

## Uso de geoprocessamento para análise da influência da urbanização no escoamento superficial da bacia hidrográfica do Rio das Pedras, Salvador-BA

Leonardo Passos Moreira<sup>1</sup>  
Anderson Gomes de Oliveira<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Salvador – UNIFACS  
CEP 41770-235 – Salvador – BA, Brasil  
leonardopassos\_moreira@hotmail.com, anderson.gomes@pro.unifacs.br

**Abstract.** The process of urbanization without proper planning brings with it disturbances from the physical and hydrological point of view of the river basins. The changes in land use, especially with the increase of the impermeable area due to the disordered urbanization process, is a factor that directly interferes with the infiltration and surface runoff of the hydrographic basins. The present article aimed to use geoprocessing techniques to analyze the influence of urbanization on the surface runoff of the Rio das Pedras river basin. For this, aerial images of two different periods with a space of 34 years were compared and the use and occupation of the soil in the two periods was evaluated through ArcGis 10.2.2 software. Also with this tool, all the physical characteristics of the basin were extracted, as well as, its entire drainage network, to acquire the necessary parameters for the calculation of the runoff surface of the study basin. The results of the analyzes of the evolution of urbanization in the periods of 1976 and 2010, as well as the calculations of the surface runoff, show that the reduction of vegetation and the consequent increase of urbanization reduce the capacity of infiltration of the basin, increasing the surface runoff causing Negative impacts on the urban drainage of the Rio das Pedras river basin.

Palavras- chave: modeling, hidrology, surface runoff, modelagem, hidrologia, escoamento superficial

### 1. Introdução

Muitas capitais brasileiras sofrem com os problemas decorrentes da urbanização acelerada e sem o devido planejamento, como destaca Filho et.al (2009) o crescimento populacional das grandes cidades brasileiras e o consequente aumento da área impermeabilizada nas bacias hidrográficas, a poluição dos corpos d'água e as deficiências no planejamento da drenagem urbana formam um quadro dos principais problemas que afligem, há algum tempo, os municípios brasileiros.

Segundo Tucci, 2007; Heller & Pádua, 2006; Setti et al., 2001, as mudanças nos padrões de uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica, como, por exemplo, a retirada de cobertura vegetal e o crescimento urbano, podem acarretar uma série de consequências no ciclo hidrológico da bacia (apud Menezes, 2010).

Dos principais componentes do ciclo hidrológico, o escoamento superficial é o que mais sofre com a interferência da urbanização em uma bacia hidrográfica. Segundo Menezes (2010) a cobertura vegetal ajuda a proteger o solo facilitando a infiltração de água. Sem essa proteção o solo fica mais suscetível à compactação e ao selamento superficial, diminuindo a taxa de infiltração e, conseqüentemente, aumentando o escoamento superficial.

Para auxiliar nas análises dos avanços do crescimento urbano desordenado sobre uma bacia hidrográfica, as ferramentas de geoprocessamento dão um suporte e uma maior eficiência há esses estudos, por exemplo, nas análises de uso e ocupação do solo de uma bacia, o uso de softwares se tornou indispensável para uma maior rapidez e precisão nas análises. De acordo com Salles (2010) a facilidade em atualização de dados preexistentes em sistemas de informações geográficas possibilita que as informações sejam reavaliadas com mais agilidade que os métodos convencionais permitindo aos usuários uma tomada de decisão em tempo hábil.

Diante da magnitude da influência da urbanização nos aspectos hidrológicos das bacias hidrográficas, o presente artigo tem como objetivo avaliar a influência da urbanização no escoamento superficial da bacia hidrográfica do Rio das Pedras, situada no município de Salvador. Através do uso de ferramentas computacionais comparou-se o uso e ocupação do solo dessa bacia, em dois espaços temporais distintos, buscando estabelecer os parâmetros necessários para o cálculo do escoamento superficial nos dois períodos.

