

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

José Alexandre Pinto Coelho Filho¹ & Albert Teixeira Cardoso² & Davi Nascimento Souza³ & Luiz Fernando Magalhães⁴

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 ao seu atual uso e ocupação do solo. Posteriormente, 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 em torno de 45,29%.

Palavras-Chave – Balanço hídrico; escoamento superficial; infiltração.

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

The construction of residential and commercial buildings is, in many cases, non-planned and disorganized, without concern about preservation of natural areas. If there isn't any effective plan about how to supervise and control the use and occupation of the soil, the city may have water shortages in medium and long term. This study analyzed the runoff and infiltration in Goiania against its current use and occupation. Subsequently, the same parameters were estimated considering a 40% increase in urban area. It was applied the water balance method, where the input data (rainfall) subtracted with respect to output data (evapotranspiration, infiltration and runoff) on a system represents the volume change in a given time interval. The results suggest that a 40% increase in Goiania's urbanization implies an increase of 15.96% in runoff's amount, while the amount of infiltration decreases by about 45.29%.

Keywords – Water balance; runoff; infiltration.

¹ Pesquisador em Geociências, Serviço Geológico do Brasil – CPRM, alexandre.coelho@cprm.gov.br.

² Pesquisador em Geociências, Serviço Geológico do Brasil – CPRM, albert.cardoso@cprm.gov.br.

³ Pesquisador em Geociências, Serviço Geológico do Brasil – CPRM, davi.souza@cprm.gov.br.

⁴ Pesquisador em Geociências, Serviço Geológico do Brasil – CPRM, luiz.magalhaes@cprm.gov.br.

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 de maneira desorganizada, 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, infiltração e escoamento subterrâneo. 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 e um menor tempo de resposta da bacia, 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.

O objetivo desse estudo é estimar a recarga de água por infiltração e geração de escoamento superficial na cidade de Goiânia, considerando o atual cenário de urbanização e um cenário futuro de aumento de 40% na área impermeabilizada da cidade.

MATERIAIS E MÉTODOS

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).

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, abrigando quinze municípios.

De acordo com Moysés (2005), 99,3% da população de Goiânia ocupa 53,1% do território urbano de Goiânia (384,49 km²), enquanto 0,7% ocupa 46,9% da zona rural do município (339,59 km²). Esses percentuais indicam uma população de 1.297.076 habitantes na região urbana, enquanto 4.925 habitantes residem na região rural do município.

