

## CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA E AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA REPRESA DE CHAPÉU D'UVAS NAS VAZÕES DO RIO PARAIBUNA

*Ricardo Neves de Souza Lima<sup>1</sup>; Vívian Gemiliano Pinto<sup>2</sup>; Israel de Almeida Nogueira\*<sup>3</sup>, Beatriz Figueiraujo Jabour Vescovi Rosa<sup>4</sup>; Celso Bandeira de Melo Ribeiro<sup>5</sup>*

**Resumo** – As características físicas das bacias hidrográficas influenciam no tempo de concentração, nos padrões de escoamento, condicionando a ocorrência de eventos hidrológicos extremos. Os barramentos geram alterações no regime hidrológico dos rios regularizando vazões. Este trabalho tem por objetivo avaliar as relações entre as características fisiográficas de dois trechos monitorados pela Agência Nacional de Águas – ANA, na sub-bacia do Rio Paraibuna – MG, e os processos hidrológicos atuantes, explicitando a influência da Represa de Chapéu D'úvas no regime de vazões. Foram utilizadas técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto para avaliar as características fisiográficas e de uso do solo, enquanto o regime hidrológico foi avaliado a partir dos registros fluviométricos extraídos da base de dados Hidroweb/ANA. Os resultados demonstraram que apesar das similaridades nos parâmetros fisiográficos nos dois trechos analisados da bacia, o grau de regularização das vazões após a construção da barragem de Chapéu D'Úvas apresentou diferenças, com influência pouco significativa sobre o regime hidrológico na estação à jusante.

**Palavras-Chave:** Barragens, inundações, Sistemas de Informações Geográficas

## PHYSIOGRAPHIC CHARACTERIZATION AND EVALUATION OF THE EFFECTS OF CHAPÉU D'UVAS DAM IN THE PARAIBUNA RIVER FLOWS

**Abstract** – The physical characteristics of watersheds affect the time of concentration, the runoff patterns, and conditioning the occurrence of extreme hydrological events. The dams create changes in the hydrological regime of rivers by regularizing flows. This study aims to evaluate the relationship between physiographic characteristics in two sections monitored by the National Water Agency - ANA, in the Paraibuna - MG sub-basin, and hydrological processes, highlighting the influence of Chapéu D'úvas dam in the flow regime. We used GIS techniques and remote sensing to assess the physiographic characteristics and land use, while the hydrological regime was estimated from streamflow records extracted from the database HIDROWEB / ANA. The results showed that despite the similarities of physiographic parameters in the two analyzed sections of the basin, the level of regularization of the flow after Chapéu D'úvas dam construction showed differences, with less significant influence on the hydrological regime in the downstream station.

**Keywords:** Dams, inundation, Geographic Information Systems.

## INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica é o elemento fundamental de análise na fase terrestre do ciclo hidrológico, que engloba a infiltração e o escoamento superficial, sendo de extrema importância como unidade de planejamento e gerenciamento ambiental.

<sup>1</sup> Universidade Federal de Juiz de Fora, Programa de Pós-Graduação em Ecologia. E-mail: riksou@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais – Campus Juiz de Fora. E-mail: viviangemiliano@gmail.com

\*<sup>3</sup> Universidade Federal de Juiz de Fora, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – ESA/UFJF. E-mail: israel.nogueira@engenharia.ufjf.br

<sup>4</sup> Universidade Federal de Juiz de Fora, Programa de Pós-Graduação em Ecologia. E-mail: beatrizjabour@yahoo.com.br

<sup>5</sup> Universidade Federal de Juiz de Fora, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – ESA/UFJF. E-mail: celso.bandeira@ufjf.edu.br

Os impactos ambientais decorrentes das atividades humanas nas bacias hidrográficas têm reflexos diretos sobre a quantidade e qualidade das águas superficiais e subterrâneas, podendo causar sérios desequilíbrios no balanço hídrico e na dinâmica dos ecossistemas aquáticos.

O conhecimento das características físicas e do funcionamento hidrológico de uma bacia hidrográfica permite a definição de melhores estratégias para o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, com objetivo de racionalizar sua utilização e minimizar os impactos ambientais.

