



## ANÁLISE QUANTITATIVA DOS EFEITOS DA URBANIZAÇÃO SOBRE A INFILTRAÇÃO E O ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA CIDADE DE GOIÂNIA – GO

*José Alexandre Pinto Coelho Filho<sup>1</sup> & Albert Teixeira Cardoso<sup>2\*</sup> & Davi nascimento Souza<sup>3</sup> & Luiz Fernando Magalhães<sup>4</sup>*

**Resumo:** A construção de edifícios residenciais e comerciais ocorre, em muitos casos, sem planejamento e de maneira desorganizada, sem preocupação em relação à preservação de áreas naturais. Caso não se tenha uma política efetiva de controle e fiscalização de uso e ocupação do solo, a cidade pode apresentar problemas de escassez de água em médio e longo prazo. O presente estudo analisou o escoamento superficial e a infiltração na cidade de Goiânia frente às parcelas rural e urbana de uso e ocupação do solo. As mesmas variáveis foram estimadas considerando-se um cenário de aumento de 40% da área urbana. Foi aplicado o método do balanço hídrico, onde os dados de entrada (precipitação) subtraídos em relação aos dados de saída (evapotranspiração, infiltração e escoamento superficial) representam a variação do volume em um determinado intervalo de tempo. Os resultados sugerem que o aumento de 40% da urbanização na cidade de Goiânia implica no aumento de 15,96% na parcela de escoamento superficial, enquanto a parcela de infiltração diminui cerca de 45,29%.

**Palavras-chave:** Balanço hídrico; uso e ocupação do solo; variáveis hidrológicas.

## QUANTITATIVE ANALYSIS OF URBANIZATION EFFECTS OVER INFILTRATION AND RUNOFF IN GOIANIA, BRAZIL

**Abstract:** The construction of residential and commercial buildings are often unplanned and disorganized, with no concerns regarding the preservation of natural areas. Without an effective plan on how to supervise and control the use and occupation of the soil, the city may suffer from water shortages at medium and long term. This study analyzed the runoff and infiltration in Goiania's soil against its use and occupation. Subsequently, the same parameters were estimated considering a 40% increase in urban area. The water balance method was applied, where the input data (rainfall) minus the output data (evapotranspiration, infiltration and runoff) on a system represents the volume change in a given time period. The results indicate that a 40% increase in Goiania's urbanization could cause an increase of 15.96% in runoff's amount, while the amount of infiltration would decrease by about 45.29%.

**Key-words:** Water balance; use and occupation of land; hydrological variables.

---

<sup>1,4</sup> Pesquisador em Geociências, Serviço Geológico do Brasil – CPRM, e-mails: alexandre.coelho@cprm.gov.br ; albert.cardoso@cprm.gov.br ; davi.souza@cprm.gov.br; luiz.magalhaes@cprm.gov.br.

\*Autor Correspondente.



## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o setor imobiliário tem influenciado na mudança da paisagem na cidade de Goiânia. A construção de edifícios residenciais e comerciais ocorre, em muitos casos, sem planejamento e sem a preocupação com relação à preservação de áreas naturais. Esse desenvolvimento tem resultado em um aumento significativo da área urbana da cidade que, aos poucos, vai ocupando locais com vegetação natural remanescente. Na área urbana, esse crescimento também é responsável pela supressão das áreas marginais aos corpos d'água, que hoje estão parcialmente ocupadas e impermeabilizadas.

A vegetação e o uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica são características fundamentais para a conformação das vazões de cheias ou estiagem nessas unidades, uma vez que indicam com que proporção a precipitação transforma-se em escoamento superficial (COELHO FILHO, 2010). Além disso, as raízes das plantas geram caminhos preferenciais de escoamento, permitindo a maior infiltração da água nesses locais. Os processos de desmatamento e urbanização em uma bacia hidrográfica implicam em menores perdas por meio da interceptação e infiltração, resultando no aumento do volume de água para o escoamento superficial, gerando maiores vazões de pico.