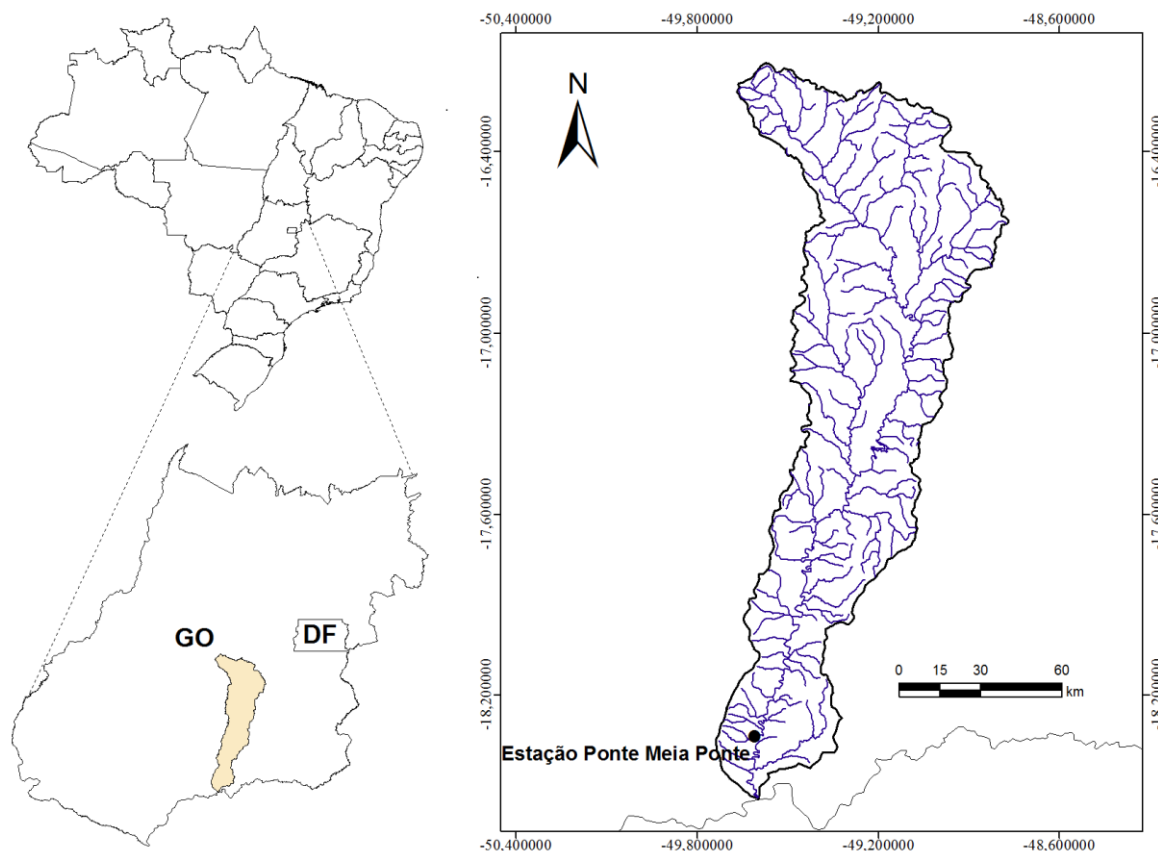


Figura 1 – Bacia hidrográfica do rio Ponte Meia Ponte e estação Ponte Meia Ponte.

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.

Os dados de precipitação foram verificados por meio de uma análise exploratória, contemplando a interpretação da série histórica registrada e a elaboração de gráficos ilustrativos que possibilitaram a visualização do comportamento dessa variável ao longo do tempo.

Na análise dos dados de precipitação, considerou-se como critério a exclusão de anos que apresentaram mais de 10 falhas em meses notoriamente chuvosos na região de Goiânia (período de outubro de um determinado ano corrente a março do ano seguinte).

Cálculo da infiltração, evapotranspiração e escoamento superficial

O estudo hidrológico para o cálculo da infiltração baseia-se na aplicação do conceito de 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 Normais

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), quais sejam: 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).

No presente estudo, foram adotados dois cenários, a saber: (i) cálculo da infiltração e escoamento superficial para o atual cenário de urbanização de Goiânia, (ii) cálculo da infiltração e escoamento superficial para a simulação de 40% de aumento da urbanização do município de Goiânia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 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.