As características fisiográficas ou morfométricas de uma bacia hidrográfica estão associadas às condicionantes geomorfológicas do terreno que influenciam o escoamento superficial e a descarga hídrica nos canais de drenagem. Parâmetros fisiográficos como área, perímetro, forma, altitude e declividade da bacia, além do comprimento e gradiente do canal têm sido amplamente utilizados por hidrólogos e geomorfólogos na análise e previsão do fluxo hídrico nos canais (VICENS & MARQUES, 2006).

A bacia hidrográfica do Rio Paraibuna, afluente da margem esquerda do Rio Paraíba do Sul em seu trecho médio, apresenta importância histórica no desenvolvimento e urbanização da região. As enchentes periódicas provocadas pelo rio Paraibuna constituíram sério problema ao desenvolvimento urbano de Juiz de Fora-MG, ensejando importantes intervenções hidráulicas, dentre elas a construção da barragem de Chapéu D'Uvas, inaugurada em dezembro de 1994.

Neste sentido, este trabalho visa levantar as características fisiográficas de dois trechos da bacia hidrográfica do Rio Paraibuna, que apresentam correlação com a susceptibilidade à ocorrência de enchentes, e o respectivo comportamento hidrológico pré e pós implantação da barragem de Chapéu D'Uvas, através da análise dos registros fluviométricos da base de dados Hidroweb/ANA.

## METODOLOGIA

### Área de Estudo

A área de estudo do presente trabalho consistiu em dois pontos correspondentes às estações fluviométricas da ANA no rio Paraibuna - Estação Chapéu D'Uvas (Nº 58470000) e Estação Juiz de Fora Jusante (Nº 58480500) – assim como suas respectivas áreas de contribuição (Figura 1).

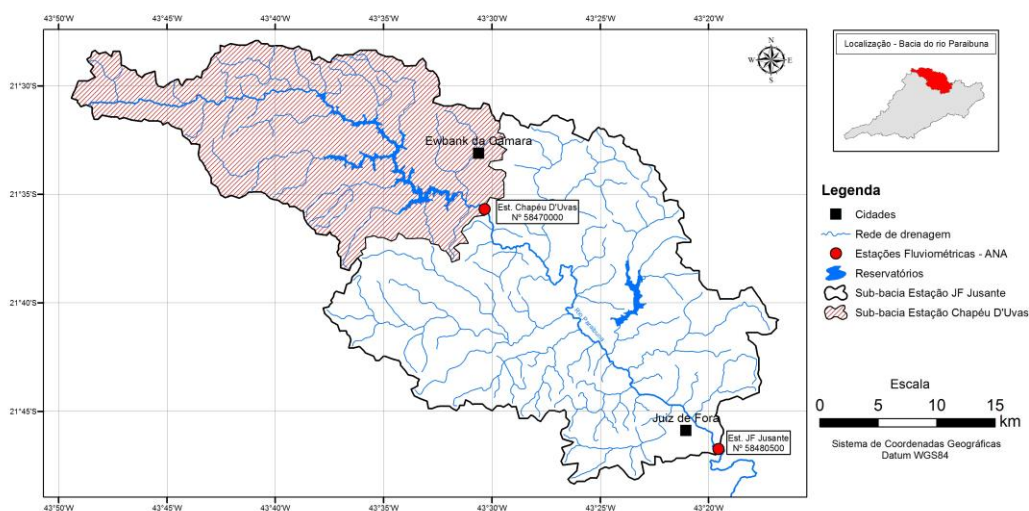


Figura 1 – Localização da área de estudo. Estações fluviométricas e respectivas áreas de contribuição

A estação Chapéu D'Uvas (58470000) localiza-se nas coordenadas Lat. 21° 46' 43.65" S e Long. 43° 19' 32.57" W, a jusante da barragem de Chapéu D'Uvas com área de contribuição de cerca de 362 km<sup>2</sup>. A estação Juiz de Fora Jusante (58480500) localiza-se nas coordenadas Lat. 21° 46' 43.65" S e Long. 43° 19' 32.57" W, a jusante da área urbana do município de Juiz de Fora com área de contribuição de aproximadamente 970 km<sup>2</sup>.

