

Caracterização hidrológica e influência da cobertura do solo nos parâmetros de vazão do Rio das Fêmeas

Hydrological characterization and influence of the land cover on Fêmeas River flow parameters

Nayara Silva Souza¹, Wanderley de Jesus Souza², Jossy Mara Simões Cardoso³

RESUMO

ABSTRACT

Nesta pesquisa realizou-se a caracterização pluvi-fluviométrica da Bacia do Rio das Fêmeas em São Desidério (BA) e avaliaram-se as modificações das vazões, considerando a presença de uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH) e as alterações na cobertura do solo. Selecionaram-se as estações da rede da Agência Nacional de Águas (ANA) para análise dos dados históricos de vazão e precipitação (1985-2013); utilizaram-se imagens dos satélites Landsat 5 e IRS-P6 (RESOURCESAT-1) dos anos 1985, 1995, 2000, 2005, 2008, 2011 e 2012 para classificação supervisionada da cobertura do solo em duas classes distintas: áreas com vegetação natural e áreas com interferências antrópicas, cujas regiões possuíam algum tipo de uso. Além disso, foram avaliadas as alterações das vazões medianas e médias anuais antes e após a instalação da PCH. Os resultados deste trabalho mostraram que os dados anuais médios de vazão, ao longo do tempo, reduziram com uma magnitude maior que os dados médios anuais de precipitação na bacia estudada. Em relação à ocupação do solo, a área antropizada aumentou ao longo do tempo. Diante deste estudo verificou-se que a presença do reservatório da PCH possibilitou redução nos picos de vazões máximas e aumento nos valores baixos das vazões mínimas. No período pós-PCH ocorreram vazões médias e medianas inferiores ao período pré-PCH. Entretanto, estes resultados foram influenciados pela combinação do aumento das atividades antrópicas com a variação da precipitação média anual na bacia.

In this research it was studied a pluvi-fluviometric characterization and the flow rates changes of Fêmeas River basin located in São Desidério (BA), considering the presence of a PCH and the cover soil alterations. Therefore the network stations of the *Agência Nacional de Águas* were selected to analyze the rainfalls and flows historical data (from 1985 to 2013); LandSat 5 and IRS-P6 (RESOURCESAT-1) satellite images of 1985, 1995, 2000, 2005, 2008, 2011 and 2012 years were used for land cover classification in two classes: natural; and areas with anthropic influence, in whose regions there was some kind of use; and the changes in the median and average annual flows before and after the PCH installation were evaluated. The results of this research showed that the annual average flow data over the study period reduced in a magnitude higher than the annual average rainfall data. In relation to the soil land use, the anthropic area increased over time. With this study it was found that the presence of the PCH reservoir allowed a reduction in the maximum and minimum flow rates peak. It was observed that in the post-PCH period both average and median flow rate data were lower than that those measured in the pre-PCH period. Nevertheless, these results were influenced by the combination of the human activities that increased over time and the annual average rainfall data variation in the basin.

Palavras-chave: impactos em vazões; hidrologia; gestão de bacias; barramento.

Keywords: impact on flows; hydrology; watershed management; barring.

INTRODUÇÃO

Os usos e as ocupações do solo de forma desordenada têm ocasionado uma série de impactos negativos em bacias hidrográficas. Em um trabalho realizado por Demanboro, Laurentis e Bettine (2013) sobre o

diagnóstico ambiental da Bacia do Rio Atibaia os autores concluíram que o alto grau de intervenção antrópica na bacia, principalmente nas Áreas de Preservação Permanente (APPs), os elevados valores do consumo de água e os despejos de efluentes domésticos promoveram

¹Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB) - Teixeira de Freitas (BA), Brasil.

²Doutor em Ciências pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (USP) - Teixeira de Freitas (BA), Brasil.

³Mestranda em Meio Ambiente, Águas e Saneamento pela Universidade Federal da Bahia (UFBA) - Salvador (BA), Brasil.

Endereço para correspondência: Nayara Silva Souza - IF Baiano - Campus Teixeira de Freitas - Rodovia BR 101, Km 882, s/n - 45995-970 - Caixa Postal 66 - Teixeira de Freitas (BA), Brasil - E-mail: nayara.souza@teixeira.ifbaiano.edu.br

Recebido: 07/10/15 - **Aceito:** 30/05/16 - **Reg. ABES:** 155279

a deterioração dos corpos d'água e a degradação ambiental da bacia. Atividades agrícolas, ocupação urbana, aproveitamentos hidrelétricos, abastecimento, irrigação, entre outros usos, têm ocasionado alterações no ciclo hidrológico e, conseqüentemente, no regime hidrológico dos rios, como destacado por Martins *et al.* (2011), Rocha (2010), Tucci (2008) e Vanzela, Hernandez e Franco (2010).

As diferentes fases do ciclo hidrológico podem ser afetadas por intervenções humanas, e em cada ponto de intervenção as intensidades dos impactos ocorridos podem ser diferentes. Desse modo, o conhecimento sobre a dinâmica do ciclo hidrológico é de grande importância para a gestão e o manejo dos recursos hídricos e ambientais de uma região, sendo a precipitação e a vazão dois aspectos bastante estudados, por representarem as formas de entrada e saída de água dentro de uma bacia hidrográfica (ROCHA, 2010).

Devido a isso, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), Lei nº 9433/2007, instituiu, entre os seus instrumentos, o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), que se caracteriza como um amplo sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos, bem como fatores intervenientes para sua gestão. Dentre os dados presentes nesse sistema estão as informações sobre estações pluviométricas e fluviométricas de diversas bacias hidrográficas do país (BRASIL, 1997).

Além da caracterização pluvi-fluviométrica de bacias hidrográficas, existem ferramentas de fácil utilização para calcular as características dos regimes hidrológicos naturais e alterados, como o *software Indicators of Hydrologic Alteration* (IHA – Indicadores de Alterações Hidrológicas), desenvolvido pela *The Nature Conservancy* (TNC). Segundo Lima (2014), o IHA é bastante utilizado em vários locais do mundo, e aceito pela comunidade acadêmica para avaliação e classificação das alterações hidrológicas. Por sua vez, Olden e Poff (2003), por intermédio do estudo de 420 locais nos Estados Unidos, observaram a redundância na escolha de índices hidrológicos para caracterização de regimes de rios e, dessa forma, puderam afirmar que o IHA é capaz de representar as informações hidrológicas de forma satisfatória.

Esse método possibilita analisar os parâmetros hidrológicos em dois períodos distintos, bem como a tendência para um único período. Se no sistema hidrológico houver uma mudança abrupta, como, por exemplo, a construção de um reservatório, o IHA pode ser utilizado para análise da mudança de regime do rio com base nos parâmetros hidrológicos para os períodos antes e após a instalação da estrutura (caso aplicado a esta pesquisa); se no sistema hidrológico houver modificação antrópica em longo período, o IHA pode ser usado para análise de tendência do comportamento hidrológico.

De acordo com Genz (2006), em relação às alterações hidrológicas, o IHA possibilita destacar mudanças na distribuição temporal

das vazões, além de variações nas características da forma do hidrograma, enquanto a análise da curva de permanência apresenta as alterações em termos de magnitude do comportamento hidrológico geral do rio.