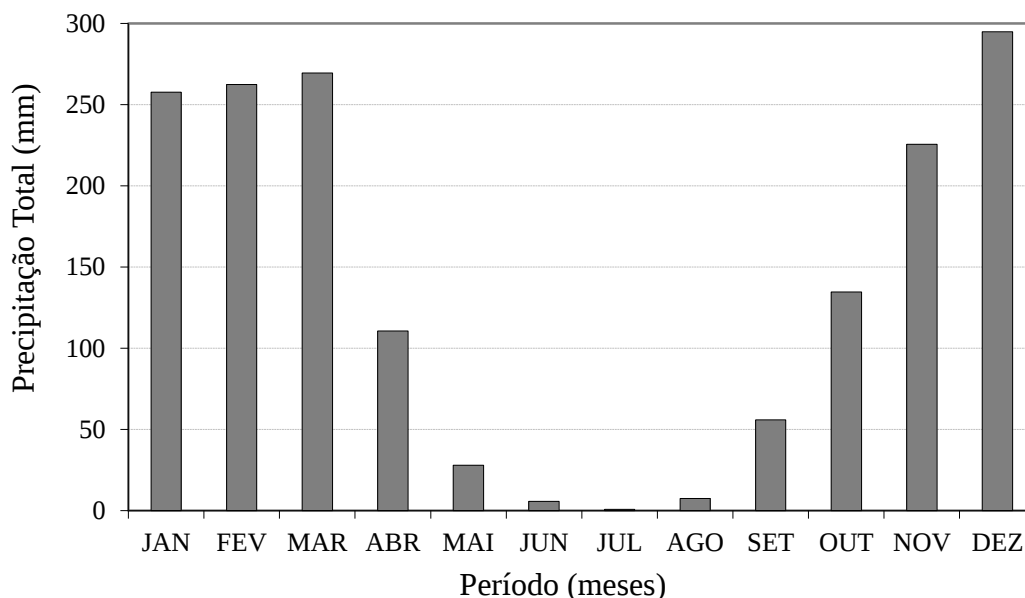


Figura 2: Altura pluviométrica média mensal registrada na estação Sureg/GO.

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 3.

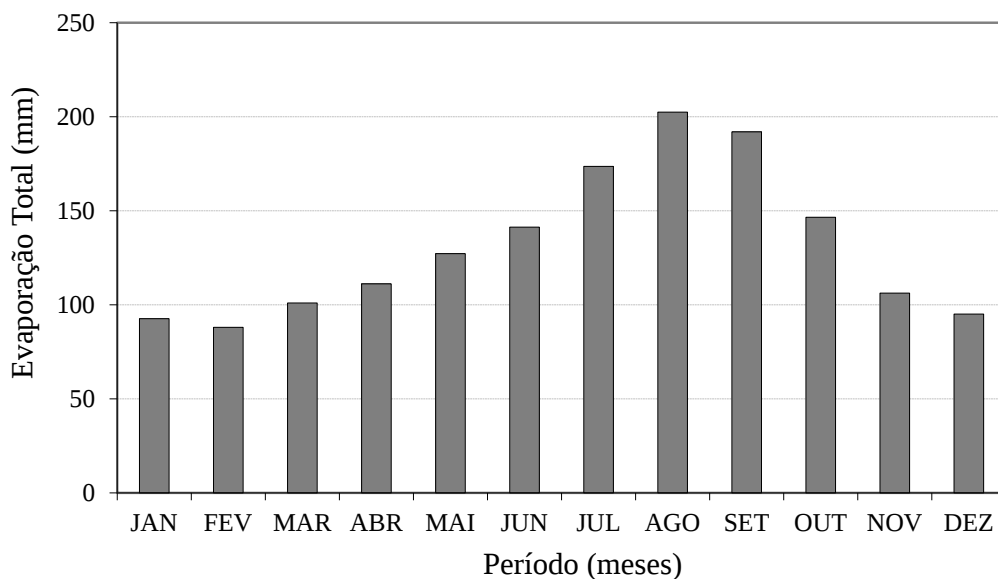


Figura 3: Variação mensal da evaporação total – estação Goiânia.

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

Tabela 1: Estimativa das variáveis hidrológicas – porção 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
<i>ETP</i> _{corr}	25,8	26,2	27,0	11,1	2,8	0,6	0,1	0,8	5,6	13,5	22,6	29,5
<i>R</i>	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 1: Estimativa das variáveis hidrológicas – porção 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
<i>ETP</i> _{corr}	74,1	70,4	80,7	66,4	16,8	3,5	0,5	4,6	33,5	80,8	85,0	76,0
<i>R</i>	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 porções 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 km² na porção urbana, enquanto a parcela rural corresponde a 339,59 km². Para o Cenário 2, a parcela urbana é de 538,28 km² e a área rural de 185,80 km².

