

IV-268 - ESTIMATIVA DE INFILTRAÇÃO PROFUNDA EM MICROBACIA CÁRSTICA A PARTIR DA APLICAÇÃO DE MODELO DE BALANÇO HÍDRICO SEQUENCIAL

Rodrigo de Arruda Camargo⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa. Mestrando em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa.

Maria Lúcia Calijuri

Profª titular da UFV. Graduada em Engenharia Civil pela EESC – USP.

Eduardo de Aguiar do Couto

Mestrando em Saneamento Ambiental pela UFV. Graduado em Engenharia Ambiental pela UFV.

Luna Gripp Simões Alves

Mestranda em Saneamento Ambiental pela UFV. Graduada em Engenharia Ambiental pela UFV.

Aníbal da Fonseca Santiago

Doutorando em Saneamento Ambiental pela UFV. Graduado em Engenharia Ambiental pela UFV.

Endereço⁽¹⁾: Rua Gomes Barbosa, 418 apto 101 - Centro - Viçosa - MG - CEP: 36570-000 - Brasil - Tel: (31) 38919794 - e-mail: rodrigodeacamargo@gmail.com

RESUMO

O conhecimento das peculiaridades hidrogeológicas dos carstes tem grande importância, não só pela sua ligação com problemas geotécnicos e ambientais, mas também pelo crescente interesse no carste como reservatório de águas superficiais e subterrâneas. Soma-se a isso, o fato das regiões cársticas atraírem um grande interesse econômico, já que na maioria das vezes elas possuem solos agricultáveis. Essas regiões são oriundas de rochas carbonáticas, onde a circulação da água se dá por entre as fraturas existentes nestas rochas, elevando consideravelmente a taxa de infiltração da água, o que explica a baixa incidência de rios e a importância das águas subterrâneas no abastecimento da população. Diante disso, entende-se que conhecer o balanço hídrico se faz necessário, uma vez que este pode auxiliar a tomada de decisões, orientando a gestão das águas. Este trabalho teve como objetivo realizar o balanço hídrico sequencial de uma microbacia situada em região cárstica, quantificando os valores de água infiltrada, escoada e evapotranspirada, utilizando para isso o modelo BALSEQ. Este modelo considera as diferentes combinações existentes entre tipo e uso de solo existentes na área de interesse, o que permite a avaliação do balanço hídrico a partir do estabelecimento de cenários de alterações no uso do solo. O modelo BALSEQ mostrou-se passível de aplicação em microbacia de região cárstica, permitindo a estimativa da infiltração profunda ao longo dos anos, e a avaliação da sua dinâmica temporal. A observação da contribuição individualizada de cada forma de uso e ocupação do solo ressaltou a importância da conservação de áreas florestadas para a manutenção da disponibilidade de água em períodos de estiagem, devido à sua significativa contribuição para a recarga dos aquíferos subterrâneos.

PALAVRAS-CHAVE: Balanço Hídrico Sequencial, Regiões Cársticas, Modelo BALSEQ

INTRODUÇÃO

O carste é um tipo de paisagem no qual o intemperismo químico determina as formas de relevo através da dissolução de rochas encaixantes (HARDT, 2008). Nestas regiões, devido às suas características geomorfológicas e hidrogeológicas peculiares, como a presença de extensas zonas sem correntes de águas superficiais, rápida infiltração de água pluvial e complexa circulação de águas subterrâneas, a gestão eficiente dos recursos hídricos mostra-se indispensável. A água subterrânea no carste possui uma dinâmica própria e, dependendo do aquífero, pode sofrer constante recarga de chuvas ou corpos d'água, assim como interferência direta e indireta das ações do homem (MENESES, 2003). Além disso, em áreas cársticas, as águas subterrâneas são a principal fonte de abastecimento, e devido às características mencionadas, e outras mais, esse recurso é extremamente vulnerável à poluição nesses territórios.

A estimativa da recarga das águas subterrâneas é um fator chave em estudos de disponibilidade e modelagem hídrica, sendo assim, essencial para a gestão dos recursos hídricos, na forma de subsídio a tomada de decisões

visando o uso sustentável dos mesmos. Contudo, a quantificação da recarga de águas subterrâneas é um processo estimativo, uma vez que não é passível de ser medido diretamente, e existem normalmente dificuldades no que concerne à validação dos resultados obtidos pela aplicação de qualquer método (OLIVEIRA, 2004).