A análise dos 33 parâmetros hidrológicos do IHA pode ser realizada por meio do *Range Variability Approach* (RVA), em português: regime de variação admissível, que, de acordo com Richter *et al.* (1997), corresponde à variação do regime do rio. Além disso, o IHA possibilita o cálculo de parâmetros para cinco tipos diferentes de Componentes de Vazão Ambiental (CVAs): vazões baixas, vazões extremamente baixas, pulsos de vazão alta, pequenas cheias e grandes cheias. Cenários estes que devem ser analisados para que se possa garantir a integridade ecológica do corpo d'água (THE NATURE CONSERVANCY, 2009).

Dada a importância de um estudo hidrológico voltado para o manejo e a conservação do solo e da água da bacia hidrográfica, bem como para o atendimento das múltiplas demandas hídricas nela existentes, nesta pesquisa realizou-se a caracterização pluvi-fluviométrica da Bacia do Rio das Fêmeas e avaliaram-se as alterações das vazões do referido rio, no período de 1985 a 2013, considerando as mudanças no uso e na cobertura do solo e a instalação da Pequena Central Hidrelétrica (PCH) Sítio Grande.

METODOLOGIA

Área de estudo

O Rio das Fêmeas nasce na Serra de Goiás, que divide as águas das Bacias dos Rios São Francisco e Tocantins (LOURENÇO; CARVALHO; NUNES, 2012), e deságua no Rio Grande, no município de São Desidério (BA). Possui aproximadamente 158 km de extensão que drenam uma área de 6.420,23 km²; entre seus afluentes destacam-se os Rios Mosquito, Roda Velha e Galheirão. O Rio das Fêmeas é um dos principais afluentes da Bacia do Rio Grande. Encontra-se entre os paralelos 11°15' e 13°30'S e 43°45' e 46°30'W, abrangendo aproximadamente 42% do município de São Desidério, o qual, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2014), apresenta uma área de 15.174 km² e uma população estimada de 32.078 habitantes.

Na Figura 1 está apresentado um esquema da Bacia do Rio das Fêmeas, contendo a localização da PCH Sítio Grande e das estações pluvi-fluviométricas utilizadas neste estudo, bem como suas áreas de influência na bacia.

O clima da região classifica-se como Aw (Köppen) (clima tropical com chuvas de verão), com temperatura média anual de 23,2°C, e umidade média relativa do ar variando entre 45 e 79% (SRH, 2003). O Bioma predominante na bacia é o Cerrado e os solos de maior ocorrência são os Latossolos, conforme Levantamento de Reconhecimento de Solos do Estado da Bahia (EMBRAPA, 1973).

Uso e ocupação do solo na bacia

Dentre as diversas atividades desenvolvidas na bacia, tais como agricultura, pecuária, abastecimento humano, lazer e geração de energia, destacam-se, de acordo com Spagnolo (2011), a agricultura e a pecuária, que apresentaram grande incremento entre os anos de 1984 e 2008. Além das atividades citadas, encontra-se instalada na região a PCH Sítio Grande, a qual tem sido alvo de grandes polêmicas entre as populações locais acerca dos possíveis impactos no Rio das Fêmeas, principalmente no que se refere às variações de vazões e à qualidade da água.

Para classificação e análise do uso e da ocupação do solo na bacia, utilizaram-se duas classes: áreas com vegetação natural, sem interferência humana, e áreas com interferências antrópicas, cujas regiões possuíram algum tipo de uso. Para tanto, foram realizadas visitas a campo, verificando-se o tipo de ocupação em algumas regiões da bacia. Também foram utilizadas imagens do satélite Landsat 5, referentes aos

anos de 1985, 1995, 2000, 2005, 2008 e 2011, e do satélite IRS-P6 (também conhecido como RESOURCESAT-1), referentes ao ano de 2012, todas fornecidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2012). As imagens foram processadas em um *software* livre, o *Spring*, versão 5.1.6, utilizando a metodologia de classificação supervisionada por *pixel*, sendo posteriormente inseridas no *software ArcGis*, no qual foram calculadas, com a utilização da ferramenta “*tabulate area*”, as áreas antropizadas e naturais da bacia.

Caracterização hidrológica

Para o estudo pluviométrico selecionaram-se oito estações da rede da ANA com dados entre os anos 1985 e 2013. Entre as estações escolhidas, duas encontram-se na Bacia do Rio das Fêmeas – Estações Deroçal e Roda Velha – e seis em bacias vizinhas – Estações Audora do Norte, São Domingos, Sítio Grande, Fazenda Johá, Fazenda Redenção e Fazenda

