



## ESTIMATIVA DA RECARGA AQUIFERA NA BACIA DO RIO RIACHÃO, NORTE DE MINAS GERAIS

### RECHARGE AQUIFER ESTIMATION IN RIACHÃO RIVER BASIN, NORTHERN MINAS GERAIS STATE

Lilian Catone Soares<sup>1</sup>, Leila Nunes Menegasse Velásquez<sup>2</sup>

Artigo recebido em: 19/10/2012 e aceito para publicação em: 14/08/2013.

**Abstract:** This study was conducted in Riachão River basin, northern Minas Gerais. The region is part of the geological context of the São Francisco Craton and covers Neoproterozoic carbonate rocks alternating with terrigenous rocks of Bambuí Group, and Late Cretaceous sandstones Urucua Group. These rocks form, respectively, a fissure-karst and granular hydrogeological systems. The intensive use of surface water and groundwater by farmers in the high Riachão basin culminated in a intermittency from the late 1980's and caused conflicts over water use between large and small farmers, which led the water agency to technical and legal interventions. The present study aims to contribute to planning initiatives of water resources through studies estimates of aquifer recharge. Four different methods were applied for triennium 2007- 2010 and compared. The values obtained for recharging the precipitation resulted in two levels of relative magnitude: 2-7% - Meyboom, the approach flow base and WTF methods, and 2- 27% - water budget method. The application of different methods allowed for the estimation of recharge minimum and maximum expected for the area, and by evaluating the advantages and limitations of each method.

**Keywords:** Riachão river. Recharge. Karstic-fissured carbonate aquifer.

**Resumo:** A região deste estudo insere-se no contexto geotectônico do cráton São Francisco e abrange as rochas neoproterozóicas carbonáticas, alternadas com terrígenos, do Grupo Bambuí e os arenitos neocretácicos do Grupo Urucua. Estas rochas constituem, respectivamente, os sistemas hidrogeológicos cárstico-fissural e granular. O uso intensivo da água superficial e subterrânea por produtores agrícolas no alto da bacia do rio Riachão levou à sua intermitência a partir do final da década de 1980 e provocou conflitos pelo uso da água entre grandes e pequenos produtores rurais, levando o órgão estadual competente a realizar intervenções técnicas e legais na bacia. O presente trabalho visa contribuir com as iniciativas de planejamento dos recursos hídricos por meio de estudos estimativos da recarga aquífera. Quatro diferentes métodos foram aplicados para os triênios 2007 a 2010 e comparados entre si. Os valores de recarga obtidos em relação à precipitação resultaram em dois níveis relativos de magnitude: de 2 a 7% - métodos Meyboom (ou Recessão Sazonal), Aproximação pelo Fluxo de Base e WTF (Water Table Fluctuation); e de 2 a 27% - método do Balanço hídrico. A aplicação de diferentes métodos possibilitou a estimativa de recarga mínima e máxima esperada para área, e a avaliação de vantagens e limitações de cada método.

**Palavras-chave:** Rio Riachão. Recarga. Aquífero cárstico-fissural.

## INTRODUÇÃO

Em estudos da zona não saturada, os termos infiltração e percolação são usados para descrever o movimento das águas abaixo da zona radicular, e esses termos são frequentemente utilizados como sinônimos para recarga. O termo recarga é amplamente definido como a água que alcança um aquífero a partir de uma direção, para baixo, para cima ou lateralmente (LERNER 1997, apud SCANLON et al. 2002). Scanlon et al. (2002) enfatiza a recarga como o movimento vertical descendente das águas através do nível freático.

A recarga difusa, ou direta, ocorre sobre grandes áreas, derivada da precipitação ou irrigação; a recarga localizada refere-se àquela concentrada em depressões topográficas, tais como rios, lagos e planícies (LERNER, 1997 apud SCANLON et al. 2002). Rushton (1997 apud SCANLON et al. 2002) também distingue a recarga real, estimada através de estudos de águas subterrâneas que alcançam o nível freático, da recarga potencial, que consiste na água infiltrada que pode ou não alcançar o nível freático, em função de processos que ocorrem

<sup>1</sup> Universidade Federal de Minas Gerais/Instituto de Geociências- UFMG/IGC (lilian.catone@gmail.com).