Os métodos que se utilizam de balanço hídrico sequencial podem ser utilizados tanto para estimativas de recargas pontuais quanto para escalas maiores, como as bacias hidrográficas. A maior vantagem desses métodos é a geração de informações prontamente disponíveis, quantificando todo o volume de água afluente e efluente a um sistema. A principal desvantagem está relacionada com o fato de a recarga ser um termo residual, e sua precisão depender da acurácia de todos os outros termos do balanço hídrico (AHMAD, 2002).

Recentes avanços nas técnicas de sensoriamento remoto têm possibilitado um aumento na precisão da estimativa de vários parâmetros hidrológicos, principalmente nos campos de áreas irrigadas, através do mapeamento da evapotranspiração. Uma integração de sensoriamento remoto, Sistemas de Informação Geográfica e coleta de dados *in situ* em muito pode auxiliar na descrição das variações espaciais dos processos hidrológicos, notavelmente na interface terra-atmosfera, nos usos e na recarga de aquíferos subterrâneos.

Neste contexto, o BALSEQ, um modelo numérico de balanço hídrico sequencial diário, desenvolvido por Lobo Ferreira (1981) para a estimativa da recarga de águas subterrâneas na ilha de Porto Santo - Portugal, é uma importante ferramenta para a estimativa de recarga de aquíferos, e consequentemente, à gestão de recursos hídricos. Entre os principais trabalhos com aplicação do modelo, destacam-se os desenvolvidos por Oliveira et al. (1994) na península de Setubal, Portugal, Chachadi et al. (2001) na bacia hidrográfica de Bardez, estado de Goa, Índia e Chachadi et al. (2002) em Kakinada, também na Índia.

Este trabalho teve por objetivo realizar o balanço hídrico de uma microbacia situada em região cárstica, quantificando os valores de água infiltrada, escoada e evapotranspirada, considerando para isso as diferentes combinações de uso e classe de solos existentes na região cárstica de Lagoa Santa - MG.

MATERIAIS E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se na parte sul da Área de Proteção Ambiental (APA) Carste Lagoa Santa, contemplando uma área de 6.500 ha, como mostrado na Figura 1.

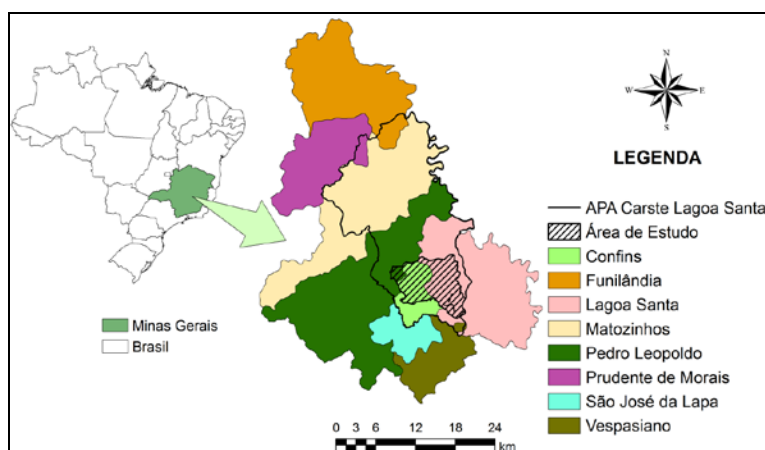


Figura 1: Localização da área de estudo.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima de Lagoa Santa e seu entorno planáltico enquadra-se na categoria Aw, ou seja, clima quente com temperatura do mês mais frio superior a 18 °C, e duas estações alternadas, uma chuvosa (verão), e outra seca (inverno), com amplitudes térmicas anuais inferiores a 5 °C.

A região encontra-se ao norte de Belo Horizonte, e passa por um momento de franca expansão populacional. Com o elevado adensamento da região de Betim e Contagem, o vetor do crescimento populacional da capital mineira passou a apontar para essa região. A construção do AITN, também conhecido por Aeroporto de

Confins, acelerou esse processo, já que a partir de sua implantação, este tem atuado como indutor do desenvolvimento urbano, propiciando a vetorização do fluxo natural de expansão e ocupação urbana em sua direção. Recentemente, a inauguração da nova sede administrativa do governo de Minas Gerais, além das obras de expansão do aeroporto, também tem contribuído para o crescimento populacional da zona norte da região metropolitana de Belo Horizonte.