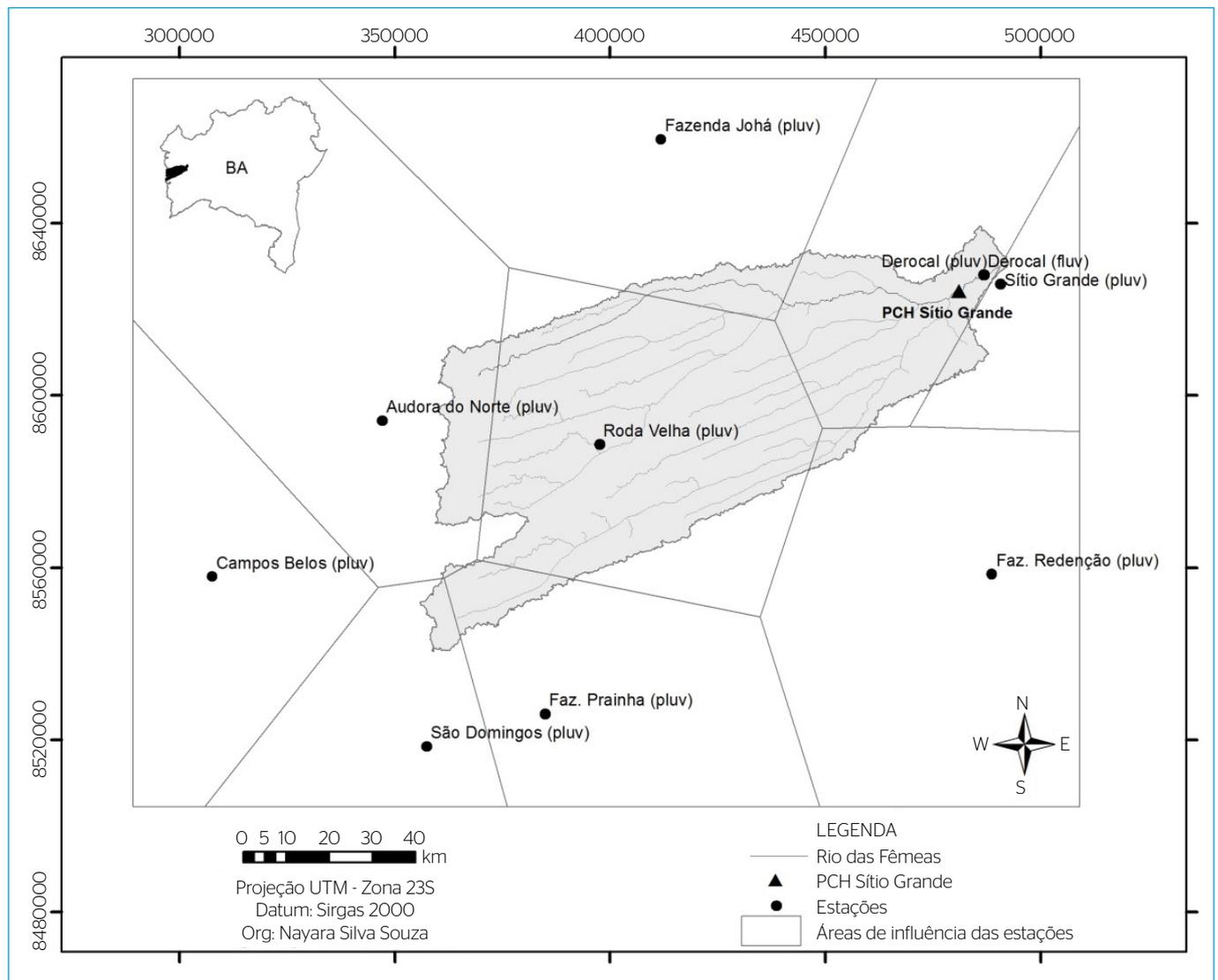


Figura 1 - Bacia do Rio das Fêmeas com a localização das estações hidrológicas e do reservatório da Pequena Central Hidrelétrica.

Prainha, conforme Figura 1. Pelo polígono de Thiessen foi possível traçar as áreas de influência das estações, para caracterização pluviométrica espacial.

As falhas de dados foram preenchidas pelo Método de Ponderação Regional descrito por Bertoni e Tucci (2007), geralmente utilizado para o preenchimento de séries mensais e anuais. Procedeu-se à análise de homogeneidade e consistência dos dados pelo método das duplas massas, que, segundo Tucci (2009), foi desenvolvido pela *Geological Survey* (USA). Esse método visa corrigir erros sistemáticos das séries históricas.

As precipitações médias da bacia foram calculadas pelo Método de Thiessen, que considera a variabilidade espacial da precipitação. Segundo Lima (2008), esse método é indicado quando os postos pluviométricos não apresentarem localização uniforme, como é o caso do estudo em questão. Para a caracterização fluviométrica, utilizou-se o banco de dados da ANA de 1985 a 2013, referente à Estação Derocal, localizada nas coordenadas 12°24'38" de latitude e 45°07'20" de longitude. A série histórica de vazões diárias apresentou 30 falhas distribuídas entres os anos de 1986, 1995, 2010 e 2011, as quais foram preenchidas pelo método linear. O regime hidrológico do Rio das Fêmeas foi descrito pelas características diárias, mensais e anuais e, posteriormente, foi analisado com o regime pluviométrico da bacia.

Alterações hidrológicas no Rio das Fêmeas

As alterações no regime do Rio das Fêmeas foram analisadas utilizando-se, também, o *software* IHA, versão 7.1, desenvolvido pela TNC. Para tanto, foram inseridas, como dados de entrada, as vazões diárias da Estação Derocal, no formato txt. Em seguida, foram definidas as características das análises considerando o ano hidrológico (1 de outubro a 30 de setembro) e o comportamento mensal e anual das precipitações da área de estudo, bem como o tipo de análise para dois períodos, considerando o 1º período compreendido entre 1985 e 2007 (antes da implantação da PCH Sítio Grande), e o 2º período, de 2008 a 2013 (etapas de construção e operação do empreendimento). Com o IHA analisaram-se 33 parâmetros hidrológicos, que se encontram definidos em 5 grupos conforme Tabela 1.

No cálculo do RVA utilizaram-se os percentis de 25 e 75% das vazões para os RVAs alto e baixo, respectivamente, e 50% para RVA médio, valores estes também utilizados por Genz (2006) e Rodon *et al.* (2013) em estudos de avaliação de efeitos de barragens. Também se efetuaram os cálculos dos CVAs: vazões baixas, vazões extremamente baixas, pulsos de vazão alta, pequenas cheias e grandes cheias. Os parâmetros utilizados para definição dos CVAs foram determinados em três etapas:

1. Separação entre o início das vazões altas/vazões baixas: todas as vazões que excederam 75% das vazões diárias para o período foram classificadas como vazões altas e todas as vazões abaixo de 25% foram classificadas como vazões baixas;
2. Pulsos de vazões altas e inundações: os eventos de pequenas inundações foram definidos como uma vazão alta inicial, com um pico de vazão para um período de retorno superior a dois anos, enquanto os eventos de grandes inundações foram definidos como uma vazão

alta inicial, com um pico de vazão para um período de retorno superior a dez anos, sendo que os eventos que não foram classificados em nenhum desses casos foram considerados pulsos de vazões altas;

3. Vazões extremamente baixas: estas foram definidas como uma vazão inicial baixa, abaixo de 10% da vazão diária para o período analisado. Todas as vazões baixas iniciais não classificadas como vazões extremamente baixas foram classificadas como vazões baixas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Evolução do uso e ocupação do solo na bacia

Na Figura 2 apresentam-se os resultados da variação da cobertura do solo na bacia, considerando as ocupações por áreas naturais e antrópicas no período de 1985 a 2012.

Tabela 1 - Definição dos parâmetros hidrológicos do *Indicators of Hydrologic Alteration*.

Grupo	Parâmetros hidrológicos
1. Magnitude das vazões mensais	Vazão média mensal
2. Magnitude e duração de vazões anuais extremas	Vazão máxima diária Vazão mínima diária Vazão máxima de 3, 7, 30 e 90 dias Vazão mínima de 3, 7, 30 e 90 dias Número de dias com vazão nula Vazão mínima de 7 dias dividida pela vazão média anual (escoamento de base)
3. Épocas das vazões anuais extremas	Dia Juliano de cada vazão máxima diária anual Dia Juliano de cada vazão mínima diária anual
4. Frequência e duração dos pulsos de vazões altas e baixas	Número de eventos de cheia e seca em cada ano Duração média dos eventos de cheia e de seca anual
5. Taxa/frequência de mudanças no hidrograma	Média de todas as diferenças positivas e negativas de dias consecutivos Número de reversões

Fonte: *The Nature Conservancy* (2009).

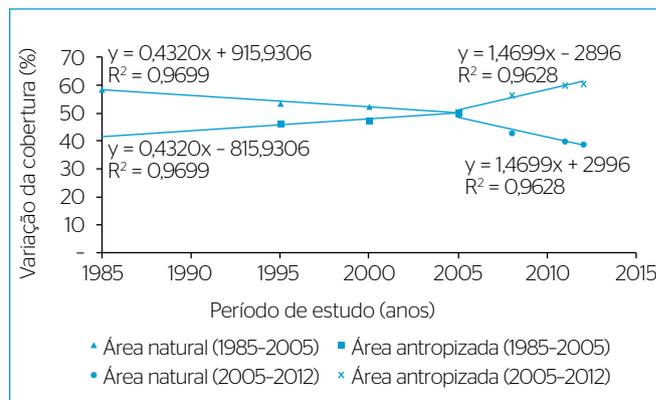


Figura 2 - Percentual de variação das áreas (natural e antrópica) ao longo dos anos.