Caso não se tenha uma política efetiva de controle e fiscalização de uso e ocupação do solo na cidade, a permanência desse cenário pode gerar problemas tanto de escassez de água em médio e longo prazo, quanto de inundações nos períodos de alta pluviosidade. Nesse contexto, uma abordagem atual refere-se à consideração dos efeitos da urbanização e alterações antrópicas em bacias hidrográficas, possibilitando elementos de investigação na área de hidrologia e recursos hídricos (CEHPAR, 1995).

O objetivo desse estudo é estimar as parcelas médias anuais de infiltração e escoamento superficial na cidade de Goiânia, considerando o cenário de parcela rural e urbana de uso e ocupação do solo apresentado por Moysés (2005), e um cenário futuro de aumento de 40% na área impermeabilizada da cidade.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

A cidade de Goiânia, capital do Estado de Goiás, está inserida na bacia hidrográfica do rio Meia Ponte (Figura 1), a qual abrange 39 municípios e é a bacia mais densamente povoada do Estado de Goiás (Cunha, 2007).

De acordo com Cardoso *et al.* (2014), o Estado de Goiás apresenta quatro diferentes tipos de clima segundo a classificação de Köppen-Geiger. Na região Sudoeste e em uma pequena porção do Nordeste do estado verifica-se o clima Cwa (temperado úmido com inverno seco e verão quente). Ainda de acordo com os autores, o clima Aw é verificado em quase todo o território de Goiás, com clima tropical com estação seca no inverno. Em uma pequena parcela no centro do Norte da região goiana ocorre o clima Am (clima de monção), e entre os municípios de Goiânia e Anápolis observa-se o clima temperado úmido com inverno seco e verão temperado – Cwb (CARDOSO *et al.*, 2014).

Conforme a Associação Ambiental Pró-Águas do Cerrado - AAPAC (2015), a bacia do rio Meia Ponte é subdividida em cinco sub-bacias: i) Alto Meia Ponte, que engloba a região das nascentes até a foz no ribeirão João Leite; ii) Ribeirão João Leite, que abrange sete municípios e é delimitada como Área de Proteção Ambiental; iii) Rio Caldas, que abrange parte de nove municípios goianos; iv) Rio Dourados, que também engloba nove municípios; v) Baixo Meia Ponte, que possui a maior área territorial, abrangendo quinze municípios.

De acordo com Moysés (2005), 99,3% da população de Goiânia ocupa 53,1% do território urbano de Goiânia (384,49 km<sup>2</sup>), enquanto 0,7% ocupa 46,9% da zona rural do município (339,59

km<sup>2</sup>). Esses percentuais indicam uma população de 1.297.076 habitantes na região urbana, enquanto 4.925 habitantes residem na região rural do município.