<sup>2</sup> Universidade Federal de Minas Gerais/Instituto de Geociências- UFMG/IGC (menegasse@yahoo.com.br).

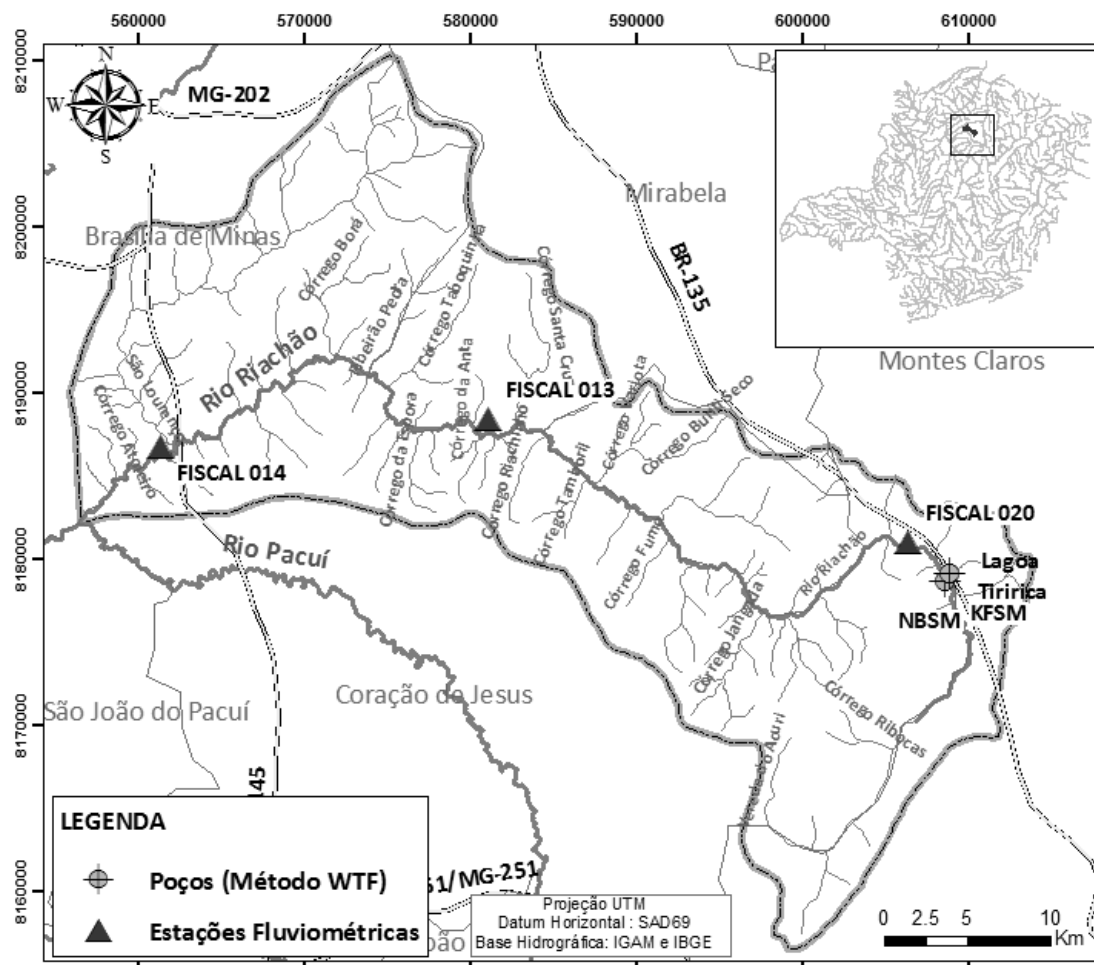
na zona não-saturada.

Diversos métodos são propostos para se estimar a recarga aquífera e incluem métodos de balanço hídrico, de hidrogramas, traçadores ambientais e químicos, etc.