Pela Figura 2 é possível notar que durante todo o período de estudo, enquanto a área natural tendeu a reduzir, a área antropizada na bacia tendeu a aumentar, conforme se pode ver pelos coeficientes de inclinação das equações para variação da cobertura do solo. Em 1985, a bacia era composta por 58,6% de área natural e 41,4% de área com atividades. Em 2005, praticamente se tem ocupações com área natural e antropizada iguais, em torno de 50% para cada, sendo que a partir daí, enquanto as áreas naturais continuaram reduzindo – porém, a uma taxa mais rápida, comparada ao período de 1985 a 2005, conforme pode ser visto pelo coeficiente de inclinação (-1,469) –, a área antropizada aumentou com maior taxa que no período de 1985 a 2005, o que pode ser comprovado pelo maior valor do coeficiente de inclinação da reta (1,469). Esses resultados são relevantes do ponto de vista de manejo e uso da água, uma vez que, na bacia, a atividade agropecuária apresentou grande incremento entre os anos de 1984 e 2008 (SPAGNOLO, 2011), e continuou aumentando a partir de 2008, principalmente com culturas irrigadas.

Caracterização pluvi-fluviométrica anual e mensal

Na Figura 3 estão apresentadas as variações relativas das vazões e precipitações médias anuais na Bacia do Rio das Fêmeas entre o período de 1985 e 2013, considerando o ano de 1985 como base para observação da variação hidrológica nos anos posteriores.

Observou-se que a variação da vazão apresentou uma linha de tendência cujo coeficiente de inclinação da reta foi de -1,05 e o valor do R^2 (coeficiente de correlação de Pearson) foi de 0,53. A variação da precipitação, por sua vez, apresentou coeficiente de inclinação da reta de -0,58 e R^2 de 0,12.

Nota-se que os dados médios de precipitação e vazão apresentam comportamentos variáveis a cada ano. De 1985 a 1992, época considerada de expansão agrícola na bacia, a vazão teve uma variação mínima para 93,5%, em 1987, e máxima para 126%, em 1992, apresentando um comportamento considerado ascendente, enquanto a precipitação variou de 49%, em 1990, a 108%, em 1992. Por outro lado, após o ano de 1992, embora tenha ocorrido oscilação nos valores médios anuais, observou-se que os dados tanto de vazão quanto de precipitação variaram com menor amplitude em relação às linhas de tendências de reduções.

No geral, as precipitações e vazões médias anuais apresentaram variações com uma suave tendência de redução, sendo a linha de tendência de redução da vazão mais inclinada. No entanto, a linha de tendência de variação da vazão esteve acima da linha de tendência de variação da precipitação, mostrando que a vazão não variou na mesma proporção da precipitação. A variação da vazão foi influenciada pela mudança no uso e na cobertura do solo. Isso ocorreu porque a vazão do rio depende, além das características da precipitação e abstrações iniciais, de fatores como tipo de uso e cobertura do solo. Portanto, nem sempre a redução/aumento da precipitação média contribuiu para redução/aumento da vazão média.

As áreas com interferência humana, que passaram por algum tipo de modificação, contribuíram para a modificação nos componentes do ciclo hidrológico local, principalmente no escoamento superficial e na infiltração da água no solo; com isso, a vazão média anual tendeu a aumentar de 1985 a 1992, devido ao impacto do desmatamento. A partir de 1992, embora o processo de mudança na cobertura tenha continuado, a vazão começou a reduzir, o que pode ter sido influenciado pelas características inerentes à cobertura do solo. Ainda que

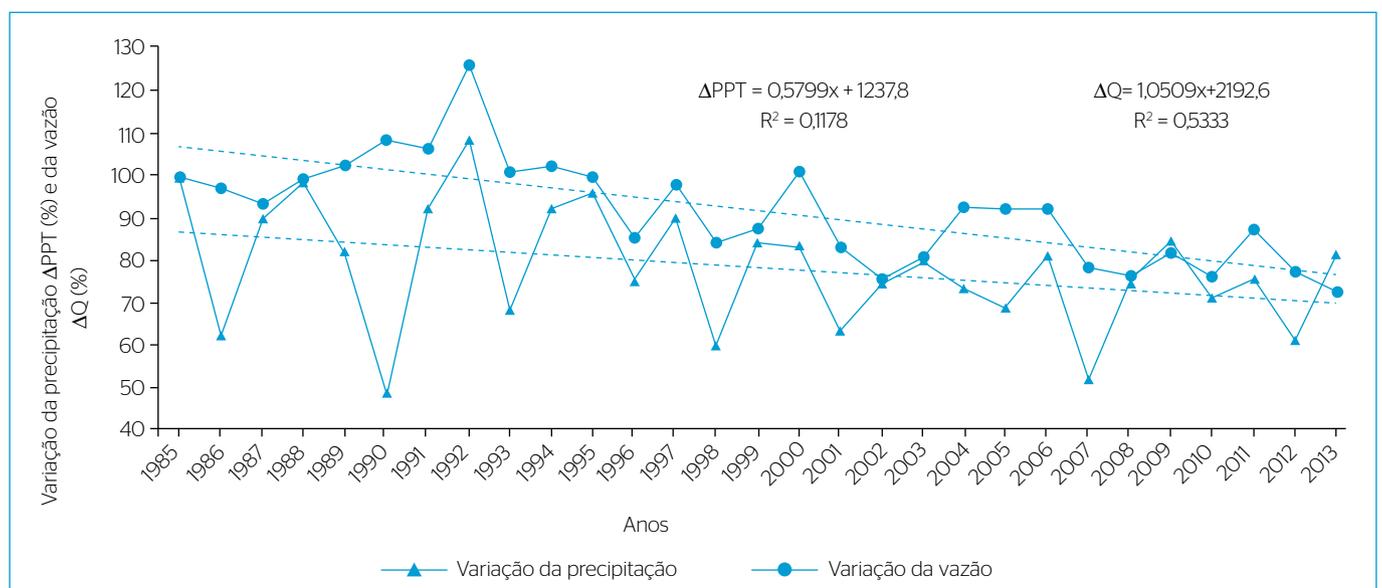


Figura 3 - Variações relativas das vazões e precipitações médias anuais na bacia.

autores como Bosch e Hewlett (1982), Cui e Wei (2012) e Zhao, Xu e Zhang (2012) — alguns destacando a redução do incremento da vazão, devido à rebrota da vegetação após o desmatamento — assegurem que a vazão média de longo termo tenda a aumentar com o desmatamento e reduzir com o reflorestamento, Bosch e Hewlett (1982) afirmam que a interferência da vegetação na vazão é alterada em função das características das plantas, podendo variar até mesmo em função da variedade da cultura existente na bacia.