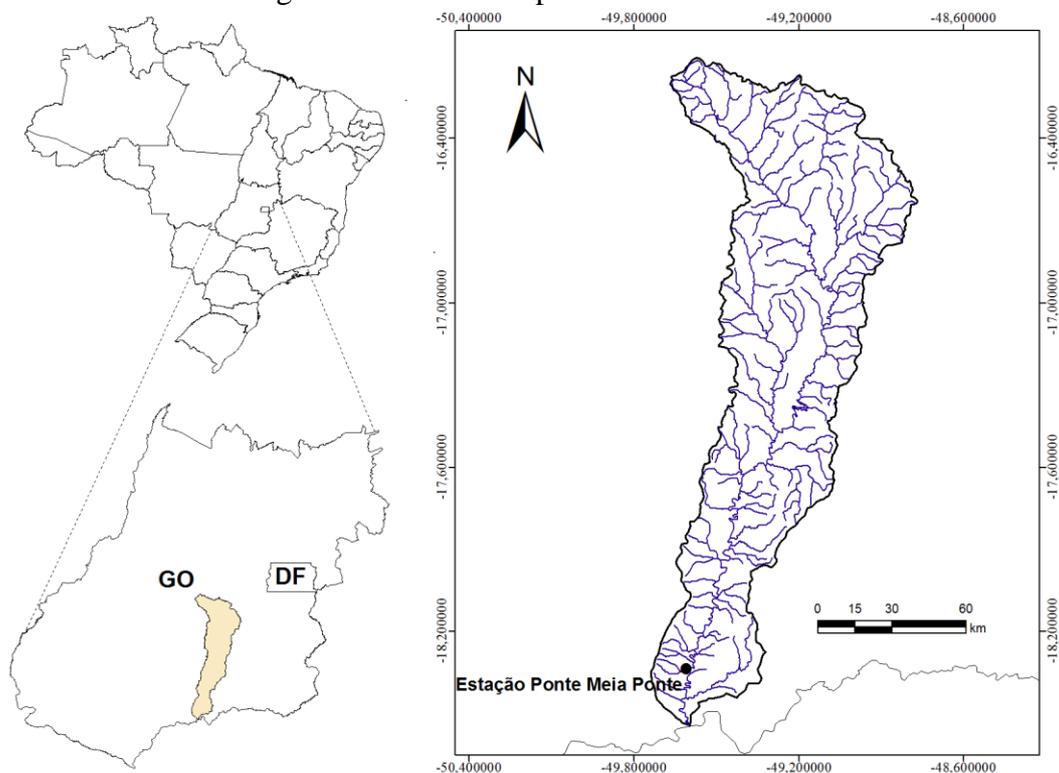


Figura 1 – Bacia hidrográfica do rio Meia Ponte e estação Ponte Meia Ponte.

## 2.2 Dados de precipitação

Para a seleção da estação pluviométrica, foram analisados critérios como: representatividade do regime pluviométrico regional, tamanho da série e número de falhas. Em função da proximidade da área de estudo e do número de registros de dados de precipitação, foi selecionada a estação Sureg/GO (Código ANA 01649022), operada pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil.

Segundo Yevjevich (1992), as falhas nas observações que compõem a série histórica podem resultar na possibilidade de incertezas quanto às estimativas de parâmetros estatísticos. Dessa forma, adotou-se como critério a não utilização de anos que apresentaram meses com mais de 10 falhas de registro de observação de dados de precipitação em meses notoriamente chuvosos na região de Goiânia (período de outubro de um determinado ano corrente a março do ano seguinte).

## 2.3 Cálculo da infiltração, evapotranspiração e escoamento superficial

O estudo hidrológico para o cálculo da infiltração baseia-se na aplicação do conceito do balanço hídrico. Assim, tem-se um sistema em equilíbrio, no qual o balanço é considerado nulo, ou seja, o fluxo de água de entrada na bacia, subtraído em relação ao fluxo de saída nessa mesma estrutura, corresponde à zero (equação 1).

$$\sum I - \sum O = 0 \Rightarrow P - ES - ETP - R = 0 \Rightarrow R = P - ES - ETP \quad (1)$$

onde:  $P$  é a chuva média mensal,  $ES$  é o deflúvio superficial médio mensal,  $ETP$  é a evapotranspiração média mensal,  $R$  é a recarga média mensal (ou infiltração).

A precipitação mensal foi obtida pela análise dos dados da estação Sureg/GO (Código ANA 01649022), enquanto os dados de evaporação foram obtidos pela consulta às Normas Climatológicas correspondentes aos registros observados no período de 1961 a 1990 (INMET,

1992). Em seguida, os dados de evaporação foram convertidos em evapotranspiração por meio de coeficientes mencionados por Naghettini (1999).

Dessa maneira, estima-se a evapotranspiração potencial (ETP) como o produto entre a evaporação medida em tanque classe A e um fator de correlação ( $k$ ), aproximadamente 0,8 para áreas naturais e 0,7 para áreas urbanizadas.