### 1.1. Caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio das Pedras inclui a sub-bacia do Rio Pituaçu e está situada no município de Salvador. Abrange uma área de 27,05 km<sup>2</sup> aproximadamente, correspondendo a cerca de 8,76% do território municipal, sendo considerada a quarta maior bacia hidrográfica do município. Em relação aos limites territoriais da bacia está encontra-se limitada ao Norte pela bacia do Rio Passa Vaca, a Leste pela Bacia de Drenagem de Armação/Corsário, a Oeste pela Bacia do Cobre e ao Sul pela Bacia do Camaragibe. Com uma população aproximada de 275.781 habitantes e densidade populacional de 10.194,31 hab/km<sup>2</sup> é a terceira Bacia mais populosa do município.(IBGE, 2000 apud Santos et al., 2010).

Para efeito de uma análise mais precisa e dinâmica da influência da urbanização na região, o presente trabalho tem como área de estudo apenas a bacia hidrográfica do Rio das Pedras, sem a inclusão da sub-bacia do Rio Pituaçu nas análises. A figura 1 mostra a área de estudo em destaque.



Figura 1. Localização da bacia hidrográfica de estudo em destaque (vermelho) (Fonte: adaptado do <sup>1</sup>Site Gestão social (2009)<sup>1</sup>

## 2. Metodologia de trabalho

Para a realização do presente trabalho foram obtidas imagens em diferentes espaços temporais, sendo a mais antiga referente ao ano de 1976 na escala 1:8.000, e ortofotos do ano de 2010, na escala 1:10.000, folhas: MI\_1959-333.000; MI\_1959-334.000; MI\_1959-335.000; e MI\_1959-336.000, todas vinculadas ao Sistema de Referência WGS84, Projeção Universal Transversa de Mercator, Fuso 24S, e cedidas pela CONDER (Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia).

Para aquisição de alguns parâmetros morfométricos da bacia (área, comprimento do rio principal, declividade) necessários para os cálculos do tempo de concentração e dos parâmetros utilizados para o cálculo do escoamento superficial, utilizou-se o *software* ArcGis 10.2.2. Através dessa ferramenta computacional foram realizadas também as análises de Uso

<sup>1</sup> Disponível em: <http://www.gestaosocial.org.br/conteudo/servicos/mapoteca-ciags/BACIAS.jpg/view>

e Ocupação do Solo da bacia comparando-se os dois períodos de tempo, além da extração de toda a rede de drenagem da bacia de estudo.

O tempo de concentração foi calculado a partir da obtenção do comprimento do rio principal e da diferença de nível entre o ponto mais afastado e o exutório da bacia hidrográfica do Rio das pedras. Para isso foi utilizada a equação 1 proposta por Kirpich (1940, apud Targa et al., 2012), na qual estabelece uma relação entre esses parâmetros.

$$T_c = 57 \cdot \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad [1]$$

Onde:

T<sub>c</sub> = Tem de concentração (min)

H = Diferença de cotas (m)

L = Comprimento do rio principal (km)

A chuva de projeto ou a precipitação máxima em um dado período de retorno, foi obtida através da equação de chuva de Salvador (equação 2), tipo IDF, intensidade, duração e frequência, equação cuja pode ser encontrada em Festi (2007), que traz uma coletânea de algumas equações de chuva de cidades brasileiras. Para avaliar os efeitos que as precipitações máximas geram no escoamento superficial da bacia de estudo, foram definidos tempos de retornos de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos. Para se calcular o escoamento máximo no exutório da bacia, adotou-se no presente artigo o tempo de duração da precipitação máxima igual ao tempo de concentração da bacia.

$$I_{max} = \frac{1065,66 \cdot Tr^{0,16a}}{(t + 24)^{0,74a}} \quad (\text{mm/h}) \quad [2]$$

Onde:

I = Intensidade de precipitação máxima (mm/h)

Tr = Tempo de retorno, em anos

t = Duração da chuva em minutos

O escoamento superficial da bacia foi calculado através do método da Curva Número (CN) desenvolvido pelo Serviço de Conservação de Recursos Naturais (NRCS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA). De acordo com Menezes (2010) esse modelo permite estimar o número da curva de escoamento superficial (CN) e com este a parcela da precipitação que resultará em escoamento superficial, a partir de algumas informações do tipo, uso e umidade antecedente do solo. As equações 3 e 4, foram utilizadas para os cálculos da parcela de precipitação que causa o escoamento superficial, denominada de precipitação efetiva.

$$Pe = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad [3]$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad [4]$$

Onde:

Pe = precipitação efetiva, ou seja, a precipitação que gera escoamento superficial (mm)

P = precipitação máxima em dado período de retono (mm)

S = Infiltração potencial (mm)

CN = Número da curva, adimensional.

