDO DE CASO

Localização da área de estudo

A barragem Jaburu I, construída no período 1981-1983, está situada entre os municípios de Tianguá e Ubajara no extremo noroeste do Estado do Ceará, na coordenada 3°51'55"S e 41° 6'49"O. A obra barra o rio Jaburu, no qual drena uma área com cerca de 314 km², implica na formação de um reservatório com capacidade de acumulação de 138 hm³, sendo este açude uma importante fonte de recursos hídricos para atender à necessidade de água da região, abastecendo várias sedes municipais e localidades situadas na Serra da Ibiapaba, além de atendendo mais de 160.000 habitantes. A figura a seguir apresenta a localização do açude.

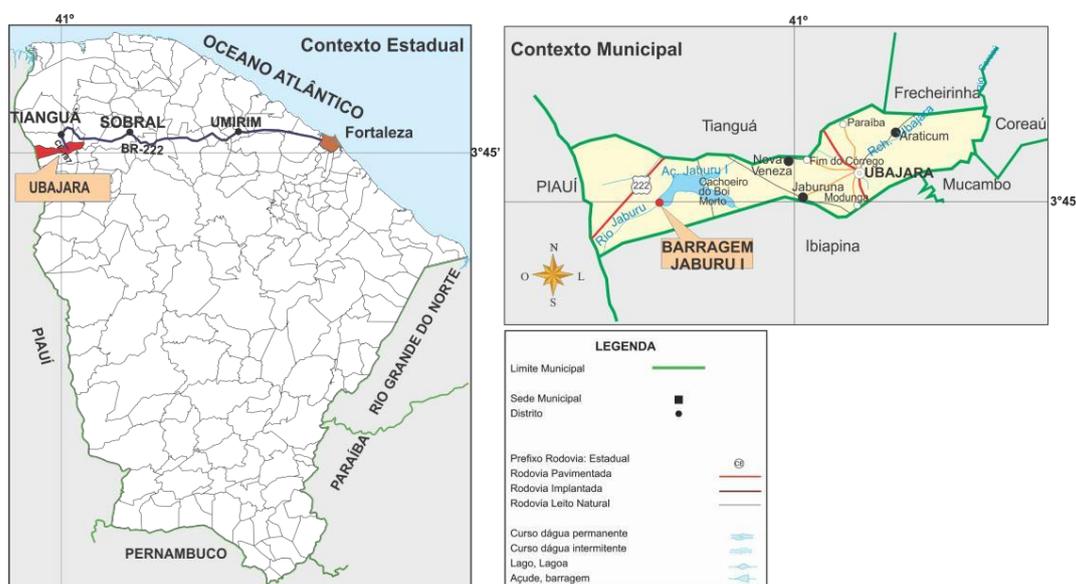


Figura 2 - Localização e Acesso a barragem Jaburu I (Contexto Estadual).

Caracterização geológica local

A barragem Jaburu I está localizada na vertente nordeste da Serra da Ibiapaba, em região de topografia acidentada formada por morros com encostas relativamente íngremes. Na área de estudo afloram os sedimentos do Grupo Serra Grande como arenitos siluro-devonianos que compõe a Bacia Sedimentar do Parnaíba, como é possível verificar pelo mapa geológico da Figura 3.

A obra barra o rio Jaburu, que desde sua nascente corre em vale com constante mudança de direção, encaixado e profundo inserido em substrato rochoso predominantemente formado por arenito intensamente fraturado (Sousa, 2014).

De acordo com Feitosa (1990) e Benvenuti e Feitosa (1998), a Formação Serra grande, no qual o Açude Jaburu está situado, repousa discordantemente sobre o embasamento cristalino, sendo formada numa sequência essencialmente clástica, caracterizada por conglomerados e arenitos, aparecendo em algumas regiões à predominância de clásticos finos como siltitos e folhelhos.

Devido à natureza da geologia local, a rocha sedimentar tende a ter uma porosidade maior que as demais rochas cristalinas. Segundo estudos de reconhecimento hidrodinâmicos realizados por Feitosa (1990), a permeabilidade do maciço pode chegar a um $K = 9 \times 10^{-6}$ m/s, valor relativamente alto em se tratando de maciços rochosos.