O objetivo principal desse estudo foi a estimativa da recarga aquífera na área de abrangência da bacia do Rio Riachão, através de quatro métodos: *Balanço Hídrico*, *Recessão Sazonal* (MEYBOOM, 1961), *Flutuação do*

*nível d'água* (Water-Table Fluctuation – WTF) e *Aproximação pelo fluxo de base*.

O rio Riachão é um afluente da margem direita do rio Pacuí, que deságua, por sua vez, na margem direita do rio São Francisco, no norte de Minas Gerais. Seu curso principal define o limite dos municípios Montes Claros, Coração de Jesus, Brasília de Minas e Mirabela (Figura 1).



**Figura 1** - Localização da bacia hidrográfica do Rio Riachão no estado de Minas Gerais

**Figure 1** - Location of Riachão River basin in the state of Minas Gerais

A bacia do Riachão caracteriza-se por um histórico de escassez e conflitos pelo uso da água. Segundo Afonso & Junior (2006), a intermitência do rio Riachão aconteceu no final da década de 1980, marcando o conflito pelo acesso à água na bacia. Centenas de famílias fazem uso da água do rio para irrigação de hortaliças, lavoura de subsistência, abastecimento humano e criação de animais. Os moradores locais sofrem com a diminuição das águas do rio no período de estiagem, que se torna intermitente em certos pontos, devido à degradação ambiental e à grande exploração em

suas nascentes com fins de irrigação. Interesses opostos, com dois lados extremamente divergentes, ocasionaram uma disputa entre agricultores empresariais e populações tradicionais (AFONSO & JUNIOR, 2006).

Para resolver os conflitos na bacia, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM realizou diversas intervenções, que incluíram a revegetação das margens, suspensão de outorgas, construção de barraginhas para controlar a vazão e a instalação de uma rede de monitoramento (IGAM, 2005a; IGAM, 2005b; IGAM, 2005c). Os dados hidrológicos, obtidos

através desta rede de monitoramento, foram disponibilizados pelo IGAM e serviram de base para a realização desse trabalho. Os resultados obtidos correspondem a um cenário posterior as intervenções antrópicas realizadas na bacia.

### CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A bacia hidrográfica do rio Riachão possui 1122 km<sup>2</sup> e insere-se no contexto geológico da Bacia Sedimentar do São Francisco, que corresponde à porção sul do cráton homônimo, atuando como bacia de deposição para as rochas do Supergrupo Espinhaço (paleo/mesoproterozóico), Super-grupo São Francisco (neoproterozóico), Grupo Santa Fé (permo-carbonífera), Grupo Areado, Grupo Mata da Corda e Grupo Urucuia (cretácicos) (ALKMIM & MARTINS-NETO, 2001).

Afloram na área de estudo as unidades neoproterozóicas pelito-carbonáticas do Grupo Bambuí (Supergrupo São Francisco), com predomínio de rochas da Formação Lagoa do Jacaré, sobrepostas pelas rochas siliclásticas do Grupo Urucuia e pelas Coberturas Cenozoicas.

Segundo Alkmim & Martins-Neto (2001), o Grupo Bambuí constitui um pacote de rochas carbonáticas alternadas com terrígenos, dividido, da base para o topo, nas Formações: I) Carrancas (conglomerados e diamictitos); II) Sete Lagoas (margas, calcilitos, calcarenitos, biolutitos); III) Serra de Santa Helena (folhelhos e ardósias); IV) Lagoa do Jacaré (calcarenitos oolíticos e oncolíticos, pelitos); V) Serra da Saudade (pelitos); VI) Três Marias (arcóseos, arenitos e conglomerados).