### **Caracterização fisiográfica e de uso do solo na área de contribuição das estações fluviométricas analisadas**

A comparação das características fisiográficas da área de contribuição das respectivas estações visou avaliar a influência dos parâmetros físicos sobre o comportamento hidrológico em cada Sub-bacia (SB), e a classificação dos tipos de uso e cobertura do solo objetivou avaliar o grau de contribuição antrópica potencialmente impactante sobre a dinâmica do escoamento superficial.

A fonte de dados para a caracterização fisiográfica consistiu no Modelo Digital de Elevação proveniente da missão SRTM e dados de cartas topográficas em formato digital em escala aproximada de 1:250.000 disponibilizadas pelo IBGE.

Os parâmetros físicos utilizados para cada sub-bacia foram a área de drenagem, perímetro, altitudes máxima, mínima e média, declividades máxima, mínima e média, além de outros parâmetros, apresentados a seguir.

O Coeficiente de Compacidade (Kc) representa a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. Quanto maior o valor deste coeficiente mais irregular é a forma da bacia, sendo que valores menores, próximos da unidade, correspondem a bacias circulares enquanto valores acima de 1,47 indicam bacias com forma alongada (VALLE JÚNIOR, 2008). De acordo com Villela & Mattos (1975), esse coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia, independentemente de seu tamanho. Foi calculado pela expressão:

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Sendo Kc = Coeficiente de Compacidade (Adimensional); P = Perímetro (m) e A = Área de drenagem (m<sup>2</sup>).

O Fator de Forma (F) representa a relação entre a forma da bacia e a de um retângulo, correspondendo à razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (da foz ao ponto mais longínquo do espigão). O fator de forma indica maior ou menor tendência a enchentes, pois em uma bacia com fator de forma baixo há uma possibilidade menor de uma chuva intensa cobrir toda a sua extensão do que em uma bacia com mesma área e fator de forma maior (VILELLA & MATTOS, 1975). Foi calculada pela expressão:

$$F = \frac{A}{L^2}$$

Sendo F = Fator de Forma (Adimensional); A = Área de Drenagem (m<sup>2</sup>) e; L = Comprimento do eixo da bacia (m).

O Índice de Circularidade (IC) é um parâmetro também relacionado com a forma da bacia, indicando a tendência a processos de inundação. De acordo com Alves & Castro (2003) bacias com valores de IC maiores do que 0,51 indicam uma tendência a formas circulares, onde a probabilidade de enchentes é maior, enquanto valores inferiores a 0,51 indicam a tendência de formas alongadas que favorecem o escoamento. Foi calculado pela expressão:

$$IC = \frac{12,57 * A}{p^2}$$

Sendo IC = Índice de Circularidade (Adimensional); A = Área de drenagem (m<sup>2</sup>) e; p = Perímetro (m)

A Densidade de Drenagem (Dd) desenvolvida por Horton (1945) é dada pela relação entre o somatório dos comprimentos de todos os canais da rede e a área total da bacia, e seu estudo indica a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica, representando o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem, ou seja, fornece uma indicação da eficiência da drenagem da bacia (VALLE JÚNIOR, 2008). Foi calculada através da seguinte expressão:

$$Dd = \frac{Lt}{A}$$

Sendo Lt o comprimento total dos canais de drenagem (km) e A, a área de drenagem (km).

Para a classificação do uso do solo foram utilizadas imagens do satélite Landsat TM5 cena 217/75 de 26/08/2010 disponibilizadas em formato digital pelo INPE.

### **Informações hidrológicas utilizadas – HIDROWEB – ANA**

Os dados escolhidos para a avaliação hidrológica no trecho em estudo compreenderam os dados consistidos de vazão diária (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>) para cada estação, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas – ANA através do Sistema de Informações Hidrológicas HIDROWEB, abrangendo o período de setembro de 1949 a dezembro de 2005 na estação Chapéu D’Uvas. Já para a estação Juiz de Fora Jusante os dados de vazão abrangeram o período de setembro de 1975 a dezembro de 2005.