No presente estudo foram considerados os coeficientes de escoamento superficial (*runoff*) correspondentes aos valores recomendados por Pinheiro (2011): 0,90 para áreas urbanas e 0,40 para áreas rurais.

Com relação à tipologia de uso e ocupação do solo na cidade, os dados foram obtidos conforme documentos publicados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2000), citados no estudo de Moysés (2005).

Foram adotados dois cenários, a saber: (i) cálculo da infiltração e escoamento superficial para o cenário de parcela rural e urbana de uso e ocupação do solo apresentado por Moysés (2005), (ii) cálculo da infiltração e escoamento superficial para a simulação de 40% de aumento da urbanização do município de Goiânia.

Apesar do cenário de aumento de 40% na área urbana de Goiânia tratar-se de uma simulação teórica para a elaboração do estudo aqui apresentado, é uma condição de ocorrência plausível e pode fornecer resultados importantes para a análise do balanço hídrico local.

Com exemplo, Cavalcante *et al.* (2007) produziu um estudo para análise do crescimento urbano na cidade de Goiânia entre os anos de 1986 e 2002, por meio da aplicação de ferramentas de geoprocessamento, concluindo que a área urbana do município cresceu cerca de 20% no período (16 anos).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 (a) apresenta os dados de altura pluviométrica média mensal registrada pela estação Sureg/GO (Código ANA 01649022). Tendo como exemplo o mês de janeiro, considerando o período de registros dessa variável na referida estação, tem-se uma precipitação média da ordem de 257 mm.

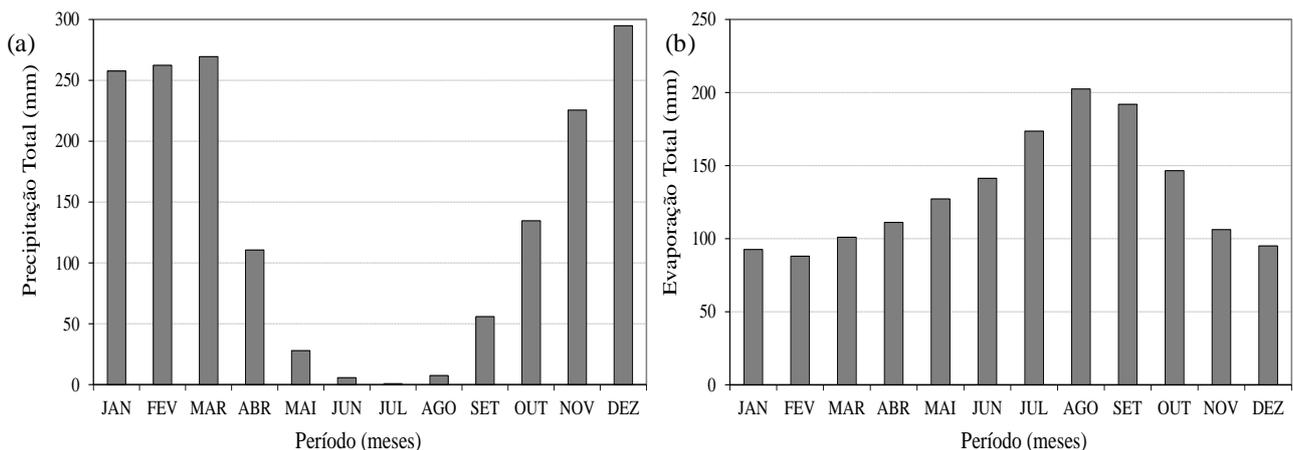


Figura 2 – Altura pluviométrica média mensal e Variação mensal da evaporação total registrada na estação Sureg/GO.

A estação climatológica operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) mais próxima à região em estudo é a estação Goiânia (código 83.423). As Normais Climatológicas, correspondentes aos registros médios observados nessa estação no período de 1961 a 1990, apresentam o comportamento sazonal da evaporação, o qual pode ser visualizado na Figura 2 (b).