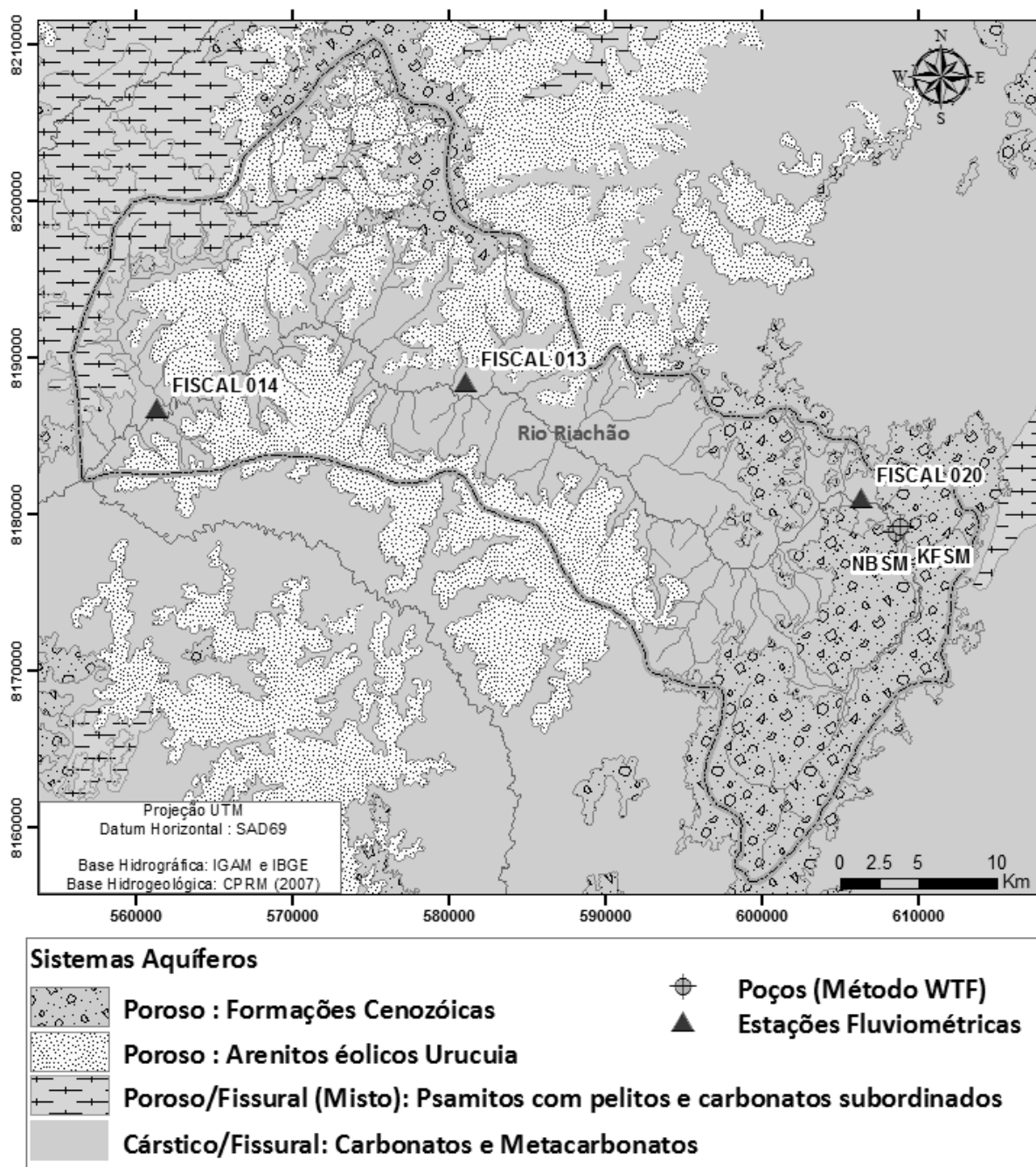
O Grupo Urucuia é constituído por uma sequência de arenitos eólicos na base que passam a arenitos aluviais no topo.

De acordo com CPRM (2007), ocorre na bacia um sistema aquífero superior poroso, de alto potencial hidráulico, formado pelos arenitos Urucuia e coberturas cenozoicas. Este sistema ocorre amplamente na bacia, com área de exposição de cerca de 55%. A recarga ocorre através da infiltração direta das águas de chuva devido à permeabilidade do sistema e ocorrência associada a superfícies planas a levemente onduladas. Sotoposto, ocorre um sistema cárstico-fissural, formado pelas rochas pelito-carbonáticas da Formação Lagoa do Jacaré, com cerca de 40% de abrangência em superfície. Seu