OBTENÇÃO DA BASE DE DADOS

A determinação da infiltração profunda foi possível a partir da identificação e discretização das unidades Solo x Uso do Solo e Cobertura Vegetal. Para isso, obteve-se a carta pedológica em escala de 1:25.000 a partir do refinamento do mapa pedológico da região em escala 1:50.000, produzido pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, seguindo metodologia apresentada por Silva et. al. (2010). Na carta pedológica (Figura 2) foram identificadas dez unidades pedológicas, pertencentes a quatro classes distintas, latossolos, cambissolos, argissolos e gleissolos, como descritas na Tabela 1.

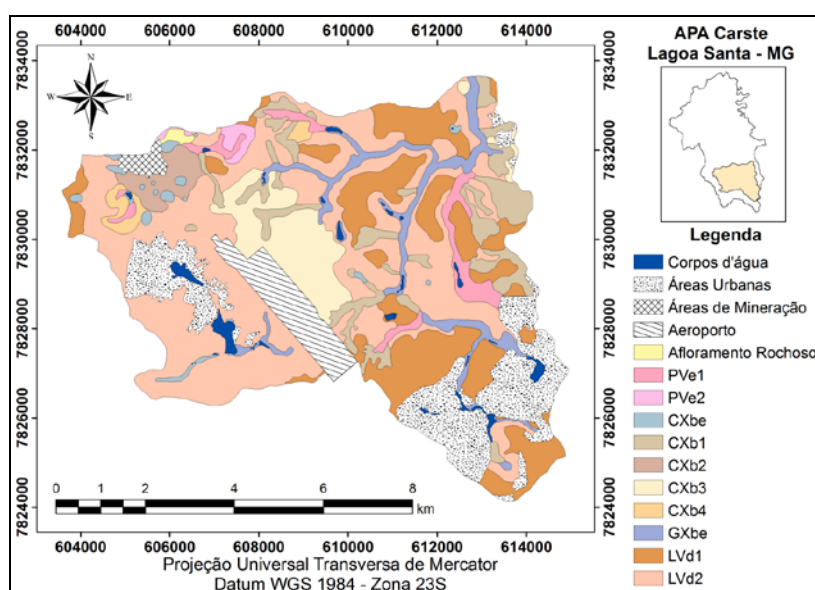


Figura 2: Carta Pedológica

Tabela 1: Descrição das classes pedológicas

Unidades de mapeamento	Descrição
PVe1	Argissolo Vermelho Eutrófico, textura muito argilosa, A moderado, relevo plano e suave
PVe2	Argissolo Vermelho Eutrófico + Cambissolo Háptico Tb Distrófico latossólico, ambos textura argilosa, A moderado, relevo ondulado e forte ondulado com microrelevo forte (cárstico)
CXbe	Cambissolo Háptico Tb Eutrófico gleicos, textura muito argilosa, A moderado, relevo plano e suave ondulado (dolinas)
CXbd1	Cambissolo Háptico Tb Distrófico textura muito argilosa cascalhenta e não-cascalhenta, pedregoso e não-pedregoso, A moderado, relevo suave ondulado com microrelevo moderado (cárstico)
CXbd2	Cambissolo Háptico Tb Distrófico + Cambissolo Háptico Tb Distrófico latossólico, ambos textura muito argilosa, A moderado, relevo suave ondulado com microrelevo moderado (cárstico)
CXbd3	Cambissolo Háptico Tb Distrófico, textura muito argilosa, cascalhenta e não-cascalhenta, pedregoso e não pedregoso, ambos A moderado, relevo suave ondulado e ondulado
Cxbd4	Cambissolo Háptico Tb Distrófico latossólico + Cambissolo Háptico Tb Distrófico, ambos textura muito argilosa, A moderado, relevo suave ondulado e ondulado
Gxbe	Gleissolo Háptico Tb Eutrófico, textura muito argilosa, A moderado, relevo plano e suave ondulado
LVd1	Latossolo Vermelho Distrófico, textura muito argilosa, A moderado, relevo plano e suave ondulado
LVd2	Latossolo Vermelho Distrófico, textura muito argilosa, A moderado, relevo suave ondulado e ondulado

A carta de uso do solo e cobertura vegetal, Figura 3, foi obtida através da classificação da imagem orbital IKONOS de 2007. Identificaram-se oito classes, correspondentes a formações florestais, pastagem, solo exposto, sistema viário, aeroporto, áreas urbana, áreas de mineração e corpos d'água.