Considerando a diversidade do uso e ocupação do solo na bacia de estudo e a delimitação desses usos em classes, foi necessário o cálculo do (CN) ponderado, visto que, cada classe de uso apresenta seu valor específico do (CN), que foram estabelecidos de acordo com Tucci (2012, pg. 406) onde o autor especifica valores diferentes para os tipos de uso do solo em bacias urbanas. A equação 5, foi utilizada para o cálculo do coeficiente ponderado.

Para definição do tipo de solo (A, B, C ou D), de acordo com a caracterização do solo da bacia, adotou-se a classificação desse mesmo autor, que define o tipo do solo a partir da sua textura e profundidade.

$$CNp = \frac{\sum[(CNc (Ac))]}{At} \quad [5]$$

Onde:

CNp = Valor do Número da curva ponderado, adimensional

CNc = Valor do Número da curva de cada classe, adimensional

Ac = Área de cada classe, Km<sup>2</sup>

At = Área total da bacia, Km<sup>2</sup>

O coeficiente de *runoff*, ou coeficiente de escoamento é definido como a razão entre o volume de água escoado e o volume de água precipitado. E foi calculado através da equação 6.

$$c = \frac{Pe}{P} \quad [6]$$

Em que:

C = Coeficiente de escoamento, adimensional

Pe = precipitação efetiva, ou seja, a precipitação que gera escoamento superficial (mm)

P = precipitação máxima em dado período de retono (mm)

### 3. Resultados e discussões

A extração da rede de drenagem da bacia hidrográfica do Rio das Pedras foi obtida através da ferramenta *Hidrology* que são algoritmos do *Spatial Analyst* para análise hidrológica no ArcGis 10.2.2. A partir da extração da rede de drenagem da bacia verificou-se que o rio principal da bacia é de ordem 4 de acordo com o método de Strahler, o comprimento do rio principal é de 5,13 Km e a diferença de nível entre o ponto mais afastado e o exutório da bacia é de 45 m.

O tempo de concentração da bacia, que é definido de acordo com Targa et al. (2012) como sendo o tempo necessário para que a água que caiu no ponto mais distante chegue até o exutório da bacia, e, calculado de acordo com os valores do comprimento do rio principal (L) e a diferença entre o ponto mais afastado da bacia e o seu exutório (H), chega-se a um valor de 87 minutos.

Através das análises do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Rio das Pedras (figura 2), comparando-se o ano de 1976 e o de 2010, é possível observar o avanço do processo de urbanização na bacia, que no ano de 1976 representa 12,69 % da área total da bacia o que corresponde a 1 Km<sup>2</sup>, enquanto que em 2010, a urbanização chega a 65,16%, cerca de 5,12 Km<sup>2</sup> da área total.