potencial hidráulico é influenciado pelo grau de fraturamento/carstificação e pela ocorrência de intercalações pelíticas. Neste sistema, as condições de recarga são mais efetivas e pontuais em áreas de afloramento fraturado e carstificado, em locais onde há drenança a partir dos aquíferos porosos sobrepostos, em pontos de aporte dos cursos d'água superficiais e nas zonas de absorção cárstica, propiciando a infiltração direta neste sistema. Afloramentos rochosos ocorrem, sobretudo, ao longo das drenagens sob a forma de lajedos. Ocorre ainda um sistema poroso-fissural de abrangência restrita ao extremo noroeste da bacia (cerca de 5 % da superfície da bacia), associado a rochas proterozóicas de natureza detrítica, e inclui psamitos e pelitos. O alto grau de litificação e compactação em rochas granulares confere um caráter misto ao sistema (Figura 2). Diferentes interpretações estratigráficas têm sido atribuídas a estas duas últimas litologias: CPRM (2007) associa os arenitos à Fm. Três Marias e os pelitos à Fm. Serra de Santa Helena; Martínez (2007) os relaciona à Fm. Três Marias e à Fm. Lagoa do Jacaré, e CODEMIG (2003), ao Grupo Urucuia e Subgrupo Paraopeba indiviso, respectivamente. Esta porção ainda requer maior investigação geológica.

A análise da capacidade específica de poços perfurados na Fm. Lagoa do Jacaré ao longo da bacia mostrou uma relação deste parâmetro com os litotipos. Observou-se que a capacidade específica reduz da montante para a jusante. No alto da bacia predominam os calcários mais puros e ocorrem maiores capacidades específicas (>10,0 L/s/m). Os calcários tornam-se mais impuros e com intercalações de siltitos em direção à porção média baixa da bacia, relacionando-se às capacidades específicas intermediárias (1,0 a 10,0 L/s/m). No baixo da bacia, ocorre uma variedade litológica maior, com rochas pelíticas e psamíticas, associando-se às capacidades específicas mais baixas (< 1,0 L/s/m).

A área se caracteriza por duas estações bem definidas, uma chuvosa (outubro a março), que concentra cerca de 90% da pluviometria total, e uma seca (abril a setembro). A precipitação média anual na bacia é de 1007,9 mm. A temperatura mínima anual é de 16,7° C, média de 22,4° C e máxima de 29,3° C.



**Figura 2** - Distribuição dos sistemas aquíferos

**Figure 2** - Distribution of aquifer systems

## MATERIAIS E MÉTODOS

### I) Método do balanço hídrico-climático

A bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume escoado pelo exutório, considerando-se como perdas intermediárias os volumes evaporados e transpirados e também os infiltrados profundamente (TUCCI, 2004). A equação simplificada do balanço hídrico pode ser escrita em termos da precipitação ( $P$ ), evapotranspiração real ( $ETR$ ), escoamento superficial ( $ES$ ) e infiltração ( $I$ ), como:

$P = ETR + ES + I$  e a recarga dada por  $I = P - ETR - ES$ . O balanço hídrico foi realizado para três anos hidrológicos: out/2007 a set/2008, out/2008 a set/2009 e out/2009 a set/2010.

### Precipitação

O cálculo da precipitação sobre a bacia foi realizado pelo método de *Thiessen*, ideal para ajustar a distribuição espacial não uniforme das estações pluviométricas utilizando-se um fator de ponderação para cada estação, ba-

seado no tamanho da área de drenagem de influência da estação (FETTER, 1994). Tais áreas são dadas pelos polígonos de Thiessen (fronteiras formadas pelas mediatrizes das linhas que unem duas estações adjacentes). A precipitação

média na bacia é dada então por:  $P_m = \sum W_i P_i$ , onde  $P_i$  é a chuva em cada estação e  $W_i$  é seu peso em área. Foram utilizadas as séries históricas de três estações pluviométricas (Tabela 1, Figura 5).