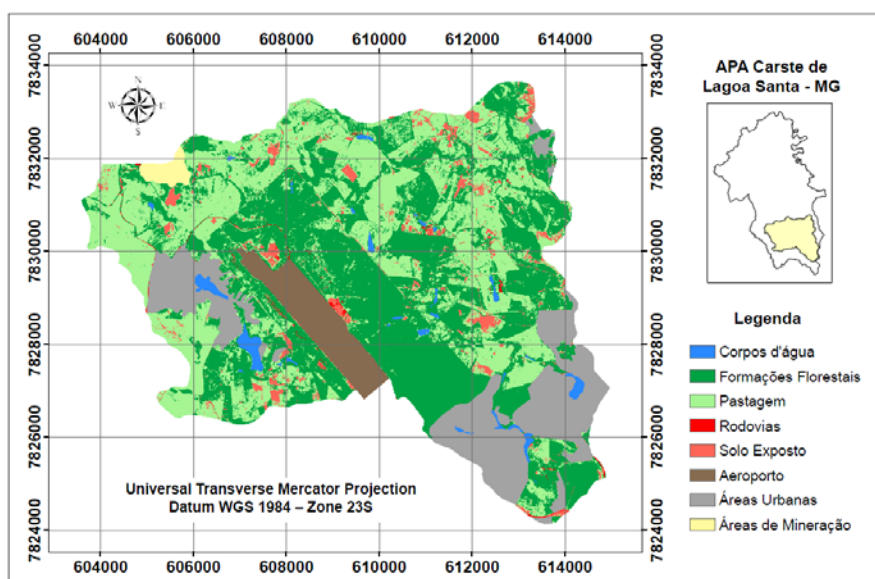


Figura 3: Carta de Uso do Solo e Cobertura Vegetal.

Os dados de temperatura foram obtidos do banco de dados do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), e os dados de precipitação foram obtidos junto à estação meteorológica instalada no Aeroporto Internacional Tancredo Neves. A umidade relativa do ar média mensal e a velocidade do vento média mensal para altura de 2 metros foram obtidas a partir de uma série de 1961-1990 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) do Brasil.

MODELO BALSEQ

O modelo BALSEQ (LOBO FERREIRA, 1981) é um modelo numérico de balanço hídrico sequencial diário a nível do solo. Considera-se que ao fim de um dia, a água que se infiltra à superfície e que existe em excesso relativamente à capacidade de campo do solo (teor de umidade maior que capacidade de campo), constituirá infiltração profunda (OLIVEIRA, 2004). Os fundamentos, de maneira resumida, estão apresentados na sequência.

Neste modelo, constituirá infiltração profunda, toda água infiltrada na superfície que excede a capacidade de campo do solo (OLIVEIRA, 2004). Assumindo que não há camadas menos permeáveis na zona vadosa abaixo do solo, o valor da infiltração profunda calculado para cada dia traduzirá o valor de recarga que ocorrerá mais tarde (PARALTA et al., 2003). Dessa forma, a infiltração profunda pode ser expressa pela equação 1:

$$I_p = P - ETR - A_i - ES \quad \text{equação (1)}$$

Onde P é a precipitação, ETR é a evapotranspiração real, A_i a variação do armazenamento da água no solo ao fim de um dia, e ES o escoamento superficial. Para a aplicação sequencial desta fórmula, é necessário conhecer os valores de precipitação e da evapotranspiração potencial (ETP) referidos a cada intervalo de tempo do balanço, assim como o valor da quantidade máxima de água no solo disponível para evapotranspiração (AGUT).

A estimativa do escoamento superficial foi realizada a partir do método do número da curva (CN), desenvolvido pela United States Soil Conservation Service (USSCS), que define o número característico de escoamento em função do tipo e uso do solo. Na atribuição dos valores de CN, considerou-se a influência do relevo, da textura do solo e das características cársicas, chegando aos valores apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Valores de CN adotados

Uso do solo e Cobertura Vegetal	Solos			
	Cambissolos	Gleissolos	Latossolos	Argissolos
Formações Florestais	55	77	25	70
Pastagem	66	83	45	77
Rodovia	98	98	98	98
Solo exposto	82	89	72	87
Aeroporto - Área Impermeável	98	98	98	98
Aeroporto - Área permeável	66	66	66	66
Área Urbana	98	98	98	98
Área de Mineração	87	87	87	87
Afloramento Rochoso	100	100	100	100

A estimativa da evapotranspiração real foi obtida a partir da relação entre a evapotranspiração de referência (ETo) e o coeficiente da cultura (Kc). A evapotranspiração de referência foi obtida pelo método de Penman (Doorenbos & Pruitt, 1997), método que combina os efeitos de balanço de energia e aerodinâmico. Neste trabalho, considerou-se o Kc de 0,7 para as formações florestais e 1 para as regiões de pastagem e para as áreas impermeáveis do aeroporto, sendo esses valores retirados do boletim FAO 56 (2005).