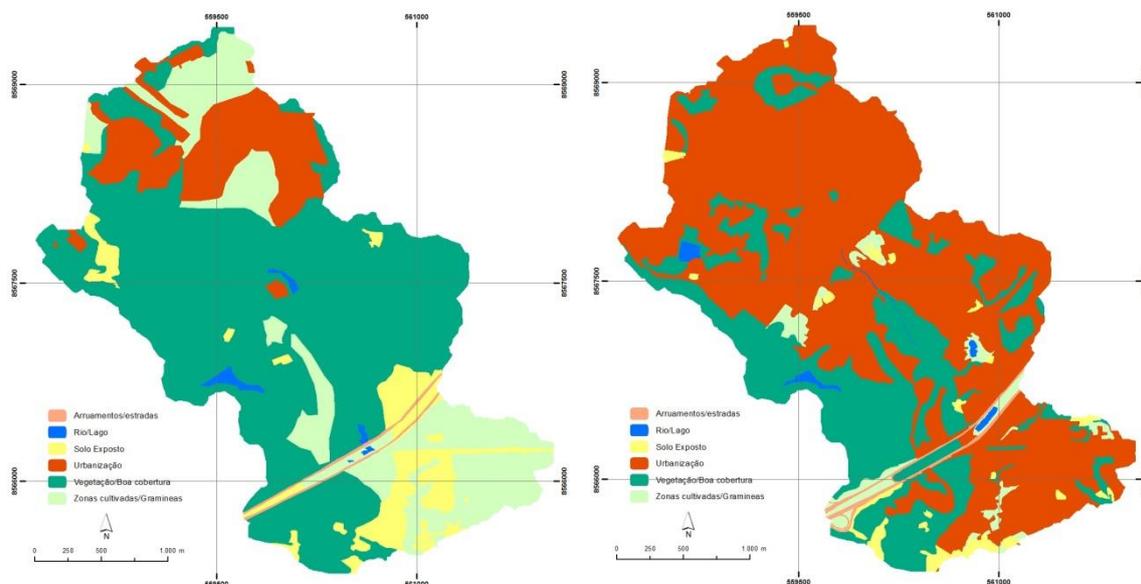


Figura 2. Uso e Ocupação do solo da bacia nos anos de 1976 e 2010

Em relação à vegetação de boa cobertura, houve uma redução de 58,52% para 27,67%. Apesar da redução significativa, observa-se que em 2010 a bacia ainda apresenta uma área considerável de vegetação de boa cobertura, fator favorável à redução do escoamento superficial na bacia. O quadro 1 apresenta as classes de uso e ocupação do solo observadas nos dois períodos, bem como, suas respectivas áreas e valores percentuais.

Quadro 1. Classes e áreas do Uso e Ocupação do solo

Classe	1976		2010	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Urbanização	1,00	12,69	5,12	65,16
Vegetação – Boa cobertura	4,60	58,52	2,17	27,67
Zonas cultivadas/Gramíneas	1,51	19,20	0,24	3,05
Arruamentos/Estradas	0,06	0,77	0,08	1,06
Rio/Lago	0,05	0,65	0,06	0,74
Solo Exposto	0,64	8,17	0,18	2,32

O tipo do solo adotado no presente estudo foi o tipo C, por a bacia apresentar segundo a EMBRAPA (1977), um solo do tipo Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico com textura argilosa e muito argilosa. Os solos tipo C foram definidos por apresentarem características de solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo.

O valor da curva de número ponderado (CNp) calculadas para os anos de 1976 e 2010 foram de 74 e 83, respectivamente. Essa diferença se dá pelo avanço do processo de urbanização e o consequente aumento da impermeabilização do solo da bacia de estudo. Outro parâmetro que evidencia essa influência da urbanização é a infiltração potencial da bacia (S), que para o ano de 1976, a infiltração potencial era de 89,24 mm e no ano de 2010 houve uma redução para 52,29 mm. O gráfico 1 apresenta um comparativo entre a infiltração potencial nos dois períodos de tempo.

### Infiltração Potencial

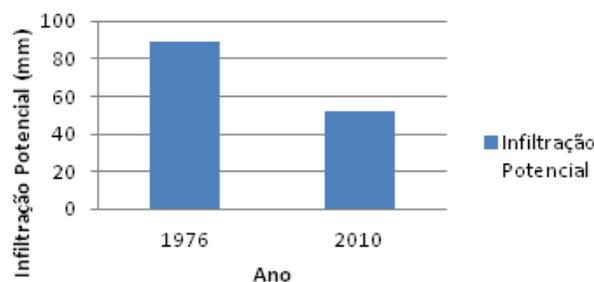


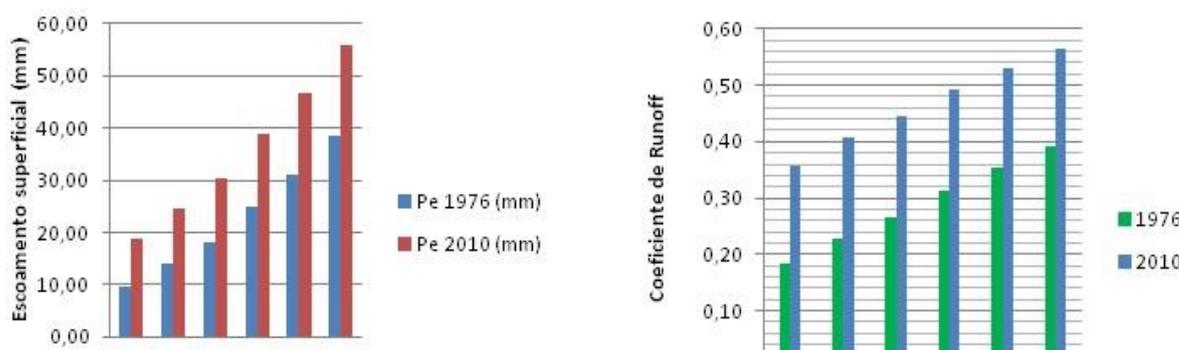
Gráfico 1. Variação da Infiltração Potencial (S)