As Tabelas 1 e 2 apresentam o cálculo do balanço hídrico, em unidade linear, para as parcelas urbana e rural de Goiânia, com a estimativa das variáveis de precipitação, evaporação, evapotranspiração, escoamento superficial e recarga (infiltração).

Observa-se que tanto para a parcela urbana quanto para a parcela rural, considerando-se somente as variáveis de precipitação e evapotranspiração (balanço hídrico simplificado), o período com excedente hídrico é de janeiro a abril, e de outubro a dezembro, com índices de precipitação superiores aos de evapotranspiração.

Em contrapartida, os meses de maio a setembro apresentam índices de evapotranspiração superiores aos de precipitação, sugerindo déficit hídrico para o período. Esses meses com excedente e déficit hídrico foram os mesmos apresentados no estudo de Caracterização Climática do Estado de Goiás, elaborado pela Superintendência de Geologia e Mineração da Secretaria de Indústria e Comércio de Goiás (SIC, 2006).

Tabela 1 – Estimativa das variáveis hidrológicas – parcela urbana (mm)

Variável (mm)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
<i>P</i>	257,7	262,4	269,5	110,6	28,0	5,8	0,8	7,6	55,9	134,7	225,5	294,8
<i>E</i>	92,6	88,0	100,9	111,1	127,2	141,2	173,6	202,4	191,9	146,5	106,2	95,0
<i>ES</i>	231,9	236,1	242,6	99,6	25,2	5,2	0,8	6,9	50,3	121,2	203,0	265,3
<i>ETP</i>	64,8	61,6	70,6	77,8	89,0	98,8	121,5	141,7	134,3	102,6	74,3	66,5
Balanço	-39,0	-35,4	-43,7	-66,7	-86,2	-98,3	-121,4	-140,9	-128,7	-89,1	-51,8	-37,0
Recarga	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabela 2 – Estimativa das variáveis hidrológicas – parcela rural (mm)

Variável (mm)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
<i>P</i>	257,7	262,4	269,5	110,6	28,0	5,8	0,8	7,6	55,9	134,7	225,5	294,8
<i>E</i>	92,6	88,0	100,9	111,1	127,2	141,2	173,6	202,4	191,9	146,5	106,2	95,0
<i>ES</i>	103,1	105,0	107,8	44,2	11,2	2,3	0,3	3,0	22,4	53,9	90,2	117,9
<i>ETP</i>	74,1	70,4	80,7	88,9	101,8	113,0	138,9	161,9	153,5	117,2	85,0	76,0
Balanço	80,6	87,0	81,0	-22,5	-85,0	-109,5	-138,4	-157,4	-120,0	-36,4	50,4	100,9
Recarga	80,6	87,0	81,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,4	100,9

O volume médio anual de recarga nas parcelas urbana e rural pode ser obtido pelo produto dos valores dessa variável pelas respectivas áreas consideradas para os cenários simulados. Raciocínio semelhante pode ser realizado para o cálculo do volume de escoamento superficial.

No Cenário 1, têm-se uma área de 384,49 km<sup>2</sup> na porção urbana, enquanto a parcela rural corresponde a 339,59 km<sup>2</sup>. Para o Cenário 2, a parcela urbana é de 538,28 km<sup>2</sup> e a área rural de 185,80 km<sup>2</sup>.

Dessa forma, considerando o cenário de urbanização da cidade de Goiânia (Cenário 1), foram obtidos os resultados apresentados na Figura 3, os quais indicam a relação mensal entre as variáveis de infiltração e escoamento superficial.

Verifica-se que o volume médio anual de infiltração corresponde a 135.774.158 m<sup>3</sup>, enquanto o escoamento superficial médio anual é de 796.693.369 m<sup>3</sup>. Ou seja, o escoamento superficial é 5,87 vezes superior em relação à infiltração. Ainda, a infiltração corresponde a 17,04% do escoamento superficial.