Dessa forma, considerando o atual cenário de urbanização da cidade de Goiânia (Cenário 1), foram obtidos os resultados apresentados na Figura 4, os quais apresentam a relação mensal entre as variáveis de infiltração e escoamento superficial.

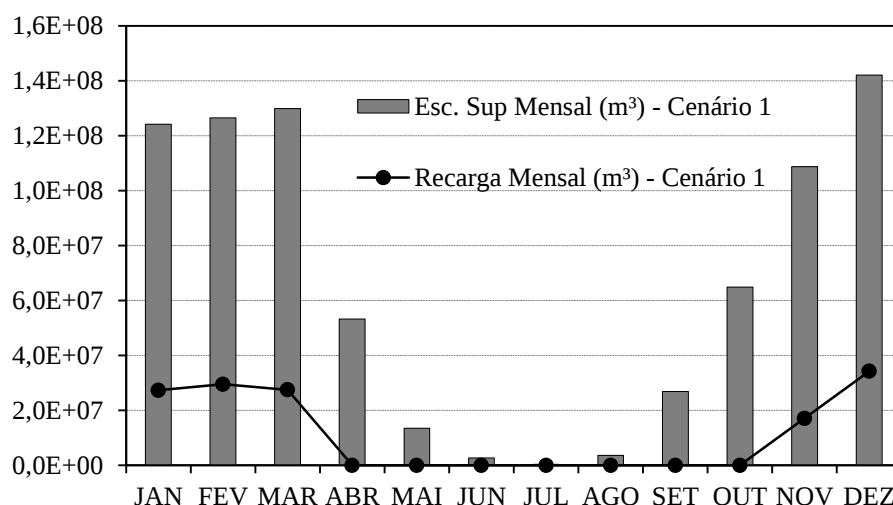


Figura 4: Relação entre as variáveis de escoamento superficial e infiltração, Cenário 1.

Considerando o total anual dessas variáveis, verifica-se que o volume de infiltração corresponde a 135.774.158 m³, enquanto a parcela de escoamento superficial é de 796.693.369 m³. Ou seja, o escoamento superficial é 5,87 vezes superior em relação à infiltração. Ainda, a infiltração corresponde a 17,04% do escoamento superficial.

A Figura 5 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 os valores totais dessas duas variáveis, têm-se 74.284.966 m³ de infiltração, enquanto o escoamento superficial corresponde a 923.829.110 m³. 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.

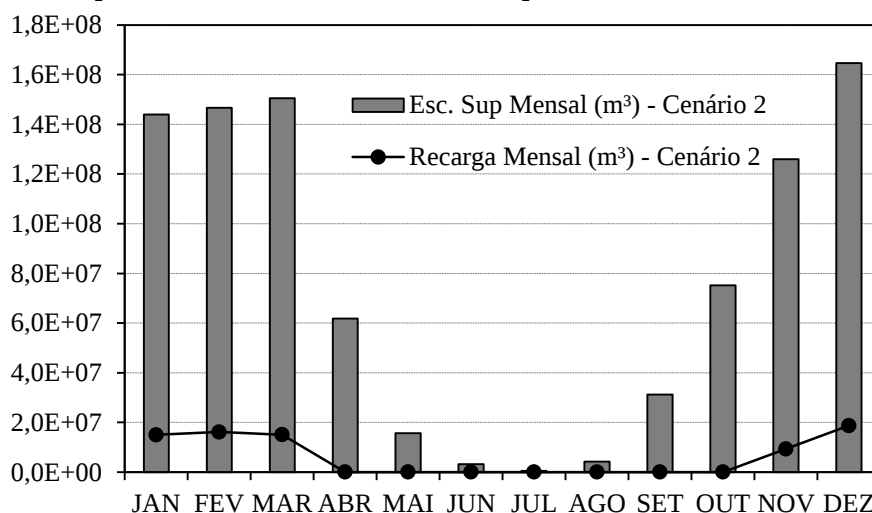


Figura 5: Relação entre as variáveis de escoamento superficial e infiltração, Cenário 2.