Ao observar os índices de escoamento superficial da bacia hidrográfica do Rio das Pedras, percebe-se um significativo aumento do escoamento no ano de 2010 em todos os tempos de retorno. Para as precipitações com maior probabilidade de ocorrência, ou seja, com menor tempo de retorno (2 anos), houve um aumento do escoamento superficial de 95%, passando de 9,59 mm para 18,68 mm, no período de 1976 para 2010. Os tempos de retorno que são utilizados para o dimensionamento de obras de macrodrenagem, variam de 50 a 100 anos. Nesses tempos de retorno o escoamento superficial teve um aumento de 50% e 45%, respectivamente, de 1976 para 2010. O quadro 3 apresenta os valores encontrados para o escoamento superficial e o coeficiente de escoamento para os dois períodos (1976 e 2010).

Quadro 3. Aumento do escoamento superficial e do coeficiente de escoamento para diferentes tempos de retorno.

Tr (anos)	P (mm)	Pe 1976 (mm)	Pe 2010 (mm)	C 1976	C 2010
2	52,29	9,59	18,68	0,18	0,36
5	60,71	13,91	24,73	0,23	0,41
10	67,98	18,03	30,25	0,27	0,44
25	78,92	24,81	38,95	0,31	0,49
50	88,36	31,12	46,76	0,35	0,53
100	98,93	38,60	55,76	0,39	0,56

Os gráficos 2 e 3 representam o aumento do escoamento superficial e do coeficiente de *Runoff*, devido à influência do desordenado processo de urbanização da bacia do Rio das Pedras que vem sofrendo com constantes alagamentos em períodos chuvosos.



Gráficos 2 e 3. Comparativo do escoamento superficial e do coeficiente de runoff entre os anos de 1976 e 2010

Nota-se que ha uma significativa variação no coeficiente de escoamento da bacia do Rio das Pedras no período entre 1976 e 2010. Essa variação do coeficiente é de cerca de 0,17 a 0,18 de um período para o outro e reflete a influência do aumento do adensamento populacional na bacia.

. A bacia do Rio das Pedras apresenta características do desordenado processo de urbanização que sofreu principalmente a ocupação de áreas ribeirinhas que é bastante comum na região, bem como, a canalização e o encapsulamento de boa parte do rio principal (Figuras 3 e 4), o que acentua a magnitude dos problemas de drenagem da bacia.



Figuras 3 e 4. Ocupação ribeirinha em um trecho do Rio da Pedras, situado no bairro do Imbuí, próximo ao exutório da bacia (Fonte: Pesquisa de campo, novembro/2016)

A ocupação da bacia tende a ocorrer no sentido de jusante a montante e quando esse processo de ocupação não é feito de forma ordenada, no sentido da drenagem urbana, a população localizada a jusante, sofre as piores consequências em relação às enchentes, em função da ocupação a montante. No caso da bacia do Rio das Pedras, o bairro do Imbuí (situado à jusante da bacia), sofre periódicos eventos de enchentes nos períodos chuvosos da capital, fato este, agravado pelo encapsulamento de parte do rio principal da bacia que corta o bairro.

#### 4. Conclusões

O intenso avanço do processo de urbanização da bacia hidrográfica do Rio das Pedras ficou comprovado, visto que, a área urbanizada no ano de 1976 correspondia a 1Km<sup>2</sup>, cerca de 13% da área da bacia, e, após 34 anos (2010) chega-se ao valor de 5,12 Km<sup>2</sup>, o que corresponde a 65% aproximadamente, da área total. Fato este, que reflete diretamente na infiltração potencial (S) da bacia havendo uma redução de 36,95 mm entre o ano de 1976 e 2010. Todavia, fica evidenciado que apesar do intenso processo de urbanização sofrido, a bacia apresenta uma área razoável de vegetação de boa cobertura, o que contribui positivamente para a redução do escoamento superficial desta unidade territorial.