**Tabela 1** - Dados cadastrais das estações pluviométricas utilizadas no balanço-hídrico climatológico

**Table 1** - Cadastral data of rain gauge stations used in Water Budget Method

Código	Nome	Bacia	Sub-bacia	Município	Responsável/Operadora	Latitude/Longitude
1644027	Brasília de Minas - Jusante	Rio São Francisco (4)	Rios São Francisco, Uruçuia (43)	Brasília de Minas/MG	ANA/CPRM	-16:12:23 -44:25:31
1643037	Nova Esperança	Rio São Francisco (4)	Rios São Francisco, Verde Grande (44)	Montes Claros/MG	ANA/CPRM	-16:34:35 -43:56:36
1644028	São João da Vereda	Rio São Francisco (4)	Rios São Francisco, Paracatu (42)	Montes Claros/MG	ANA/CPRM	-16:42:9 -44:7:2

Fonte: Informações compiladas do HIDROWEB - Sistema de Informações Hidrológicas.

Dados disponíveis em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>

### Evapotranspiração Real

A Evapotranspiração Real foi obtida através de uma planilha elaborada por Rolim et al. (1998) que utiliza o método do balanço hídrico climatológico de Thornthwaite & Mather (1955, apud ROLIM et al., 1998) para o cálculo deste parâmetro. Os dados de entrada são: temperaturas médias do ar mensais, latitude, CAD (capacidade de água disponível) e precipitações mensais. As temperaturas mensais foram calculadas a partir da temperatura diária média do ar, denominada temperatura compensada, dada pela fórmula desenvolvida por Serra em 1938 (SERRA, 1974 apud VAREJÃO-SILVA, 2005), conforme explicado por Varejão-Silva (2005):

$$T_{comp} = (2 \times T_{00} + T_{12} + T_{max} + T_{min}) / 5$$

Onde:

$T_{comp}$  é a temperatura compensada;

$T_{00}$  é a temperatura lida às 0h;

$T_{12}$  é a temperatura lida às 12h;

$T_{max}$  é a temperatura máxima do dia;

$T_{min}$  é a temperatura mínima do dia.

Para a CAD adotou-se o valor usual de 100 mm, levando-se em conta os diferentes tipos (argiloso a arenoso) e usos (agricultura de subsistência e pastagem) do solo na área. A precipitação mensal foi aquela calculada pelo método de Thiessen.

### Escoamento Superficial

O escoamento superficial foi obtido pela separação de hidrograma de cada uma das três

estações selecionadas por meio do método analítico *Sliding Interval Method*, que se baseia no desenho sistemático de linhas conectadas entre dois pontos selecionados de baixa vazão no hidrograma (SLOTO & CROUSE, 1996). O método atribui um escoamento de base para cada registro diário, baseado na menor descarga encontrada dentro de um período fixo de tempo anterior e posterior àquele dia. O componente do escoamento de base de cada incremento de tempo é atribuído à vazão mínima registrada dentro do incremento (PETTYJOHN & HENNING, 1979; SLOTO & CROUSE, 1996; STEWART et al., 2007).

A magnitude do intervalo usado para a separação é calculada a partir da duração do escoamento superficial (N), um número inteiro ímpar entre 3 e 11 mais próximo para 2N (PETTYJOHN & HENNING, 1979). O valor de N é calculado empiricamente pela equação:  $N = 0.827A^{0.2}$ , onde: N é o número de dias entre o pico do hidrograma e o fim do escoamento superficial (início da recessão), A é a área da bacia em km<sup>2</sup> (FETTER, 1994; LINSLEY et al., 1975 apud TUCCI, 2004).

A vazão diária foi obtida pela curva chave vazão-cota (Q x h). A medição da relação vazão-cota é realizada com frequência mensal pelos técnicos do IGAM com o uso de molinetes. Foram utilizados os dados referentes a três estações fluviométricas localizadas no rio Riachão e monitoradas pelo IGAM (Tabela 2, Figura 1).