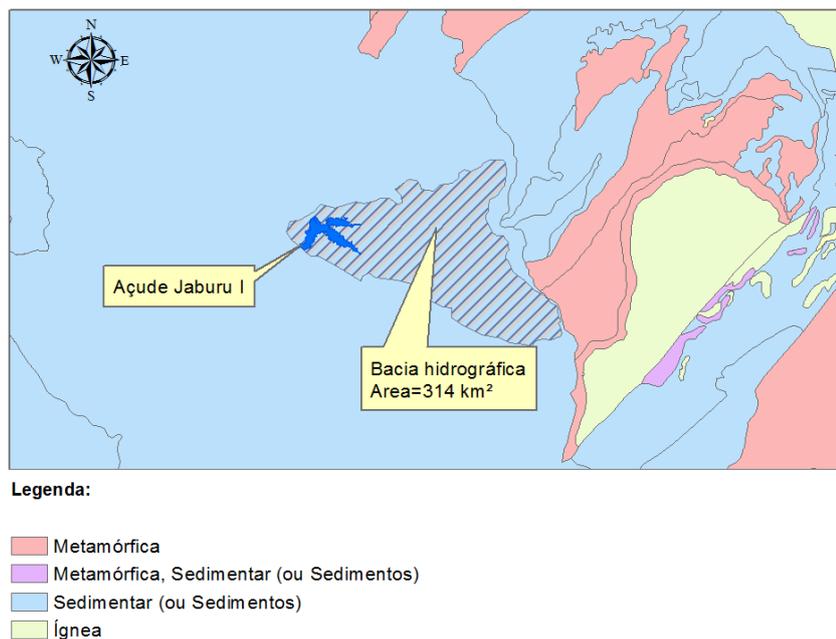


Figura 3 – Mapa geológico da área de estudo.

Sousa (2014) faz ainda referência quanto à ocorrência de fraturas horizontais e sub-horizontais que seguem o acamamento dos arenitos, provavelmente causadas por alívio de pressão ou dissolução de níveis sílticos/caulínicos intercalados, no qual favorecem o surgimento de caminhos preferenciais de percolação.

LEVANTAMENTO DE DADOS PRELIMINARES

Caracterização climatológica do local de estudo

A abordagem da climatologia visa caracterizar a área de estudo nos seus mais variados elementos hidro meteorológicos, em principal a pluviometria e a taxa evaporativa da região. Neste trabalho a evaporação local foi estimada a partir das informações provenientes da rede de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, dentro de um conjunto de dados disponíveis correspondentes aos valores das normais publicadas em 1992, obtidos a partir do monitoramento das variáveis de interesse durante os anos de 1961 a 1990.

No banco de dados do INMET, existem dados de poucas cidades do estado do Ceará, não contemplando especificamente o município de Tianguá onde está situado o objeto de estudo. A cidade mais próxima com dados de evaporação é o município de Sobral/CE, contudo devido as grandes diferenças climáticas em relação ao local de estudo, os dados não são considerados representativos. Desta forma, utilizou-se dados do local de maior semelhança climática ao clima serrano de Ibiapaba, sendo estes os dados do município de Guaramiranga/CE, local distante em 240 km do açude do Jaburu I, porém com semelhança altimétrica da ordem de 800m acima do nível do mar.

A evaporação média anual na estação, medida em tanque-tipo classe “A” foi superior a 605,9mm, distribuída ao longo dos meses conforme demonstra a Tabela 1.

Tabela 1. Evaporação total média da região de estudo

| Mês | jan | fev | mar | abr | mai | jun | jul | ago | set | out | nov | dez |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Mm | 55,1 | 41,2 | 28,0 | 25,4 | 27,2 | 31,6 | 44,7 | 64,6 | 71,6 | 75,1 | 73,3 | 68,1 |

As características pluviométricas da região foram definidas a partir dados hidrológicos de séries históricas disponíveis no portal HIDROWEB da Agência Nacional de Águas (ANA), no qual estes dados pontuais são colhidos com base na coleta de diversas estações, fluviométricas e pluviométricas, espalhadas pelo país.