Constatou-se que de fato o processo de urbanização, principalmente quando se é feito de forma desordenada, traz significativos impactos aos componentes hidrológicos da bacia, principalmente o escoamento superficial, em que, apresentou uma maior diferença para as chuvas de maior probabilidade de ocorrência (Tr = 2 anos), onde houve um aumento de 95% do escoamento quando se comparado os dois períodos, em 1976 o escoamento superficial era de 9,59 mm e passou para 18,68 mm no ano de 2010.

Deve-se salientar que a principal característica do desordenamento do processo de urbanização na bacia do Rio das Pedras que gera um aumento no escoamento superficial e a ocorrência de enchentes a jusante da bacia nos períodos chuvosos é a elevada quantidade de

ocupações ribeirinhas por toda a bacia, além da canalização e o encapsulamento de boa parte do rio principal.

Como forma de minimizar os prejuízos causados pelo desordenado processo de urbanização, se faz necessário estabelecer uma rigorosa fiscalização impedindo que se ocorra novas ocupações irregulares (ribeirinhas), além de, criar e executar programas que busquem a realocação das famílias que vivem nessas áreas impróprias, visando restabelecer o máximo possível às condições naturais da bacia. Com relação aos impactos na drenagem urbana a jusante da bacia, deve-se reavaliar o atual sistema de drenagem urbana existente e através da drenagem sustentável promover melhorias nesse sistema, já que essa região da bacia encontra-se intensamente urbanizada.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem a Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia (Conder) pela disponibilização das imagens.

### **Referências bibliográficas**

EMBRAPA, Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. **Levantamento exploratório – Reconhecimento de solos da margem direita do Rio São Francisco Estado da Bahia.** Volume 1, Recife 1977.

FESTI, Aparecido Vanderlei. **Coletânea das Equações de Chuvas do Brasil.** XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos -São Paulo -, 18 p.2007

FRAGA et al. **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Catolé Grande, Bahia, Brasil.** Nativa, Sinop, v.02, n. 04, p. 214-218, out/dez. 2014 Pesquisas Agrárias e Ambientais.

FILHO et.al. **Análise temporal do crescimento urbano em bacias hidrográficas e seus reflexos na macrodrenagem com suporte das geotecnologias.** Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 901-907.

MENEZES, Paulo Henrique Bretanha Junker. **Avaliação do efeito das ações antrópicas no processo de escoamento superficial e assoreamento da bacia do Lago Paranoá.** 2010. Dissertação – Universidade de Brasília – Instituto de Geociências.

NAVARRO, Everton Chequeto. **INFLUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO NA VAZÃO MÁXIMA DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DA CACHOEIRINHA, LENÇÓIS PAULISTA, SP.** 2013. Dissertação - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” Faculdade de Ciências Agrônomicas

SALLES, Moacir Mello. **O uso do SIG na análise morfométrica da bacia Hidrográfica do rio São João – MG.** 2010. Monografia (Especialização) – Instituto de Geociências, departamento de cartografia. Universidade Federal de Minas Gerais.

SILVA, Rafael Cerqueira. **Análises morfométricas e hidrológicas das bacias hidrográficas do córrego Teixeira, Ribeirão das Rosas e Ribeirão Yung, afluentes do rio Paraibuna, município de Juiz de Fora/mg.** 2011. Monografia – Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora.

SANTOS, Elisabete; PINHO, José Antonio Gomes de; MORAES, Luiz Roberto Santos; FISCHER, Tânia (org). (2010). O Caminho das Águas em Salvador: Bacias Hidrográficas, Bairros e Fontes.

TARGA, et.al. **Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil.** Ambi-Agua, Taubaté, v. 7, n. 2, p. 120-142, 2012.

TUCCI, Carlos.E.M. **Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção.** RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 2 n.2 Jul/Dez 1997, 5-12

TUCCI, Carlos. E. M (Organizador). **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** 4.ed. – Porto Alegre: Editora da UFRGS/ ABRH.2012.