O AGUT foi estimado a partir dos parâmetros capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PM) e profundidade do solo sujeita a evapotranspiração (rp) de acordo com a equação 2.

$$\text{AGUT} = (\text{CC} - \text{PM}) \times \text{rp} \quad \text{equação (2)}$$

Os valores de capacidade de campo e ponto de murcha permanente foram obtidos a partir da densidade aparente do solo seguindo metodologia de Lopes et. al. (2009). Na Tabela 3 apresentam-se os valores utilizados para o cálculo do AGUT.

Tabela 3: Valores utilizados no cálculo do AGUT

Mapa de	Uso do Solo	Densidade	CC (g/100g)	PM (g/100g)	Rp (cm)	AGUT
CXbd1	Formações Florestais	0.9	27.6	12.4	150	228
	Pastagem	0.9	27.6	12.4	50	76
	Rodovia	0.9	27.6	12.4	0	0
	Solo Exposto	0.9	27.6	12.4	5	7.6
CXbd2	Formações Florestais	1.57	29.4	13	150	246
	Pastagem	1.57	29.4	13	50	82
	Rodovia	1.57	29.4	13	0	0
	Solo Exposto	1.57	29.4	13	5	8.2
CXbd3	Formações Florestais	1.07	30.2	14.2	150	240
	Pastagem	1.07	30.2	14.2	50	80
	Rodovia	1.07	30.2	14.2	0	0
	Solo Exposto	1.07	30.2	14.2	5	8
CXbd4	Formações Florestais	1.3	31	15	150	240
	Pastagem	1.3	31	15	50	80
	Rodovia	1.3	31	15	0	0
	Solo Exposto	1.3	31	15	5	8
Cxbe	Formações Florestais	1.11	34.8	22.6	150	183
	Pastagem	1.11	34.8	22.6	50	61
	Rodovia	1.11	34.8	22.6	0	0
	Solo Exposto	1.11	34.8	22.6	5	6.1
Gxbe	Formações Florestais	1.33	39	19	80	160
	Pastagem	1.33	39	19	40	80
	Rodovia	1.33	39	19	0	0
	Solo Exposto	1.33	39	19	5	10
LVd1	Formações Florestais	1.26	25	23.4	500	80
	Pastagem	1.26	25	23.4	50	8
	Rodovia	1.26	25	23.4	0	0
	Solo Exposto	1.26	25	23.4	5	0.8
LVd2	Formações Florestais	1.24	28	21	500	350
	Pastagem	1.24	28	21	50	35
	Rodovia	1.24	28	21	0	0
	Solo Exposto	1.24	28	21	5	3.5
PVe1	Formações Florestais	1.6	33.5	22.4	250	277.5
	Pastagem	1.6	33.5	22.4	50	55.5
	Rodovia	1.6	33.5	22.4	0	0
	Solo Exposto	1.6	33.5	22.4	5	5.6
PVe2	Formações Florestais	1.66	35	23.6	250	285
	Pastagem	1.66	35	23.6	50	57
	Solo Exposto	1.66	35	23.6	5	5.7
Aeroporto	Gramado	1.07	22	15	50	35

RESULTADOS

A estimativa da infiltração profunda ao longo dos anos apresentou valores próximos a 60% da precipitação total, com as recargas médias anuais variando entre os meses, de 56,8% a 62,4% da precipitação anual no período estudado. O considerável valor de infiltração pode estar relacionado às características geomorfológicas e hidrogeológicas comuns aos carstes. Somado a esse fator, a grande presença de latossolos na área estudada (65%) também pode contribuir para o elevado valor de recarga. Os latossolos apresentam avançado estágio de intemperização, sendo solos muito evoluídos, variando de fortemente a bem drenados (EMBRAPA, 2006).

Além disso, são altamente estruturados e estão associados a profundo manto de alteração, que alcança mais de 80 metros, onde a água encontra boas condições de infiltração, por tratar-se de meio poroso. Além das características físicas favoráveis à infiltração, a pequena fração urbanizada da região também apresenta significativa contribuição nesses resultados.

Os valores médios mensais de infiltração profunda gerados no modelo BALSEQ para toda a bacia são apresentados na Figura 4, juntamente com os parâmetros: precipitação, escoamento superficial e evapotranspiração real.