### **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Com relação às características fisiográficas (Tabela 1), a densidade de drenagem apresenta baixos valores para as duas estações conforme Villela e Mattos (1975), que afirmam que esta pode variar de 0,5 km/km<sup>2</sup> em bacias com drenagem pobre a 3,5 km/km<sup>2</sup>, ou mais, em bacias bem drenadas. No entanto este parâmetro é diretamente dependente da escala de análise, e como a escala utilizada (1: 250.000) é considerada de pouco detalhe, esse parâmetro foi utilizado apenas para comparação entre as sub-bacias. Dessa forma pode-se observar que a SB da estação Juiz de Fora Jusante possui uma maior proporção de cursos d’água por Km<sup>2</sup>.

Pode-se afirmar, segundo Cardoso *et al.* (2006), que ambas as sub-bacias apresentam baixa susceptibilidade a enchentes, devido ao Coeficiente de compacidade (Kc) afastar-se da unidade e ao fator de forma (F) apresentar baixos valores. Essa afirmação é confirmada pelo Índice de circularidade (IC), que apresenta valores menores que 0,51, que significa uma forma alongada (Schumm, 1956), tendendo a apresentar menores diferenças entre os picos de vazão máxima e mínima em relação a bacias com formato mais circular.

O relevo da maior parte da área de estudo pode ser enquadrado como Fortemente Ondulado (Declividade > 20%) de acordo com a classificação da EMBRAPA (1999), o que favorece o aumento da velocidade de escoamento superficial.

Tabela 1 – Características fisiográficas das Sub-bacias de contribuição das estações fluviométricas

Características Físicas	Resultados	
	Estação Chapéu D'Uvas	Estação Juiz de Fora Jusante
Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	361,92	969,69
Perímetro (km)	118,01	208,11
Coefficiente de compacidade (Kc)	1,74	1,87
Fator de forma (F)	0,32	0,27
Índice de circularidade (IC)	0,33	0,28
Densidade de drenagem (km/km <sup>2</sup> )	0,51	0,63
Altitude máxima (m)	1258,63	1258,63
Altitude mínima (m)	703,00	675,00
Altitude média (m)	859,60	812,25
Declividade máxima (%)	117,57	155,18
Declividade mínima (%)	0,00	0,00
Declividade média (%)	26,07	23,57
Ordem da sub-bacia (Strahler)	4	5

O maior grau de impermeabilização na SB da Estação Juiz de Fora, conforme observado no mapa de Uso e Cobertura do Solo (Figura 2), também favorece o aumento do pico de vazões, e conseqüentemente o potencial a ocorrência de enchentes. Neste sentido pode-se observar, nos hidrogramas da figura 3, que apesar da regularização da vazão na estação Chapéu D'Uvas a partir de 1995 devido à construção da barragem, as vazões na estação Juiz de Fora continuaram a apresentar picos máximos significativos, apesar de menos frequentes.