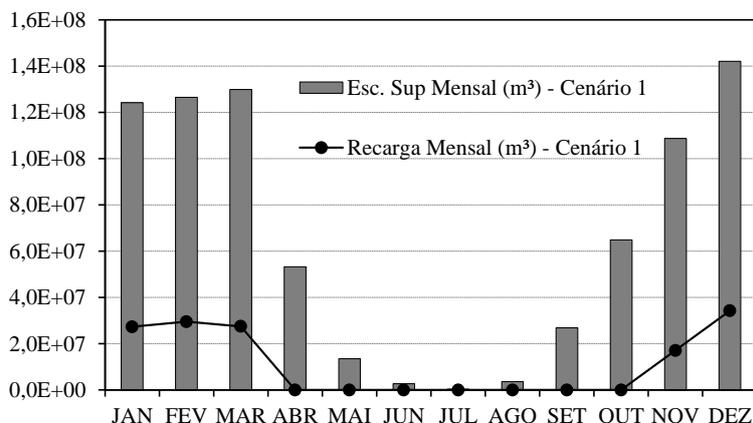


Figura 3 – Relação entre as variáveis de escoamento superficial e infiltração, Cenário 1.

A Figura 4 apresenta os resultados obtidos para o Cenário 2 (40% de aumento de urbanização de Goiânia), indicando a relação mensal de infiltração e escoamento superficial. Considerando-se as médias anuais dessas duas variáveis, têm-se 74.284.966 m<sup>3</sup> de infiltração, enquanto o escoamento superficial corresponde a 923.829.110 m<sup>3</sup>. Dessa forma, para o Cenário 2, verifica-se que o escoamento superficial é 12,44 vezes superior em relação à infiltração. Também pode-se observar que a infiltração corresponde a 8,04% do escoamento superficial.

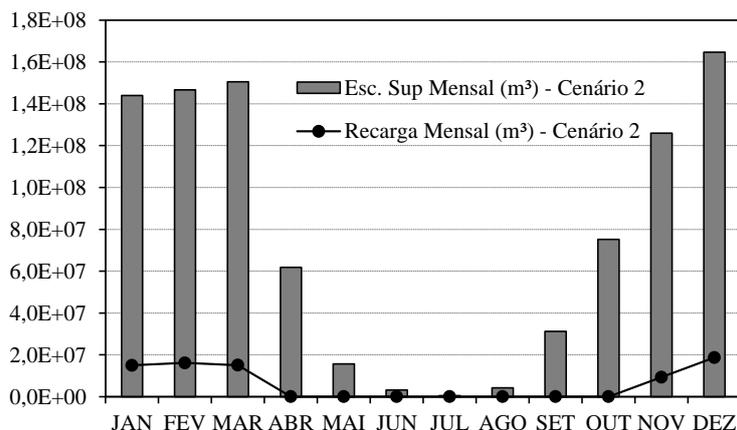


Figura 4 – Relação entre as variáveis de escoamento superficial e infiltração, Cenário 2.

Comparando os dados de escoamento superficial entre os Cenários 1 e 2, se observa um aumento de 15,96% dessa variável. A Figura 5 apresenta o comparativo mensal entre os dois cenários mencionados.

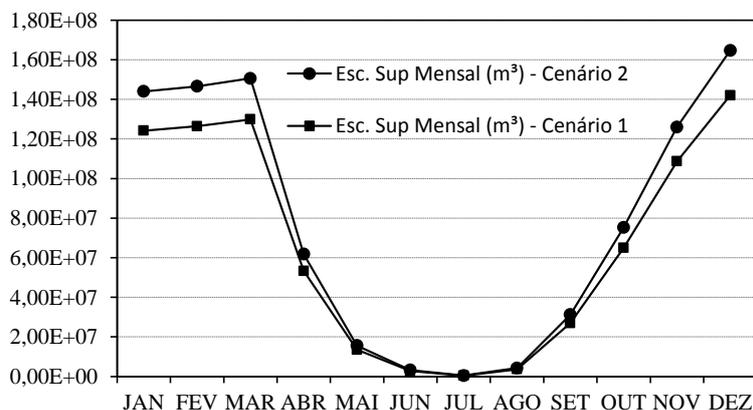


Figura 5 – Diferença entre escoamento superficial para os Cenários 1 e 2.