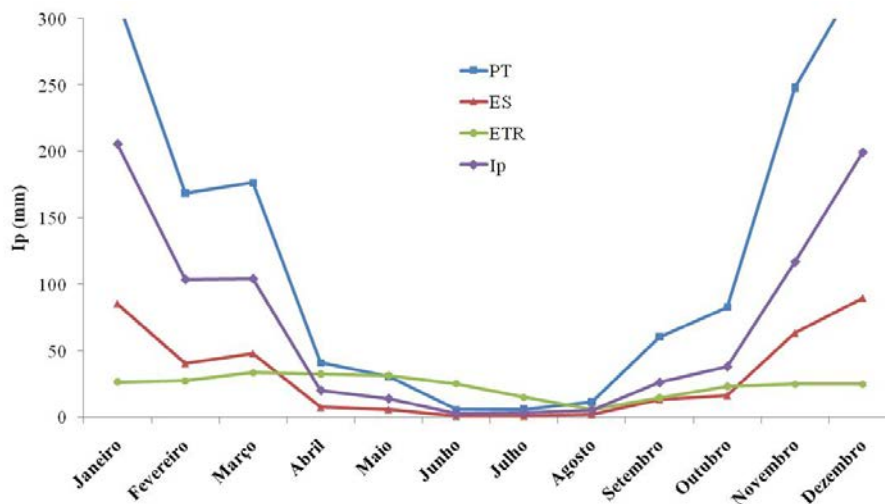


Figura4: Valores médios mensais dos componentes do balanço hídrico.

O resultado da aplicação do modelo sugere que na área de estudo, em alguns momentos a evapotranspiração apresenta valores maiores do que o escoamento superficial. Essa peculiaridade está relacionada ao padrão de uso do solo e cobertura vegetal que apresenta uma pequena área urbanizada (14%) e extensa área de formação florestal (41%), em que significativa fração da precipitação sofre evapotranspiração. A constatação de que a evapotranspiração apresenta valores elevados quando comparada ao escoamento superficial, e dessa forma, contribui mais efetivamente para a diminuição da quantidade de água disponível para a infiltração, pode mascarar o impacto negativo da impermeabilização do solo no ciclo hidrológico se não for considerada a proporção da área total ocupada por cada uso existente. É importante mencionar que o processo de urbanização inadequada, e a conseqüente impermeabilização do solo podem ocasionar prejuízos relacionados à disponibilidade hídrica, como a diminuição da recarga dos aquíferos devido à redução das taxas de infiltração, e também o assoreamento de corpos d'água como conseqüência do maior arraste de partículas e desencadeamento de processos erosivos.

Além disso, o aumento de áreas impermeabilizadas pode proporcionar o aumento da vazão de cursos d'água em períodos chuvosos, elevando as chances de ocorrência de inundações. O processo de escoamento superficial é dependente da existência de precipitação, o que pode explicar o comportamento semelhante das curvas das variáveis citadas.

Por outro lado, a evapotranspiração apresenta padrão pouco variável ao longo do ano em relação aos outros parâmetros. Mais do que à precipitação, essa perda de água está relacionada a outros fatores, como a demanda hídrica das plantas e o volume de água armazenado no solo (LOPES et al, 2009).

Em relação à infiltração profunda, observa-se que depois do período de estiagem, esta retoma seu crescimento tão logo a intensidade de precipitação aumenta. Esse comportamento pode ser atribuído à elevada permeabilidade do solo devido às características cársticas da região. Em terrenos menos drenados, espera-se um retardo no crescimento da curva de infiltração profunda em relação à de precipitação, correspondente ao tempo necessário para que infiltre uma lâmina superior à capacidade de retenção de água no solo, ou seja, que seja superada a capacidade de campo. A Figura 5 apresenta a dinâmica temporal, ao longo do ano, da infiltração profunda.