Com base no coeficiente de inclinação, a tendência de redução verificada é maior para vazão, visto que esta apresentou valor superior ao observado para a variação da precipitação. No entanto, conforme a classificação do R² proposta por Santos (2007), embora as duas variáveis tenham apresentado coeficientes de inclinação negativos, a variação da vazão apresentou comportamento mais homogêneo, sendo este confirmado pelo valor do seu R² (0,53), que indica uma correlação moderada positiva dos dados, enquanto o R² (0,12) dos dados de variação da precipitação sugere uma correlação fraca positiva, ou seja, uma maior variabilidade entre os valores encontrados para a precipitação.

A distribuição da precipitação mensal para o período de 1985 a 2013 é verificada na Figura 4. O período chuvoso inicia-se no mês de setembro, estendendo-se até maio. Nesses dois meses, no entanto, os valores de precipitação encontram-se abaixo de 50 mm.

As chuvas intensificam-se a partir do mês de outubro, sendo o mês de dezembro o que apresentou o maior valor de precipitação média mensal, em torno de 224 mm, seguido de novembro, com média de 200 mm, e janeiro, com 191 mm. Nota-se que o período de junho a agosto corresponde à estação mais seca da área de estudo, quando as precipitações médias não ultrapassaram o valor de 3,15 mm; no caso do mês de julho, tal média ficou abaixo de 1,00 mm (0,66 mm).

Ao se comparar as precipitações médias mensais com as vazões médias mensais, observa-se que o período de novembro a março

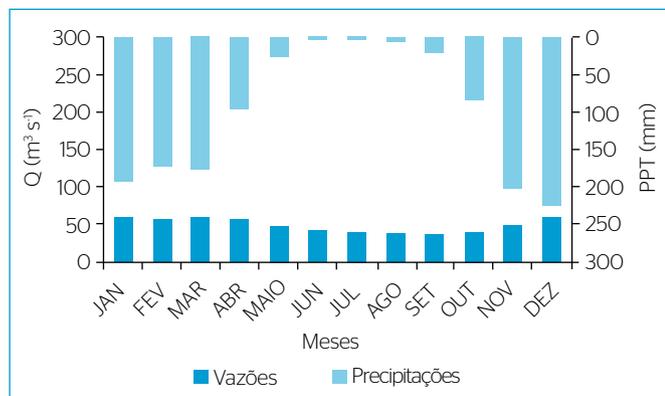


Figura 4 - Precipitações e vazões médias mensais na bacia no período de 1985 a 2013.

apresentou os maiores valores de precipitação e vazão, embora o mês de maior vazão não correspondesse ao mês de maior precipitação, visto que janeiro apresentou a maior vazão média mensal (58,06 m³.s⁻¹), enquanto a maior precipitação média mensal foi registrada para o mês de dezembro (224 mm). No período seco, a vazão mensal reduziu, sendo o mês de setembro o de menor valor (35,57 m³.s⁻¹), diferente do mês de ocorrência da menor precipitação, que foi o mês de julho, com 0,66 mm.

O comportamento mensal das vazões foi mais regular que o das precipitações (Figura 4), visto que a amplitude de variação dos dados foi em torno de 22,49 m³.s⁻¹ para as vazões e de 223 mm para as precipitações. Esses resultados estão de acordo com o observado por Albuquerque (2009), que, ao realizar um estudo da série histórica de precipitação e vazão da Bacia do Rio das Fêmeas para o período de 1977 a 2007, também verificou que a vazão obteve uma pequena variação ao longo da média para os meses do ano, apesar da grande variação observada para a precipitação ao longo dos meses.

Análise de impactos nos parâmetros fluviométricos

Na Figura 5 apresenta-se o comportamento das vazões mensais medidas no posto Derocal, antes (pré-PCH) e após (pós-PCH) a construção do barramento da PCH Sítio Grande.

Pode-se notar uma redução das vazões medianas e de suas variações mensais no período pós-PCH, em que a maioria dos dados situa-se abaixo dos limites inferiores do RVA, com exceção apenas do mês de novembro, cuja mediana situou-se no limite inferior do RVA. Para o período chuvoso, esses resultados podem ser atribuídos à presença do reservatório no rio. Neste caso, o reservatório possibilitou um impacto positivo, por atenuar os picos de vazões, reduzindo os valores das medianas, e pela liberação do fluxo de forma controlada ao longo do ano. Na época de seca, as medianas continuaram a reduzir. Neste caso, fatores como a redução da precipitação e os usos da água e do solo na bacia podem estar contribuindo para a redução dos valores medianos de vazão.

Na Figura 6 observa-se a modificação da curva de permanência das vazões para os dois períodos, em que é possível notar a redução das vazões no período pós-PCH.

Nota-se uma queda drástica nas vazões com 1% de permanência. Por sua vez, à medida que as permanências aumentam, a redução da vazão na curva torna-se menos acentuada, como observado a partir da permanência de 85%. Trabalhos como o de Rodon *et al.* (2013), que estudaram a influência da Barragem do Apertado (barragem de regularização) nas alterações hidrológicas no Alto Rio Paraguaçu (BA), mostraram comportamento semelhante em relação à curva de permanência, com uma queda acentuada nas menores permanências das vazões a jusante do barramento.

Na Figura 7 apresentam-se os 33 parâmetros do IHA relacionados às alterações hidrológicas, avaliados para os anos hidrológicos de 1985/1986 a 2012/2013, divididos em grupos, sendo:

- Grupo 1 – magnitude das vazões mensais;
- Grupo 2 – magnitude e duração de vazões anuais extremas;
- Grupo 3 – período de vazões anuais extremas, vazão de base e vazões nulas;
- Grupo 4 – frequência e duração dos pulsos de vazões altas e baixas; e
- Grupo 5 – taxa/frequência de mudanças no hidrograma.

Pela Figura 7 verifica-se que as principais alterações fluviométricas ocorreram na categoria RVA baixo em todos os grupos. Nos parâmetros do Grupo 1, correspondentes às vazões medianas dos 12 meses, observou-se o aumento da categoria RVA baixo para todos os meses. No mês de abril registrou-se, também, um aumento da categoria RVA médio. Com base nessas observações é possível dizer que houve aumento das magnitudes das vazões baixas para todos os meses. A categoria RVA alto diminuiu em todos os meses.

Nos parâmetros do Grupo 2 (vazões máximas e mínimas de 1, 3, 7, 30 e 90 dias), nota-se aumento para a categoria RVA baixo para todas as vazões mínimas e máximas; no entanto, para as vazões máximas de 1 e 3 dias, embora tenha havido aumento dessa categoria, a redução verificada para a categoria RVA alto foi mais expressiva. Assim como constatado por Rocha (2010) em seu estudo “Indicadores de alterações hidrológica no Alto Rio Paraná: Intervenções humanas e implicações na dinâmica do ambiente fluvial”, as maiores alterações observadas para o Grupo 2 nessa pesquisa ocorreram para os eventos de mínimos.