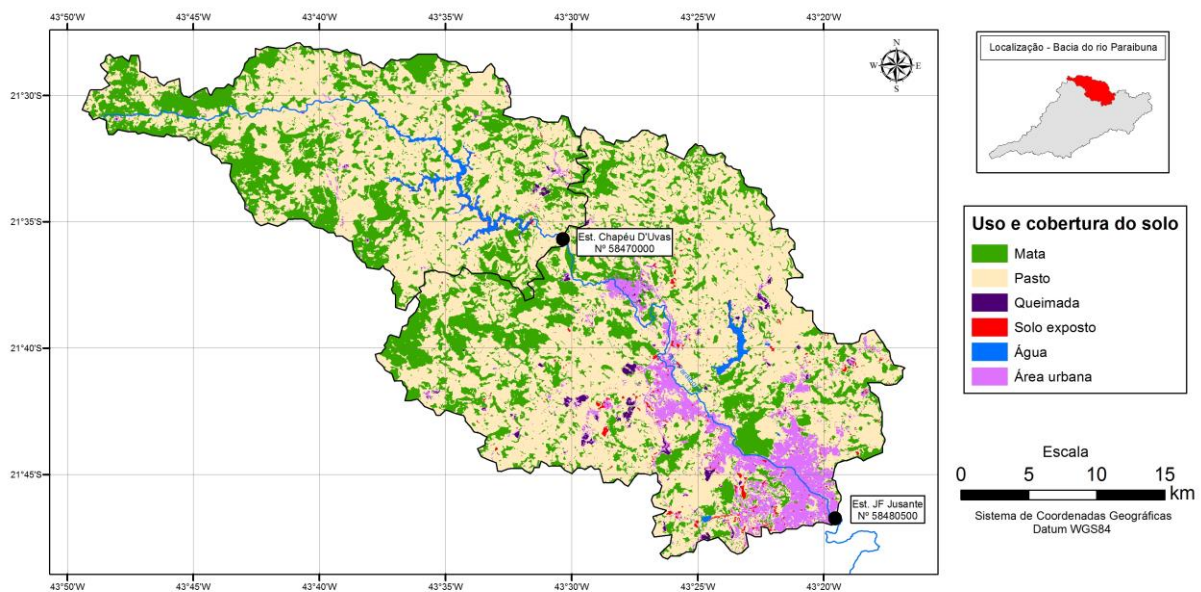


Figura 2 - Mapa de uso e cobertura do solo das áreas de estudo

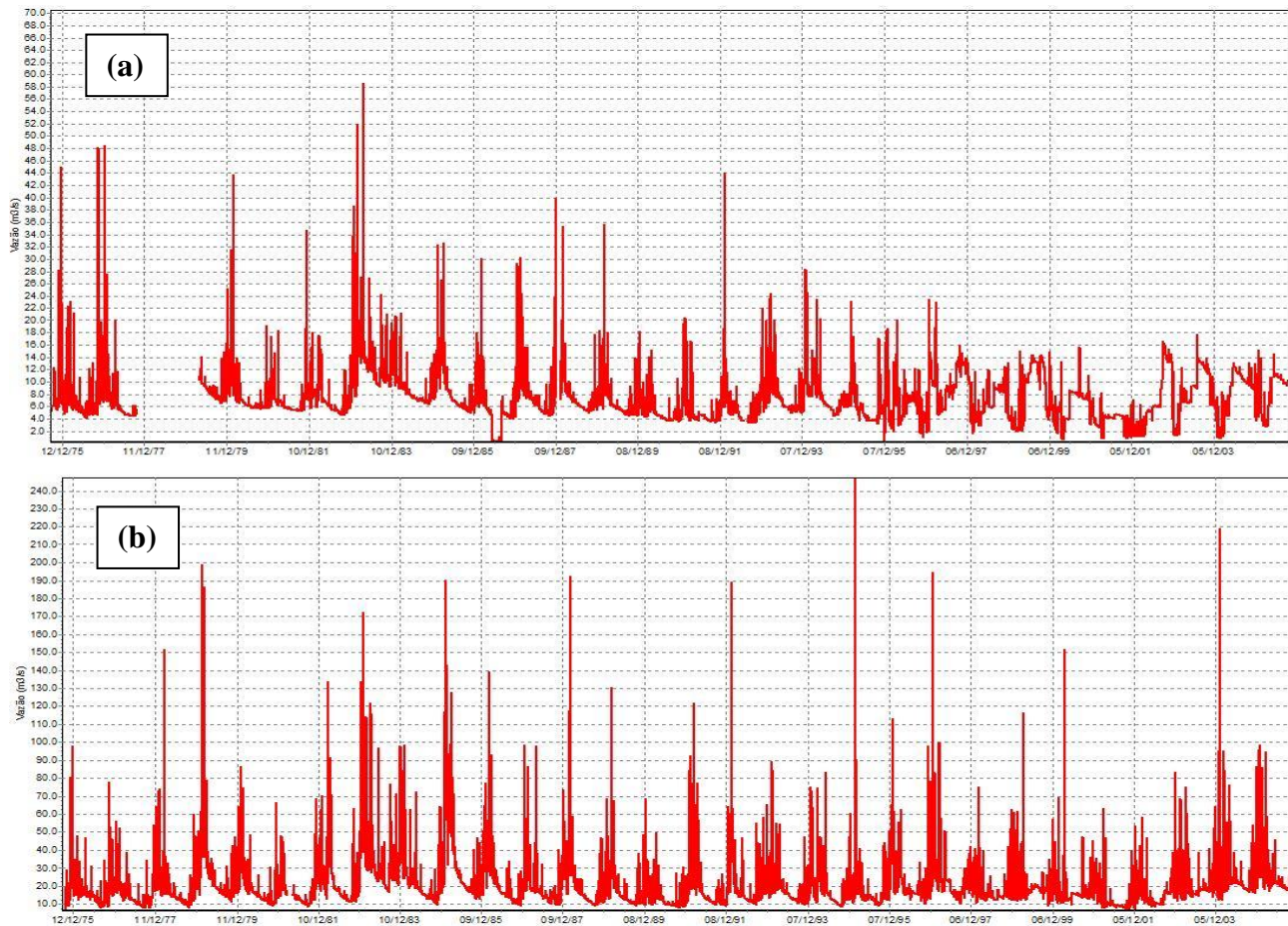


Figura 3 – Hidrograma diário de vazões no período 1975-2005. (a) Estação Chapéu D'Uvas (b) Estação Juiz de Fora Jusante

A média das vazões máximas mensais da estação Chapéu D'Uvas reduziu em 32,45% após a implantação da barragem, enquanto a média das vazões mínimas mensais foi aumentada em 91,09% (Figura 4), devido à abertura das comportas da represa na época seca do ano, para garantir maior volume de água para os usuários à jusante, e permitindo maior diluição do esgoto gerado pela cidade de Juiz de Fora.

Apesar da barragem de Chapéu d'Uvas ter amortecido as vazões a montante de Juiz de Fora, o crescente aumento das áreas impermeabilizadas, incrementando o escoamento superficial, fez com que a jusante, grandes picos de vazão continuassem a ocorrer. Além da construção da barragem, foram executadas obras de retificação do rio na região central da cidade, o que promoveu uma redução significativa nos problemas de enchentes na área urbana, contudo, alguns bairros, principalmente na zona norte, ainda convivem com este problema.