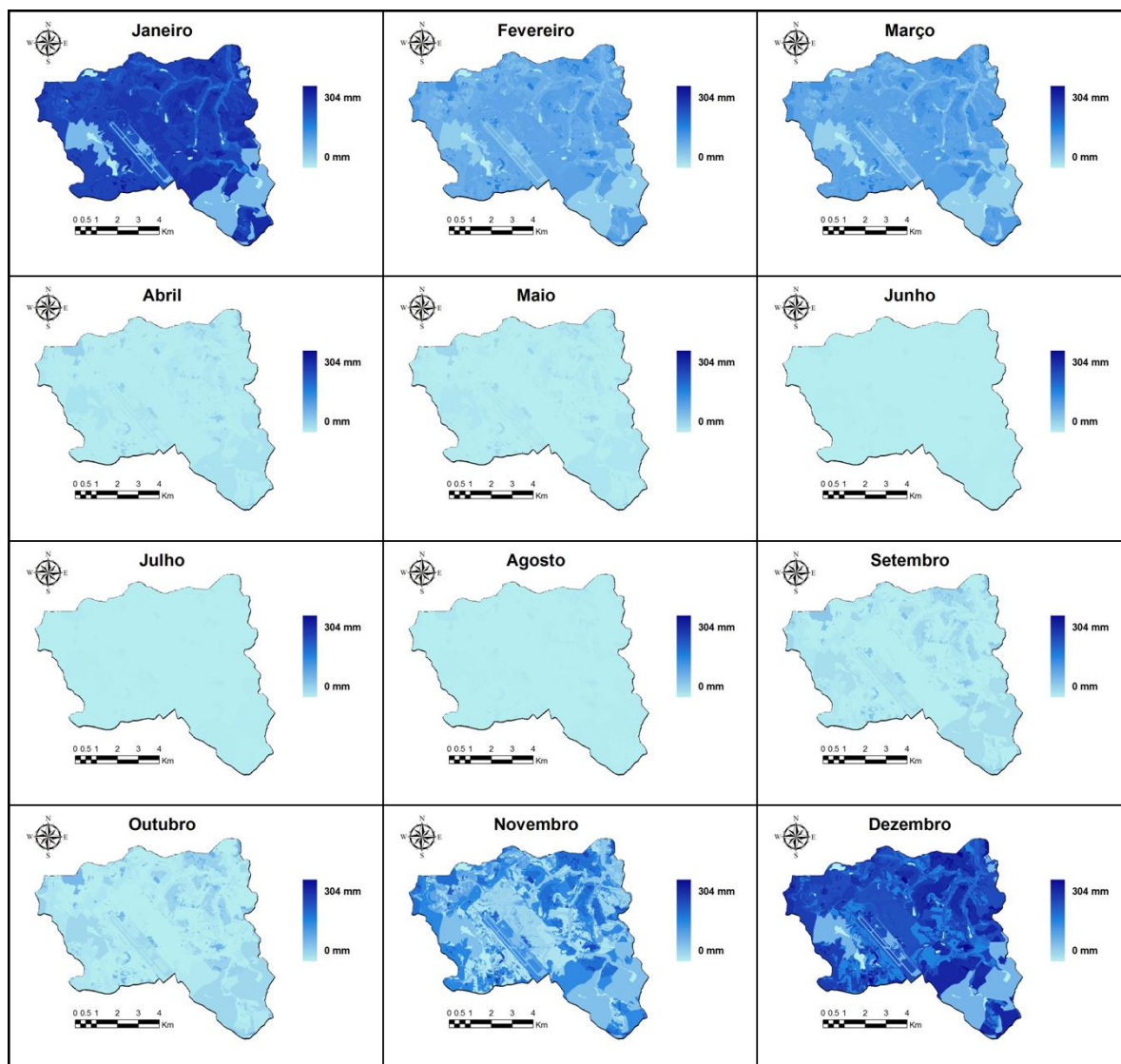


Figura 5: Ilustração da recarga profunda durante o ano

No início do período chuvoso, como se pode observar no mês de setembro, as áreas de solo exposto apresentam maior infiltração profunda que as demais regiões. O solo sem cobertura vegetal, muito embora esteja propenso aos impactos das gotas de chuva, e consequentemente ao processo de impermeabilização, apresenta baixa capacidade de retenção de água, permitindo a ocorrência da infiltração profunda logo nos primeiros dias de chuva. Em outras palavras, o escoamento em áreas de solo exposto tende a ser maior do que em áreas vegetadas, todavia, a lâmina d'água que vier a infiltrar nessas áreas, tornar-se-á infiltração profunda rapidamente devido à baixa capacidade de retenção.

As áreas vegetadas, no entanto, apresentam alta capacidade de retenção, principalmente nas regiões onde as raízes estão concentradas. Nessas áreas, a precipitação é interceptada pela vegetação e infiltra no solo lentamente, o que retarda o início da contribuição para a recarga dos aquíferos subterrâneos. Além disso, o significativo volume de água evapotranspirado nas áreas vegetadas também contribui para o retardo da infiltração profunda. A alta capacidade de retenção de água nos solos nas áreas florestadas, somada ao baixo volume escoado, é importante para garantir a disponibilidade de água no período de estiagem.