Examinando os dados disponíveis no local de estudo, identificou a existência de um posto pluviométrico representativo, Posto Ibiapina (00340018). O posto está localizado no interior da bacia de contribuição do açude Jaburu I, apresentando dados coletados desde o ano 1912, com o total de 105 anos de pluviometria registrados. A qualidade e consistência dos dados também são satisfatórias, sem apresentar muitas descontinuidades.

Monitoramento do reservatório

Atualmente, a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH tem realizado o monitoramento operacional dos açudes no estado do Ceará através de leituras diárias dos níveis dos reservatórios. Os dados disponíveis para o açude Jaburu I compreendem o período de Janeiro/1996 até o momento atual. No gráfico na Figura 4 a seguir é apresentado a variação do reservatório durante o período de monitoramento.

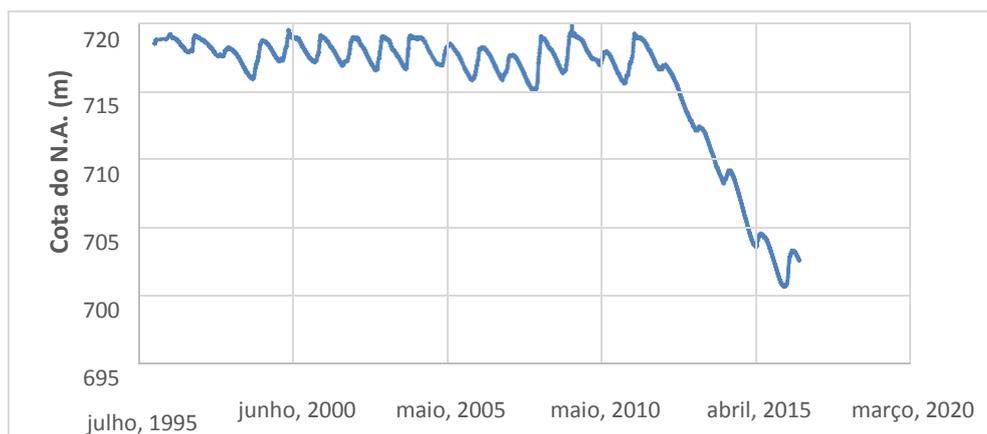


Figura 4 – Variação do nível d’água durante o período operacional do açude Jaburu I.

É possível verificar uma constância de reservação entre o início do monitoramento Janeiro/1996 até o ano de 2012, mantendo uma média de operação do lago na cota 715,30m. A partir do ano de 2012 a 2016, é verificada uma redução significativa do volume do reservatório, em função do período de invernos abaixo da média em que o nordeste brasileiro tem apresentado nos últimos anos.

METODOLOGIA

A metodologia empregada no presente estudo consiste em realizar o balanço hídrico para um período de monitoramento do reservatório do açude Jaburu I. Para isto, foi adotado como base o período que houvesse a inexistência de discontinuidades nos dados coletados, correspondendo ao intervalo e tempo entre janeiro/2006 a junho de 2016, momento em que não houve falhas nos dados coletados dos níveis do reservatório e de dados pluviométricos.

O balanço hídrico foi feito em intervalos mensais, adotando as vazões afluentes devidos às chuvas na bacia de contribuição, além das perdas hídricas de evaporação, perdas por vazões efluentes pelo vertedouro, perdas pela vazão regularizada e influência da bacia sedimentar.

O volume afluente é estimado pela pluviometria mensal da série histórica e pelas características físicas da bacia de contribuição. As perdas por evaporação são definidas de acordo com a taxa de evaporação mensal para cada período e pela área do lado definida para a cota do reservatório no momento. As perdas pelo vertedouro ocorrem apenas nos períodos invernosos, sendo estimados com base na cota de vertimento em função da curva cota x vazão. A regularização do rio tem como base o histórico de liberação realizada pela COGERH durante o período estudado.

A única incógnita do balanço hídrico é de fato a influência da bacia sedimentar, podendo promover perda hídrica através da infiltração do fluxo ou mesmo ganho hídrico por meio da realimentação do reservatório. A solução para esta variável só é possível devido o conhecimento exato da capacidade do reservatório em cada período mensal analisado. O fluxograma a seguir apresenta a representação gráfica do problema.