A comparação da variável de infiltração indica que os valores totais anuais dessa variável reduziram em 45,29% comparando-se o Cenário 2 com o Cenário 1. Ou seja, ocorreu uma diminuição da ordem de 61.489.192 m<sup>3</sup> no volume médio anual de infiltração. A variação mensal da infiltração para os cenários simulados é apresentada na Figura 6.

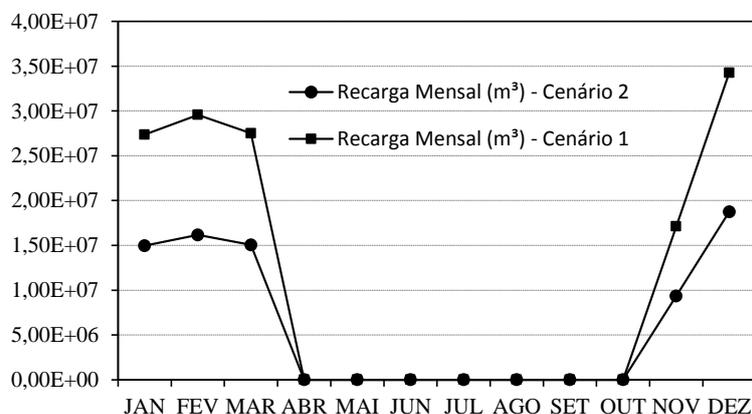


Figura 6 – Diferença entre a infiltração (recarga) para os Cenários 1 e 2.

Esse volume de água que deixa de infiltrar no solo (considerando o Cenário 2) pode resultar na diminuição da vazão nos cursos de água, uma vez que suas respectivas áreas de recarga estarão impermeabilizadas. Nesse mesmo sentido, Tucci e Genz (1995) mencionam que o balanço hídrico em uma bacia altera-se com o aumento do volume do escoamento superficial e a redução da recarga natural dos aquíferos e da evapotranspiração.

Ainda, o aumento da impermeabilização também pode diminuir o tempo de resposta da bacia a um pulso de precipitação, onde a bacia irá concentrar as vazões mais rapidamente em seu exutório (diminuição do tempo de concentração), podendo gerar maiores vazões de pico no momento da chuva.

Como exemplo pode-se citar o estudo conduzido por Yoshimoto e Suetsugi (1990), que descrevem o aumento da urbanização e a redução do tempo de concentração em uma bacia próxima a Tokyo, com cenários de evolução de 10% a 80% de urbanização. O pico da vazão de cheia obtido para a urbanização de 10% foi da ordem de 730 m<sup>3</sup>/s, enquanto para o cenário de 80% de urbanização, o pico foi aproximadamente 1.300 m<sup>3</sup>/s, resultando em um aumento de 78% na vazão máxima.

#### 4 CONCLUSÕES

O presente artigo apresentou os resultados dos estudos hidrológicos referentes à influência do avanço da urbanização sobre a infiltração e escoamento superficial na cidade de Goiânia, Estado de Goiás, utilizando o método do balanço hídrico.

Através dos dados obtidos, recomenda-se que o avanço da urbanização na região metropolitana de Goiânia seja realizado em conjunto com a preservação das áreas de recarga dos corpos hídricos, e também de forma a permitir a infiltração da água da chuva na bacia hidrográfica, em paralelo com a elaboração de um Plano Diretor de Drenagem Urbana e de Uso e Ocupação do Solo, de forma a orientar a urbanização da bacia hidrográfica sem causar alterações significativas nas parcelas de infiltração e escoamento superficial.