Além dos impactos quantitativos, as intervenções antrópicas que conduziram às modificações no regime hidrológico natural, resultaram em prejuízos para a fauna aquática, com redução do número de espécies, tanto na área alagada da represa, quanto à jusante desta (OLIVEIRA E LACERDA, 2004). Oliveira e Lacerda (2004), afirmam ainda, que o menor número de espécies em um trecho estudado à jusante da barragem de Chapéu D'Uvas deve-se a diversos fatores, entre eles: à estabilidade da vazão (manipulada); à mudança na qualidade da água; à relativa homogeneidade do ambiente, pois, não há fundo pedregoso nem corredeiras; e à falta de abrigo e alimento, devido à

dragagem do leito e retificação do canal, dificultando a desova e aumentando o número de predadores.

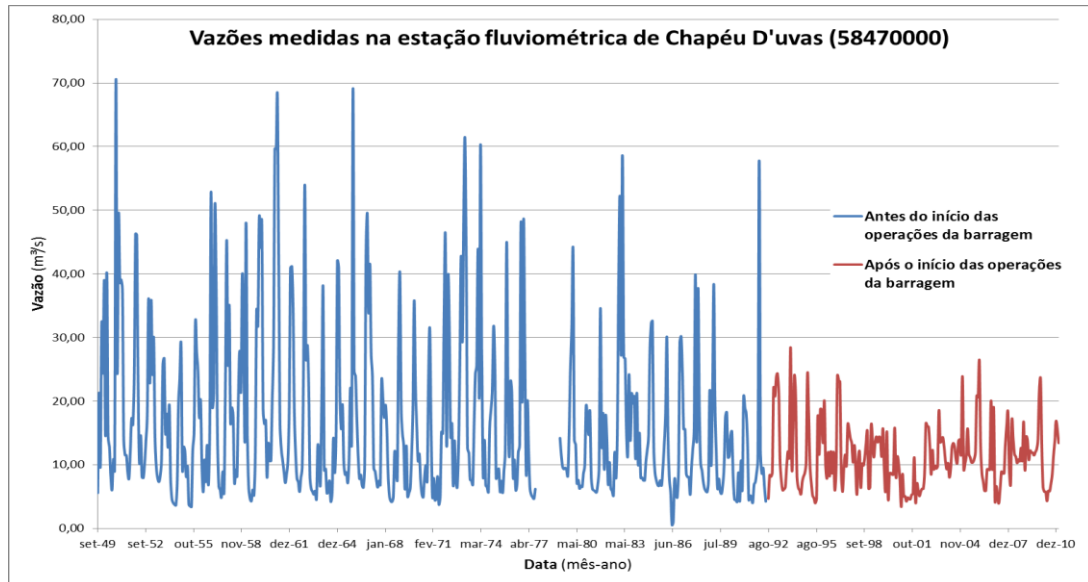


Figura 4 - Vazões medidas na estação fluviométrica de Chapéu D'Uvas antes (azul) e depois (vermelho) do início das operações da represa