**Tabela 2** - Dados cadastrais das estações fluviométricas utilizadas no balanço-hídrico climatológico  
**Table 2** - Cadastral data gauging stations used in Water Budget Method

ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA	CÓDIGO	LATITUDE	LONGITUDE	LOCAL
Estação Ponte Alvação	FISCAL 013	S16°23'30,9"	W 44°14'29,2"	Médio Riachão
Estação Fazenda Fernão Dias	FISCAL 014	S16°24' 14,2"	W 44°25'36,0"	Baixo Riachão
Pau d' Óleo (jusante passagem) - Região Lagoa Tiririca	FISCAL 020	S16°27'12,8"	W 44°00'46,9"	Alto Riachão

## II) Método da Aproximação pelo Fluxo de Base

Conforme explicado por Risser et al. (2005) o fluxo de base é a parte da vazão do rio atribuída à vazão da água subterrânea. Embora o fluxo de base não seja exatamente a recarga, é utilizado como uma aproximação, quando as perdas de água subterrânea na bacia são consideradas mínimas. Quando usado como uma aproximação da recarga, o fluxo de base é, às vezes, referido como recarga efetiva, recarga de base ou recarga observável, para reconhecer que o fluxo de base provavelmente representa uma quantidade menor que aquela recarregada pelo aquífero. Assim, diferentes métodos para a separação do fluxo de base fornecerão resultados diferentes de recarga. A separação entre o fluxo de base e o escoamento superficial, neste estudo, foi feita pelo método *Sliding Interval Method*, conforme explicado anteriormente no método do Balanço Hídrico.

## III) Método da recessão sazonal ou de Meyboom (1961)

Em períodos de estiagem, a descarga dos rios é composta integralmente pelo influxo de águas subterrâneas, e declina segundo uma curva exponencial - período de recessão.

O método de Meyboom (1961), segundo Fetter (1994) é um método simples e eficaz para estimar a recarga aquífera numa bacia. O método pressupõe que não existam usos consuntivos de água subterrânea na bacia (como bombeamento de poços) e que a área de captação da bacia não tem nenhum impedimento (barragens) ou outros fatores que regulem a vazão dos rios.

A existência de barragens pode implicar que a estação fluviométrica não registre a reação natural das bacias aos episódios de precipitação. Contudo, os hidrogramas obtidos para as

estações utilizadas neste estudo mostram nitidamente os episódios de picos e de recessão. No método de Meyboom, utiliza-se um hidrograma semilogarítmico (eixo y da vazão) de dois anos consecutivos ou mais, exemplificado na Figura 3, no qual a recessão é indicada pelas linhas pontilhadas, reta da recessão do fluxo de base. A vazão subterrânea total potencial é o volume de água que seria descarregado durante uma recessão completa e seu valor pode ser calculado pela equação:

$$V_{tp} = \frac{Q_0 t_1}{2,3026}$$

Onde:

$V_{tp}$  é o volume potencial da água subterrânea ( $m^3$ );

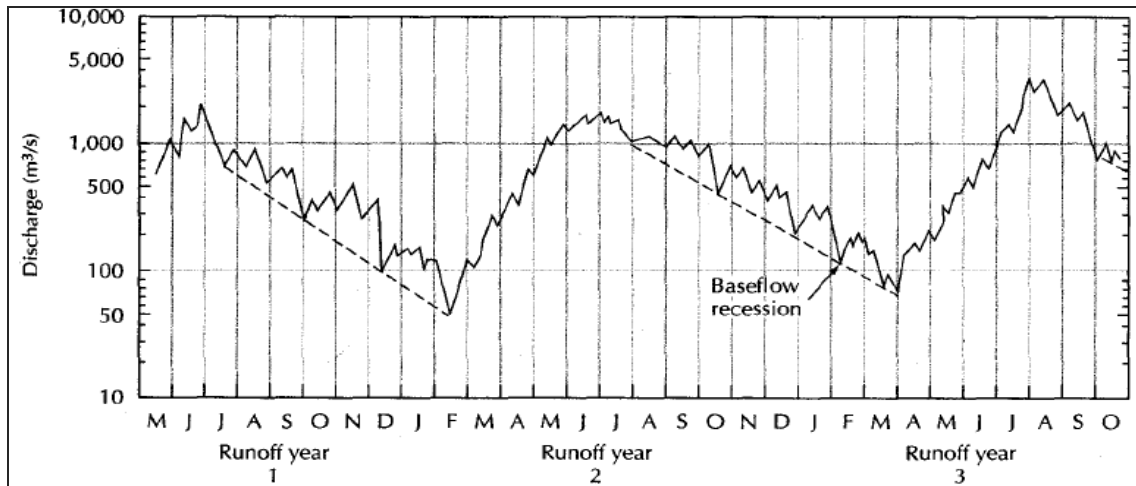
$t_1$  é o tempo que leva a vazão base de  $Q_0$  até  $0,1Q_0$ ;

$Q_0$  é a vazão que inicia a depleção do aquífero ( $m^3/s$ ).