Para que o estudo aqui apresentado possa ser aprimorado e os resultados possam ter aplicações práticas na gestão dos recursos hídricos, recomenda-se o mapeamento detalhado do uso e ocupação do solo de Goiânia, e o levantamento dos respectivos coeficientes de escoamento superficial, além da aplicação de modelos matemáticos que possam simular a taxa de crescimento da área urbana do município.



## 5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CPRM – Serviço Geológico do Brasil pelo apoio e oportunidade da elaboração desse estudo.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AAPAC - Associação Ambiental Pró-Águas do Cerrado. *Caracterização da Bacia do Meia Ponte*. Disponível em: <http://www.proaguasdocerrado.org.br> . Acesso em: março, 2015.
- CARDOSO, M.R.D. ; MARCUZZO, F. F. N. ; BARROS, J. R. . Classificação Climática de Köppen-Geiger para o Estado de Goiás e o Distrito Federal. **Acta Geográfica (UFPR)**, v. 8, p. 40-55, 2014.
- CAVALCANTE, V. R.; MAGALHAES SOBRINHO, F. C. ; SILVA JUNIOR, A. F. . Estudo do crescimento urbano no município de Goiânia-GO por meio de ferramentas de Geoprocessamento com ênfase em Sensoriamento Remoto. In: XIII - Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2006, Florianópolis. *Anais XIII SBR*. São José dos Campos: INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007. p. 5143-5150.
- CENTRO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGIA PROFESSOR PARIGOT DE SOUZA. *Regionalização de vazões em pequenas bacias hidrográficas do Estado do Paraná*. Curitiba: CEHPAR, 1995, (PROJETO HG-77).
- COELHO FILHO, J. A. P. *Metodologia de curvas envoltórias probabilísticas para a estimação de cheias de projeto em bacias hidrográficas não monitoradas no estado de Minas Gerais*. 2010. 14p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- CUNHA, M. A. C.; Evolução das Vazões do Rio Meia Ponte Jusante de Goiânia. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007, São Paulo-SP. *Anais da ABRH*. Porto Alegre-SP: ABRH, 2007. v. 1. p. 17.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Demográfico 2000 - Resultados do universo*. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br> . Acesso em: abril, 2015.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. *Normais Climatológicas do Brasil 1961 – 1990*. Brasília-DF: INMET, 1992.
- MOYSÉS, A. Expansão Urbana ou Ocupação (In)Sustentável da Zona Rural do Município de Goiânia. *Conjuntura Econômica Goiana*, v. 4, p. 8 - 15, 2005.
- NAGHETTINI, M. C. *Notas de Aula de Engenharia de Recursos Hídricos*. Belo Horizonte, 1999. (Apostila).
- PINHEIRO, M. C. *Diretrizes para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamentos hidráulicos em obras de mineração*. 1ª ed. Belo Horizonte: ABRH, 2011.
- SIC - Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. *Caracterização Climática do Estado de Goiás*. Goiânia, 2006. 133 p. (Série Geologia e Mineração n. 3)
- TUCCI, C. E. M; GENZ, F. Controle do Impacto da Urbanização. In: Tucci,C.E.M.; Porto, R.L.L.; Barros, M.T. *Drenagem Urbana*. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ABRH, 1995, V.5, p.277-347.
- YEVJEVICH, V. *Flood and Society*, in: Rossi, G.; Harmancioglu, N.; Yevjevich, V. (ed.) – Coping With Floods, pp. 3 - 9, 1992.
- YOSHIMOTO, T.; SUETSUGI, T., 1990. Comprehensive Flood Disaster Prevention Measures in Japan. in: Duisberg Symposium, 1988. *Hydrological Processes and Water Management in Urban Areas*, IAHS , p175-183 International Association of Hydrological Sciences Publication 198).