Chen *et al.* (2015), ao estudar a alteração hidrológica a jusante do Reservatório Gangkouwan, no Rio Xijin, sudoeste da China, induzida pelas operações hidrelétricas, observaram que as vazões máximas de 1 dia bem como as vazões máximas de 3, 7, 30 e 90 dias foram menores no período pós-PCH, em comparação ao pré-PCH. No caso deste estudo, apesar de se tratar de alterações hidrológicas ocasionadas por PCH operando a fio d'água, o comportamento foi similar ao observado por Chen *et al.* (2015), o que pode indicar que tais mudanças também podem implicar um regime de regularização ao curso d'água. Ainda no Grupo 3, os dias com vazões nulas não sofreram alterações e o fluxo de base foi alterado para mais na categoria RVA baixo e para menos nas categorias RVA médio e alto.

Com relação ao Grupo 3, nota-se um maior aumento da categoria RVA baixa para o dia de vazão mínima e da categoria RVA média para os dias de vazão máxima. Em relação aos parâmetros que compõem o Grupo 4, houve aumento da categoria RVA baixo para a duração dos pulsos altos e baixos, bem como para o número

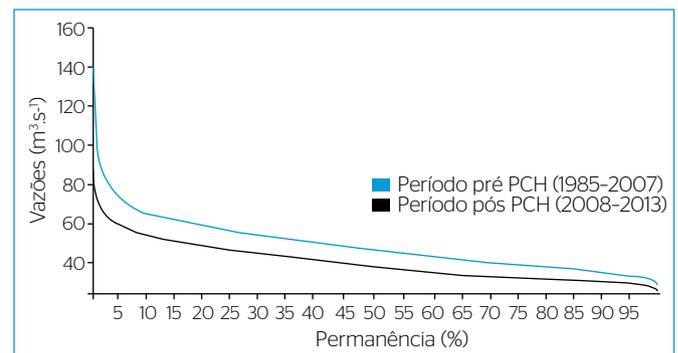


Figura 6 - Modificação da curva de permanência das vazões do Rio das Fêmeas.

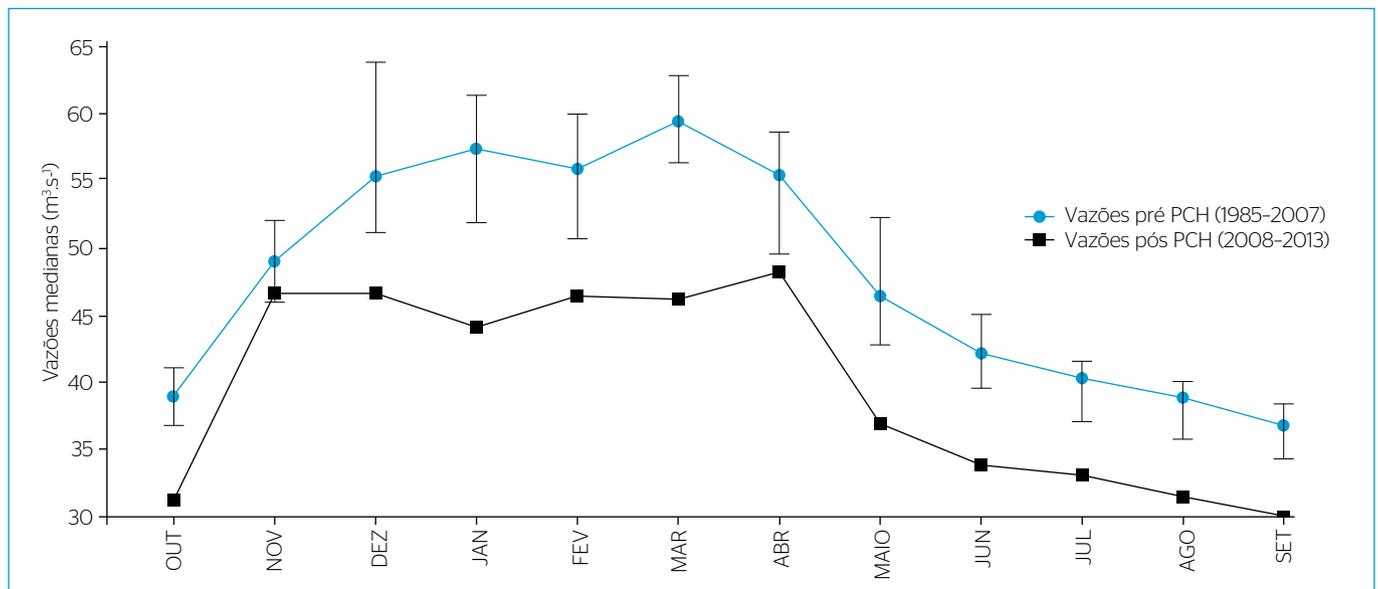


Figura 5 - Vazões medianas mensais do Rio das Fêmeas medidas no posto Derocal nos períodos pré e pós-Pequena Central Hidrelétrica.

de pulsos altos. Ainda no Grupo 4, observou-se que, enquanto o número de pulsos baixos aumentou na categoria RVA alto, o número de pulsos altos diminuiu na categoria RVA alto. Isso mostra a influência do barramento na regularização das vazões do Rio das Fêmeas, visto que as altas vazões passaram a ter menores pulsos e um menor período de duração, e as vazões baixas passaram a ter menor duração e pulsos maiores.

Por sua vez, no Grupo 5, a taxa de queda registrou um aumento da categoria RVA alto, que refere-se justamente às quedas das vazões altas, enquanto a taxa de incremento registrou aumento na categoria RVA baixo, o que refere-se ao aumento das vazões baixas. No parâmetro número de reversões observou-se uma redução da categoria RVA baixo.

Na Figura 8 são apresentadas as variações dos cinco componentes ambientais das vazões ao longo do tempo. Nota-se a existência de