Comparando os dados de escoamento superficial entre os Cenários 1 e 2, se observa um aumento de 15,96% dessa variável (considerando totais anuais). A Figura 6 apresenta o comparativo mensal entre os dois cenários mencionados.

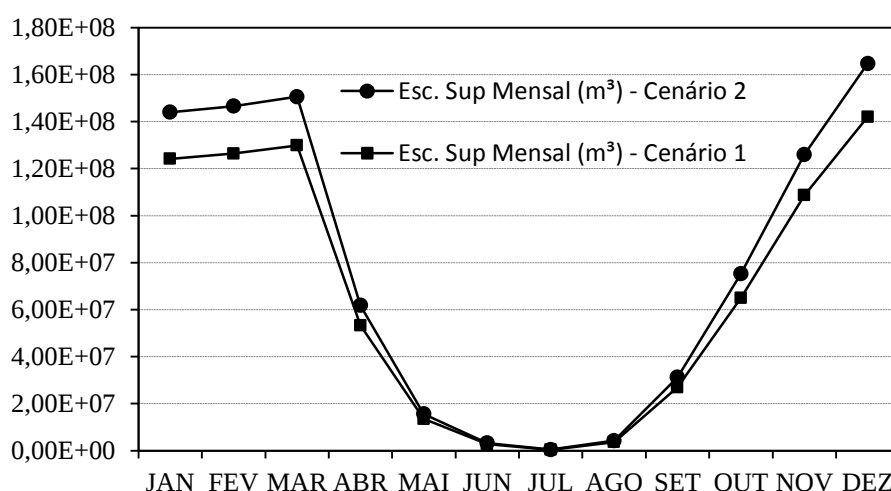


Figura 6: Diferença entre escoamento superficial para os Cenários 1 e 2.

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 m³ no volume de infiltração. A variação mensal da infiltração para os cenários simulados é apresentada na Figura 7.

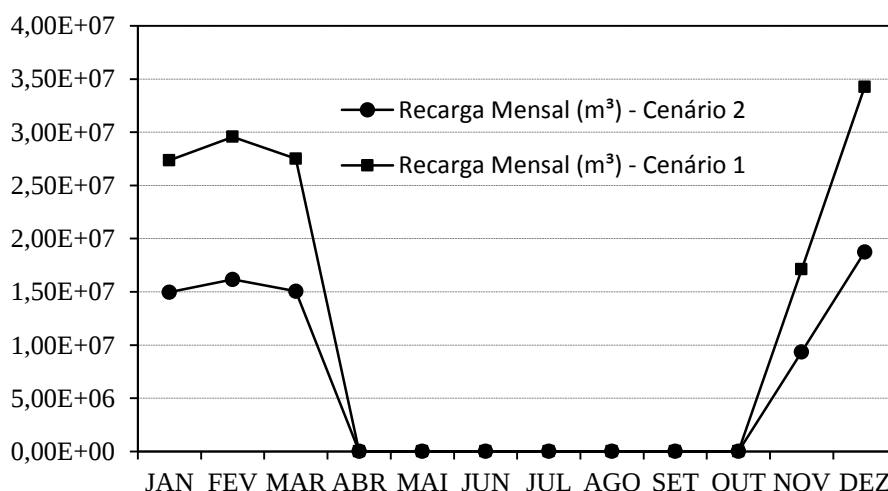


Figura 7: Diferença entre a infiltração (recarga) para os Cenários 1 e 2.

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.

Foram simulados dois cenários para o cálculo das variáveis de escoamento superficial e infiltração: Cenário 1 - cálculo da infiltração e escoamento superficial para o atual cenário de urbanização de Goiânia, Cenário 2 - cálculo da infiltração e escoamento superficial para a simulação de 40% de aumento da urbanização do município de Goiânia.