Apesar da infiltração profunda se dar de forma mais lenta nas áreas vegetadas no começo do período chuvoso, com o passar dos meses a lâmina infiltrada nessas regiões aumenta, e nos meses de novembro a janeiro passa a ser responsável pela principal parte do total infiltrado. Isso ocorre devido ao menor escoamento superficial existente nas áreas florestadas em relação às áreas de solo exposto, o que faz com que maior quantidade de água fique disponível para a infiltração.

Com o fim do período de chuvas, as áreas de solo exposto continuam contribuindo e as áreas florestadas já apresentam redução na infiltração, já que o volume de água perdida por evapotranspiração é mantido, e o volume precipitado é reduzido. No mês de abril, por exemplo, as pequenas frações que continuam contribuindo para infiltração são as regiões de solo exposto.

CONCLUSÕES

O modelo BALSEQ mostrou-se passível de aplicação em microbacia de região cárstica, permitindo a estimativa da infiltração profunda ao longo dos anos, e a avaliação da sua dinâmica temporal. A determinação dessa variável pode se mostrar importante em uma gestão eficiente dos recursos hídricos, essencial em áreas cársticas, dada a elevada vulnerabilidade à poluição.

A observação da contribuição individualizada de cada forma de uso e ocupação do solo ressaltou ainda a importância da conservação de áreas florestadas para a manutenção da disponibilidade de água em períodos de estiagem, devido à sua significativa contribuição para a recarga dos aquíferos subterrâneos.

A discriminação da contribuição de recarga para cada tipo e uso do solo pode ainda, prover subsídios à tomada de decisões visando o uso sustentável dos recursos ambientais da região, à medida que torna possível a avaliação do balanço hídrico a partir do estabelecimento de cenários de alterações no uso do solo, por exemplo, como o aumento da urbanização da região e conseqüente crescimento de áreas impermeabilizadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AHMAD, M. D., Estimation of Net Groundwater Use in Irrigated River Basins Using Geo-Information Techniques: A Case Study in Rechna Doab, Pakistan. 2002. 160f. Tese (Doutorado na Wageningen University). Ensched, Holanda. 2002.
2. CHACHADI, A.G., RAIKAR, P.S., LOBO FERREIRA, J.P., OLIVEIRA, M.M. GIS and Mathematical Modelling for the Assessment of Groundwater Vulnerability to Pollution: Application to an Indian Case Study Area in Goa. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa: 2001, 69p.
3. DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. Necessidade hídrica das culturas. Campina Grande: UFPB, 1997. 204p.
4. EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 306p, 2006.
5. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Crop Evapotranspiration - Guidelines for Computing Crop Water Requirements – FAO Irrigation and Drainage Paper 56, 2005.
6. HARDT, R. Sistema Cárstico e Impactos Antrópicos: Considerações sobre o manejo. In SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1. 2008, Rio Claro. Anais Trabalhos Completos – VIII Seminário de Pós-Graduação em Geografia da Unesp. Rio Claro: SIMPGEO-SP, 2008.
7. LOBO FERREIRA, J.P. Mathematical Model for the Evaluation of the Recharge of Aquifers in Semiarid Regions with Scarce (Lack) Hydrogeological Data". Proceedings of Euromech 143/2-4. Rotterdam: 1981.
8. LOPES, J.D.S.; LIMA, F.Z. de; OLIVEIRA, F.G. Irrigação por aspersão convencional. Viçosa: Aprenda Fácil, 2009. 333p.
9. MENESES, I. C. R. R. C., Análise Geossistêmica na Área de Proteção Ambiental (APA) Carste Lagoa Santa, MG. 2003. 187f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2003.
10. OLIVEIRA, M. M. Aplicação de Dois Métodos Diferentes para a Estimativa da Recarga de Águas Subterrâneas numa Área de Estarreja. In: 7º Congresso da Água. Lisboa: 2004, 14 p.
11. PARALTA, E.A., OLIVEIRA, M.M., LUBCZYNSKI, M.W., RIBEIRO, L.F. Avaliação da Recarga do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja Segundo Critérios Múltiplos – Disponibilidades Hídricas e Implicações Agro-ambientais. In: 6º SILUSBA – Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa. Cabo Verde, p. 501-516, 2003.
12. SILVA, M. D. F. M., CALIJURI, M. L., CAMARGO, R. A., ALVES, H. O., SANTIAGO, A. F. Uso de Geoprocessamento para Refinamento do Mapa de Solos na Apa Carste Lagoa Santa – MG. 24º Congresso Brasileiro de Cartografia, Aracajú, Sergipe, 2010.