## CONCLUSÃO

Apesar das características fisiográficas nos dois trechos analisados da sub-bacia apresentarem semelhanças, foi possível observar que após o início das operações da barragem de Chapéu D'Uvas, a Estação 58470000 apresentou regularização das vazões como esperado. Entretanto, na estação 58480500 as vazões mínimas sofreram um aumento discreto enquanto as vazões máximas sofreram leve amortização, com menor frequência de vazões acima de  $100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

A construção da barragem, inaugurada em dezembro de 1994, atenuou a amplitude entre as vazões máximas e mínimas, permitindo a regularização do rio Paraibuna. Além disto, certas alterações no seu curso, como as obras de retificação na região central de Juiz de Fora contribuíram para a minimização do problema de enchentes na cidade.

Contudo, outras características hidrológicas foram alteradas pela impermeabilização do solo nas áreas urbanas, gerando aumento do escoamento superficial e fazendo com que na estação a jusante de Juiz de Fora os picos de vazão ainda sejam bastante notados.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade Federal de Juiz de Fora – Propesq/UFJF pelo apoio com o financiamento de bolsa de Iniciação Científica.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, J.M.P.; CASTRO, P.T.A. (2003). Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 33, n. 2, p. 117-127.
- CARDOSO, C.A.; DIAS, H.C.T.; SOARES, C.P.B.; MARTINS, S.V. (2006). Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v. 30, n. 2, p. 241-248.
- COELHO, A. L. N. (2007). *Alterações hidrogeomorfológicas no Médio-Baixo Rio Doce/ES*. Tese de Doutorado (Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal Fluminense) UFF, Niterói – Rio de Janeiro. 237 p.
- CUNHA, S. B. (1995). *Impactos das Obras de Engenharia Sobre o Ambiente Biofísico da Bacia do Rio São João (Rio de Janeiro – Brasil)*. Rio de Janeiro: Ed: Instituto de Geociências, UFRJ. 378 p.
- EMBRAPA. (1999). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília: EMBRAPA Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos. 412p.
- HORTON, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: a hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geol Soe. Am. Bull.*, v.56, n.3, p.275-370.
- JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B.; SPARKS, R.E. (1989). The flood pulse concept in river-floodplain systems. In: Proc. Intern. Large River Symp. (LARS). D.P. Dodge. *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences*. 106: 110-127.
- MIRANDA, L.E. (2001). A review of guidance and criteria for managing reservoirs and associated riverine environments to benefit fish and fisheries. In: G. Marmulla, editor. *Dams, fish and fisheries: opportunities, challenges and conflict resolution*. Rome, Italy: FAO *Fisheries Technical Paper*. p. 93-141.
- OLIVEIRA, J. C.; LACERDA, A. K. G. (2004). Alterações na composição e distribuição longitudinal da ictiofauna na área de influência do reservatório de Chapéu d’Uvas, bacia do rio Paraíba do Sul (MG), pouco depois da sua implantação. *Revista Brasileira de Zoociências* V. 6 Nº1 p. 45-60.
- SCHUMM, S. A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. *Geological Society of America Bulletin*. V.67 P.597-646.
- VALLE JUNIOR, R. F. (2008). *Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba*. 222f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.
- VICENS, R. S.; MARQUES, J. S. (2006). Características morfométricas e suas relações com a hidrologia de bacias hidrográficas de tabuleiros costeiros no norte do Espírito Santo, Brasil. IN: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 6. 2006. Goiânia. *Anais...* Goiânia: UFGO, 14p.
- VILLELA, S.M.; MATTOS, A. (1975). *Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil. 245p.