No Cenário 1, as parcelas totais de infiltração e escoamento superficial representam, pela ordem, 135.774.158 m³ e 796.693.396 m³. No Cenário 2, as parcelas totais de infiltração e escoamento superficial são de 74.284.966 m³ e 923.829.110 m³, respectivamente.

O escoamento superficial, considerando no Cenário 1, é 5,87 vezes superior em relação à infiltração. Ainda, a infiltração corresponde à aproximadamente 17% do escoamento superficial. No Cenário 2, o escoamento superficial é 12,44 vezes superior em relação à infiltração. A infiltração é aproximadamente 8,04% do escoamento superficial. Considerando o Cenário 2, o volume de infiltração pode ser reduzido em aproximadamente 61.489.192 m³.

Para o Cenário 2, foi estimado um aumento de 15,96% no volume de escoamento superficial, enquanto o volume de infiltração diminuiu em 45,29%.

De acordo com dados da Companhia de Saneamento de Goiás S/A – SANEAGO (2013), obtidos através do programa Cidades Sustentáveis, o consumo de água em Goiânia no ano de 2014 foi de aproximadamente 84 milhões de m³. Dessa forma, considerando-se o Cenário 1, a parcela de infiltração poderia suprir a demanda de água da cidade de Goiânia em 1,6 vezes.

Para o Cenário 2, a parcela de infiltração não seria suficiente para suprir a demanda atual de água em Goiânia em 10.155.227 m³ (déficit), considerando-se a redução dessa variável em função da impermeabilização do solo (urbanização) da cidade.

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.

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 m³/s, enquanto para o cenário de 80% de urbanização, o pico foi aproximadamente 1.300 m³/s, resultando em um aumento de 78% na vazão máxima.

Por esse motivo, 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.

AGRADECIMENTOS

Ao Superintendente regional da CPRM/GO, Luiz Fernando Magalhães, e à gerente de hidrologia e gestão territorial, Cíntia de Lima Vilas Boas, pela proposição do tema aqui discutido e pelo incentivo na elaboração do estudo.

REFERÊNCIAS

AAPAC, Associação Ambiental Pró-Águas do Cerrado. Caracterização da Bacia do Meia Ponte. Disponível em: < <http://www.proaguasdocerrado.org.br/> > Acesso em 21 de Março de 2015.

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. Censo Demográfico 2000 - Resultados do universo. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 20 abr. 2015.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia.(1992). Normais Climatológicas do Brasil 1961 – 1990, Brasília-DF.

MOYSÉS, A. Expansão Urbana ou Ocupação (In)Sustentável da Zona Rural do Município de Goiânia. Conjuntura Econômica Goiana, Goiânia - Goiás, v. 4, p. 8 - 15, 31 maio 2005.

NAGHETTINI, M. Engenharia de Recursos Hídricos – Notas de Aula, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, EE-UFMG, Belo Horizonte, 1999.

PINHEIRO, M. C. Diretrizes para a Elaboração de Estudos Hidrológicos e Dimensionamentos Hidráulicos em Obras de Mineração. 1a ed. Escola de Engenharia da UFMG - Editora: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2011.

SANEAGO, Companhia de Saneamento de Goiás S/A. (2013). Disponível em <<http://indicadores.cidadessustentaveis.org.br/br/GO/goiania/consumo-total-de-agua>>. Acesso em 05 de Março de 2015.

TUCCI, C.E.M., GENZ, F., 1995, Controle do Impacto da Urbanização, in : Tucci, C.E.M., Porto, R.L., Barros, M.T., 1995, org, Drenagem Urbana, Porto Alegre, Editora da Universidade, 428p., pp 277-347.

YOSHIMOTO, T.; SUETSUGI, T., 1990. Comprehensive Flood Disaster Prevention Measures in Japan. In: Duisberg Symposium, 1988. Hydrological Process and Water Management in Urban Areas, IAHS, p175-183. International Association Sciences Publication 198.