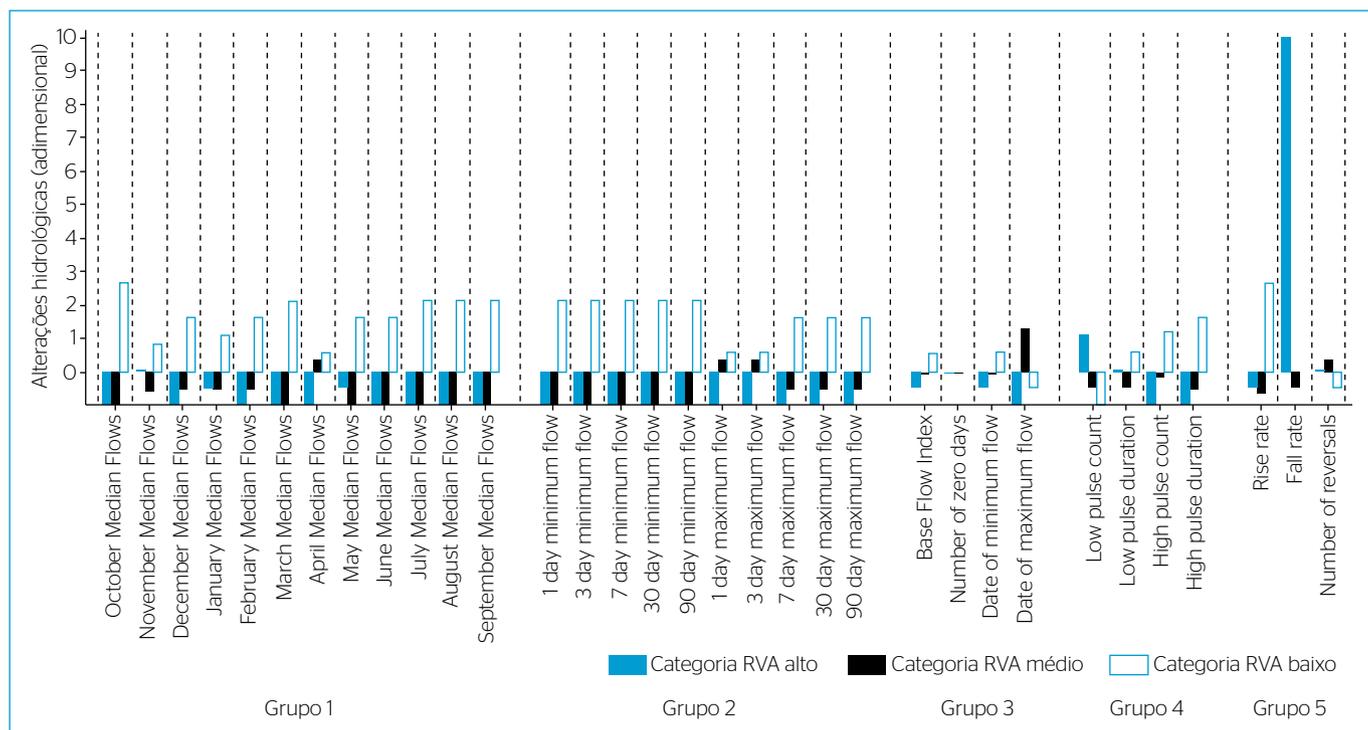


Figura 7 - Alterações fluviométricas do Rio das Fêmeas.

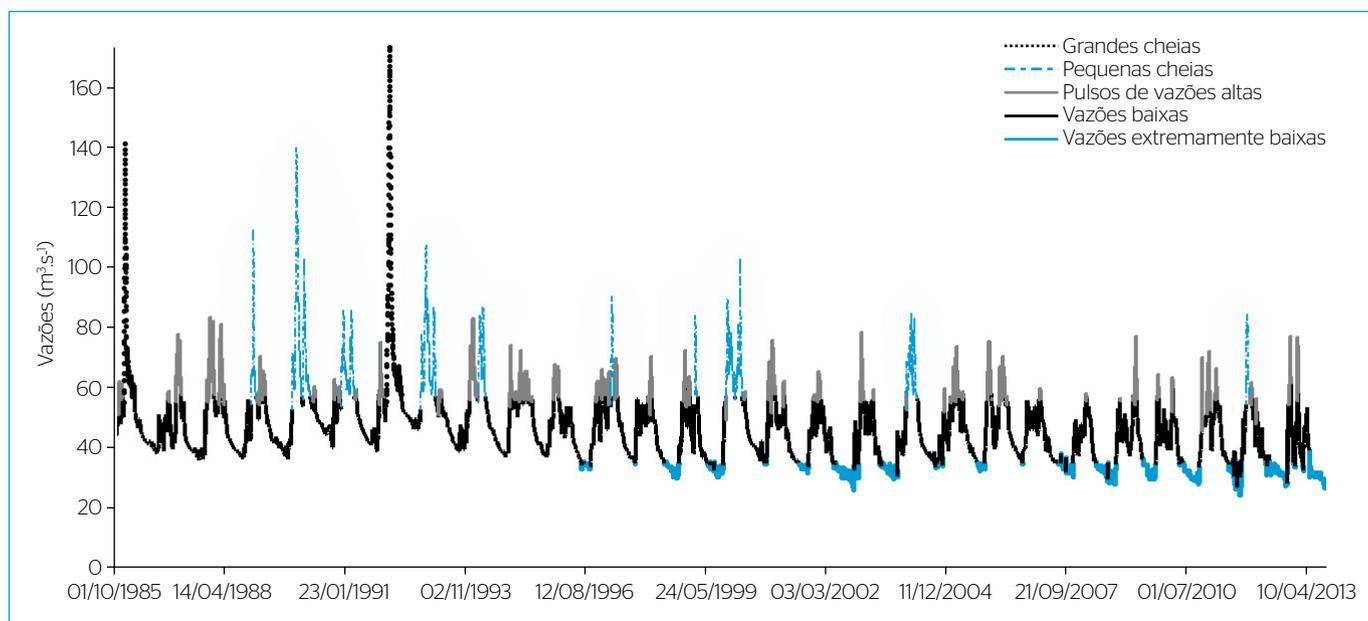


Figura 8 - Componentes ambientais das vazões do Rio das Fêmeas.

dois eventos de grandes cheias, um registrado entre dezembro de 1985 e março de 1986, e o outro, de janeiro a maio de 1992, anos em que também foram registradas elevadas precipitações.

Em relação às pequenas cheias, estas ocorreram com mais frequência que as grandes cheias, como observado nos anos de 1989 a 1991, 1993, 1994, 1997, 1999, 2000, 2004, 2011 e 2013, sendo que o maior registro de vazão observado entre as pequenas cheias foi do ano de 1991, aproximadamente $140 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Todavia, com o passar dos anos, essas cheias foram tornando-se mais espaçadas e menos intensas, principalmente a partir do ano de 2000.

As vazões extremamente baixas passaram a ocorrer a partir do ano de 1996, com exceção apenas dos anos de 1997, 2000 e 2006. Entre os anos de ocorrência desse evento, o ano de 2011 foi o que registrou a menor vazão, abaixo de $25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Os resultados indicaram que o período pós-PCH (2008–2013) apresentou uma redução da vazão em relação ao período pré-PCH (1985–2007), visto que a média passou de 48,80 para $40,30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

No entanto, não se deve descartar que as modificações ambientais ocorridas na bacia, como aumento da área agrícola, uso urbano, redução de áreas naturais, entre outras, destacados por Spagnolo (2011), possam ter favorecido a alteração nas vazões do Rio das Fêmeas. Segundo Gomes e Barizon (2014), com a expansão das atividades agrícolas no oeste da Bahia, principalmente soja e algodão, vários municípios tiveram um crescimento acima da média do Estado, o que representou um crescimento do consumo de água, não só para abastecimento urbano, como também para as lavouras irrigadas (muitas vezes com utilização de água subterrânea). Sabendo-se que a recarga líquida do Aquífero Urucuaia pelas águas das chuvas na região é de apenas 20% (para o período de 1984 a 1995), cerca de $258,50 \text{ mm} \cdot \text{ano}^{-1}$

(PIMENTEL *et al.*, 2000), a utilização maciça desse aquífero pode afetar sua recarga, como também o volume da água de diversos cursos d'água, já que muitos deles dependem do próprio aquífero em questão para manutenção de sua vazão, como é o caso do Rio das Fêmeas.

CONCLUSÕES

Na caracterização pluvi-fluviométrica anual realizada para o período de 1985 a 2013, verificou-se uma tendência geral de redução da vazão média anual mais acentuada que da precipitação média anual.

Durante o período de estudo, observou-se que a área antropizada na bacia aumentou, tendo sido verificados maiores incrementos a partir do ano 2005.