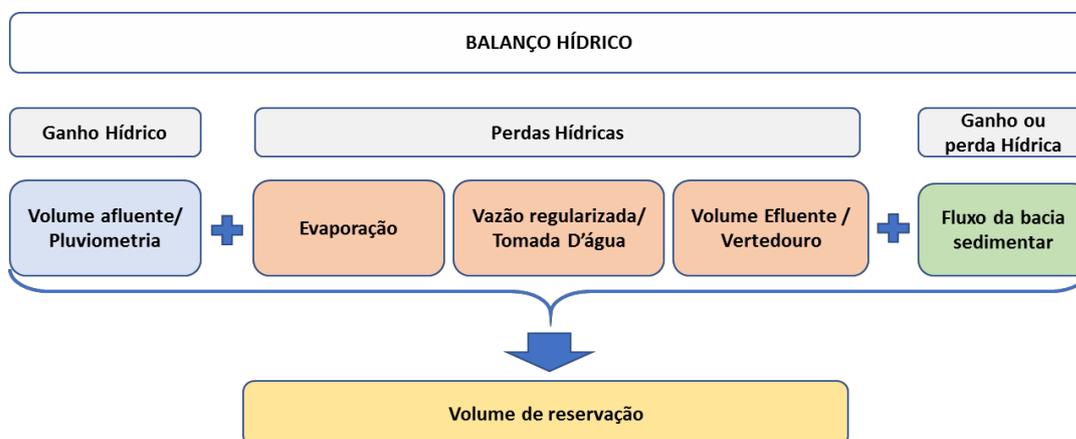


Figura 5 – Fluxograma do Balanço hídrico.

RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DO FLUXO HÍDRICO DA BACIA SEDIMENTAR DURANTE O PERÍODO OPERACIONAL

O balanço hídrico realizado permitiu avaliar a influência da bacia sedimentar no reservatório ao longo do período operacional, estimando assim o volume absorvido ou fornecido pela bacia. As estimativas mostram que para os períodos de altos índices pluviométricos, a capacidade de infiltração da região sedimentar é elevada, como é possível verificar no gráfico a seguir, onde apresenta o volume resultante pelo fluxo hídrico da bacia.

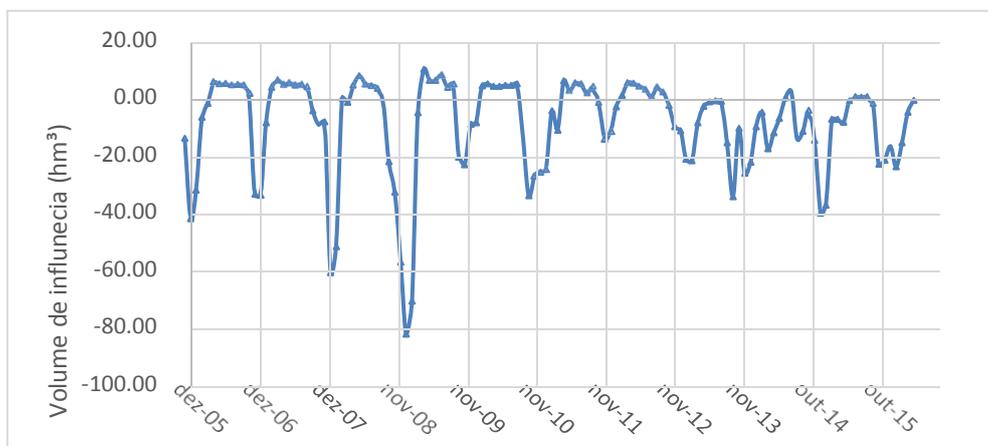


Figura 6 – Volume do fluxo hídrico da bacia sedimentar.

Analisando isoladamente o mês de maior precipitação (Abril/2009) na Tabela 2 a seguir, é possível avaliar melhor a influência da bacia sedimentar na hidrologia local.