Pela análise dos parâmetros fluviométricos, no período pós-PCH (2008–2013) se obteve redução nos valores altos das vazões máximas e aumento nos valores baixos das vazões mínimas. Nesse mesmo período ocorreram reduções das vazões médias e medianas em relação ao período pré-PCH (1985–2007).

A combinação entre a variação da precipitação média e a mudança na cobertura do solo da bacia pode ter contribuído para o aumento e redução da vazão média do rio. Entretanto, é importante ressaltar que existe certo grau de incerteza na magnitude da referida contribuição para a variação da vazão nos períodos antes (1985–2007) e após (2008–2013) a instalação do reservatório, devido ao fato de se ter analisado duas séries de estudos com tamanhos (número de anos avaliados) diferentes.

Estudos posteriores devem ser conduzidos para se investigar o grau de influência que cada tipo de uso presente na bacia ocasiona na vazão do Rio das Fêmeas.

REFERÊNCIAS

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Sistema de informações hidrológicas* (Hidroweb). Disponível em: <<http://hidrosat.ana.gov.br/DocTecnica.aspx>>. Acesso em: 17 jan. 2014.

ALBUQUERQUE, A.C.L.A. (2009) *Estimativa de recarga da bacia do Rio das Fêmeas através de métodos manuais e automáticos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília.

BERTONI, J.C. & TUCCI, C.E.M. Precipitação. (2007) In: TUCCI, C.E.M. *Hidrologia: Ciência e aplicação*. Porto Alegre: UFRGS. p. 177-241.

BOSCH, J.M. & HEWLETT, J.D. (1982) A review of catchment experiment to determine the effects of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, v. 55, p. 3-23.

BRASIL. (1997) *Lei nº 9433*, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 10 jan. 2014.

CHEN, Q.; ZHANG, X.; CHEN, Y.; LI, Q.; QIU, L.; LIU, M. (2015) Downstream effects of a hydropeaking dam on ecohydrological conditions at subdaily to monthly time scales. *Ecological Engineering*, v. 77, p. 40-50.

CUI, X. & WEI, X. (2012) Impacts of forest change on hydrology: a case of large watersheds in the upper reaches on Minjiang River watersheds in China. *Hydrology Earth System Science*, v. 16, p. 4279-4290.

- DEMANBORO, A.C.; LAURENTIS, G.L.; BETTINE, S.D.C. (2013) Cenários ambientais na bacia do rio Atibaia. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 18, n. 1, p. 27-37.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. (1973) *Levantamento Exploratório de reconhecimento de Solos do Estado da Bahia*. Recife: EMBRAPA/SUDENE. Disponível em: <<http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.php?link=ba>>. Acesso em: 20 dez. 2014.
- GENZ, F. (2006) *Avaliação dos efeitos da Barragem Pedra do Cavalo sobre a circulação estuarina do Rio Paraguaçu e Baía de Igape*. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- GOMES, M.A.F. & BARIZON, R.R.M. (2014) *Panorama da Contaminação Ambiental por Agrotóxicos e Nitrato de origem Agrícola no Brasil: cenário 1992/2011*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2014) *Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais*. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=292890&search=bahialsao-desiderio>>. Acesso em: 12 jan. 2015.
- INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. (2012) *Os satélites LANDSAT 5 e 7*. Divisão de Geração de Imagens. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57_PT.php>. Acesso em: 07 jun. 2014.
- LIMA, C.H.P. (2014) *Avaliação das alterações hidrológicas a jusante de barragens por meio de análise de sensibilidade à variação de variáveis de projeto*. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente, Águas e Saneamento) - Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- LIMA, W.P. (2008) *Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas*. 2ª ed. Piracicaba: ESALQ.
- LOURENÇO, B.V.; CARVALHO, D.L.; NUNES, H.R.A. (2012) Análise das alterações geoambientais causadas pela construção de empreendimentos energéticos - estudo de caso da PCH Sítio Grande - BA. *Revista Geonorte*, Edição Especial, v. 3, n. 4, p. 530-542.
- MARTINS, D.M.F.; CHAGAS, R.M.; MELO NETO, J.DO.; MÉLLO JÚNIOR, A.V. (2011) Impactos da construção da usina hidrelétrica de Sobradinho no regime de vazões no Baixo São Francisco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 9, p. 1054-1061.
- OLDEN, J.D. & POFF, N.L. (2003) Redundancy and the choice of hydrologic indices for characterizing streamflow regimes. *River Research and Applications*, v. 19, n. 2, p. 101-121.
- PIMENTEL, A.L.; AQUINO, R.F.; SILVA, R.C.A.; VIEIRA, C.M.B. (2000) Estimativa da recarga do Aquífero Urucuia na bacia do Rio das Fêmeas - oeste da Bahia, utilizando separação de histogramas. *In: CONGRESSO SOBRE APROVEITAMENTO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS EM PAÍSES DE IDIOMA PORTUGUÊS. Anais...* Rio de Janeiro: SRH: COGESP: GERIN.
- RICHTER, B.D.; BAUMGARTNER, J.V.; WIGINGTON, R.; BRAUN, D.P. (1997) How much water does a river need? *Freshwater Biology*, v. 37, n. 1, p. 231-249.
- ROCHA, P.C. (2010) Indicadores de alteração hidrológica no Alto Rio Paraná; intervenções humanas e implicações na dinâmica do ambiente fluvial. *Sociedade & Natureza*, v. 22, n. 1, p. 191-211.
- RONDON, M.M.; GENS, F.; SILVA, S.F.; KIPERSTOK, A. (2013) Alterações hidrológicas no Alto Rio Paraguaçu devido a Barragem de Apertado. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 20. Bento Gonçalves: ABRH.
- SANTOS, C. (2007) *Estatística descritiva: manual de auto-aprendizagem*. Lisboa: Edições Silabo.
- SPAGNOLO, T.F.O. (2011) *Análise da dinâmica espacial da expansão agrícola no Oeste Baiano entre 1984 e 2008: estudo de caso do Município de São Desidério-BA*. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de Brasília, Brasília.
- SRH - SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DA BAHIA. (2003) *Resumo Executivo do Relatório final do Uso conjunto das águas superficiais e subterrâneas da bacia do Rio das Fêmeas-BA*. Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades em Terra na Bacia do São Francisco. ANA/GEF/PNUMA/OEA, 42p.
- TNC - THE NATURE CONSERVANCY. (2009) *Indicators of Hydrologic Alteration Version 7.1 User's Manual*.
- TUCCI, C.E.M. (2008) Águas urbanas. *Estudos avançados*, v. 22, n. 63, p. 97-112.
- TUCCI, C.E.M. (2009) *Hidrologia ciência e aplicação*. 4ª ed. Porto Alegre: UFRGS. 943p.
- VANZELA, L.S.; HERNANDEZ, F.B.T.; FRANCO, R.A.M. (2010) Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 1, p. 55-64.
- ZHAO, F.; XU, Z.; ZHANG, L. (2012) Changes on streamflow regime following vegetation changes from paired catchments. *Hydrological processes*, v. 26, p. 1561-1573.