Tabela 2. Comportamento hídrico do mês de maior precipitação no período analisado

| Data | Precipitação (mm) | Volume afluente (hm ³) | Varição do volume no reservatório (hm ³) | Perdas pelo vertedouro, evaporação, vazão regularizada | Infiltração na bacia sedimentar (hm ³) |
|------------|-------------------|------------------------------------|--|--|--|
| Abril/2009 | 498,3 | 136,1 | 16,0 | -30,1 | 90,1 |

Apesar de uma elevada precipitação no mês de Abril/2009, a variação no reservatório foi de apenas 1,79m, representando um acréscimo de apenas 16,0 hm³ no volume de reservação. Por este dado é possível observar um elevado volume de infiltração da ordem de 90,1 hm³ absorvido pela bacia sedimentar, concluindo assim a grande influência da bacia na infiltração na região.

Para períodos de estiagem, as recargas ao reservatório promovidas pela bacia também atingem valores representativos, como se pode verificar no segundo semestre do ano de 2012, que apesar das elevadas perdas pela vazão regularizada e evaporações, da ordem de 5 hm³/mês, a redução do volume de acumulação do açude atingia valores bem menores, indício de que a bacia sedimentar também passou a alimentar o reservatório durante este período de decréscimo de reserva hídrica.

Tabela 3. Comportamento hídrico no período de estiagem

| Data | Precipitação (mm) | Volume afluente (hm ³) | Varição do volume no reservatório (hm ³) | Perdas pelo vertedouro, evaporação, vazão regularizada (hm ³) | Alimentação do reservatório pela bacia sedimentar (hm ³) |
|-------------|-------------------|------------------------------------|--|---|--|
| Junho /2012 | 0 | 0 | -2.4 | -5,8 | 3.4 |
| Julho /2012 | 0 | 0 | -2.5 | -5,6 | 3.1 |

| Data | Precipitação (mm) | Volume afluyente (hm ³) | Varição do volume no reservatório (hm ³) | Perdas pelo vertedouro, evaporação, vazão regularizada (hm ³) | Alimentação do reservatório pela bacia sedimentar (hm ³) |
|----------------|-------------------|-------------------------------------|--|---|--|
| Agosto /2012 | 0 | 0 | -3.4 | -5,5 | 2.1 |
| Setembro /2012 | 0 | 0 | -4.3 | -5,3 | 1.0 |

CONCLUSÕES

O estudo realizado permitiu avaliar o comportamento hídrico de um reservatório, feito a partir de dados reais de monitoramento para um determinado período operacional, para casos particulares de reservatórios construídos no meio sedimentar. A partir dos resultados, foi possível analisar e quantificar o fluxo subterrâneo durante o período estudado, verificando que a taxa de esvaziamento do açude no período de estiagem é desacelerada devido à alimentação do reservatório pelo fluxo do material sedimentar. Constatou-se ainda uma significativa influência no aproveitamento hídrico da captação feita pela bacia, motivado pela elevada infiltração que ocorre na rocha sedimentar da região.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos-COGERH pela permissão para divulgação dos dados e resultados apresentados nesse trabalho e ao CNPq pelo apoio ao desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Benvenuti, S. M. P., & Feitosa, F. A. DIAGNÓSTICO DO MUNICÍPIO DE TIANGUÁ. 1998
- DE AGUIAR, R. B.; VERÍSSIMO, L.S.; VASCONCELOS, S.M.S.; (2015). *Subsídios à gestão dos recursos hídricos subterrâneos na borda nordeste da bacia sedimentar do Parnaíba*. In Anais do XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Belo Horizonte, Outubro, 2014.
- FEITOSA, F. A. C. (1990). *Estudo hidrogeológico do aquífero cabeças no médio vale do Rio Gurguéia/Pi* (Dissertação de Mestrado)
- GAIOTO, N. *Sistemas de controle de Percolação de Água em Projetos de Barragens de Terra*. Concurso de Livre-Docência. EESC/USP, São Carlos/SP. 1992
- SOUSA, Lucrécia Nogueira de. *Avaliação do comportamento da fundação de barragem em Rocha Arenítica: estudo de caso da Barragem Jaburu I*. 2014. Tese de Doutorado.