Determinando-se o volume potencial de água subterrânea no final de uma recessão ( $V_t$ ) e o volume potencial da água subterrânea para a próxima recessão ( $V_{tp}$ ), a diferença entre as duas é a recarga da água subterrânea. A quantidade de fluxo de base potencial remanescente após o início da recessão, que dura um intervalo de tempo  $t$ , é dada por:

$$V_t = \frac{V_{tp}}{10^{\frac{t}{t_1}}}$$

O valor da recarga será, portanto, dado por: **Recarga** =  $V_{tp} - V_t$ .



**Figura 3** - Hidrograma hipotético semilogarítmico mostrando a recessão do fluxo de base

**Figure 3** - Semilogarithmic stream hydrograph showing baseflow recessions

Fonte: Fetter (1994)

#### IV) Método da Flutuação do Nível d'água (WTF Method)

De acordo com Healy & Cook (2002) e Delin et al. (2007) o método da variação do nível d'água (WTF) fornece uma estimativa da recarga através da análise da flutuação do nível d'água observada em poços. Baseia-se no pressuposto de que o aumento no nível d'água medido em poços é causado pela recarga que alcança o nível freático. A recarga é então calculada por:

$$R = S_y \frac{dH}{dt} = S_y \frac{\Delta H}{\Delta t}$$

Onde:

**R** é a recarga ocorrida entre os tempos  $t_0$  e  $t_j$  ( Figura 4);

**S<sub>y</sub>** é a vazão específica;

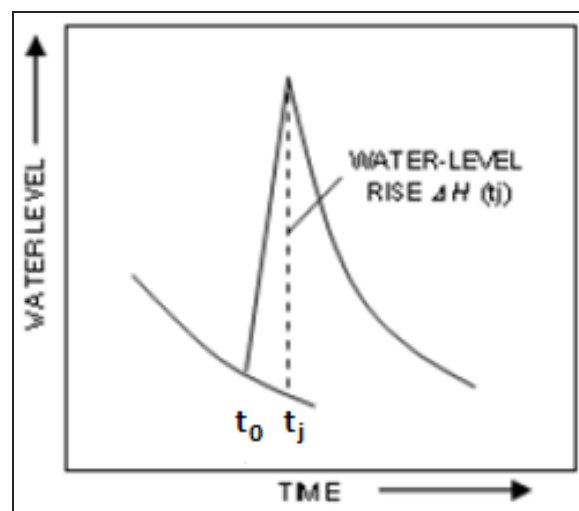
**ΔH** é o pico da elevação do nível d'água atribuído à recarga, calculado pela interseção entre o pico de elevação do nível d'água e o prolongamento da curva de recessão do período anterior ( Figura 4);

**Δt** é o tempo decorrido entre  $t_0$  e  $t_j$ .

Essa equação assume que a água que chega ao nível freático vai imediatamente para o armazenamento e que fatores como a variação do armazenamento e a evapotranspiração são nulos durante o período de recarga.

Este método foi aplicado em dois poços nomeados NBSM e KFSM, localizados na montante da bacia e dentro do domínio dos calcários (Figura 2). Os dados de nível d'água dos poços correspondem a medições realizadas com sonda manual entre os anos de 2007 e 2011. Os perfis construtivos e litológicos desses poços mostram que os mesmos estão completamente inseridos no domínio do calcário e não

mostram a ocorrência de coberturas detriticas. Logo, as variações do nível d'água são relacionadas ao aquífero cárstico. Os valores de porosidade efetiva ( $S_y$ ) utilizados foram calculados por Água (1999), que obteve valores entre 0,02 e 0,005 para essa região. Em função dessa faixa de valores de  $S_y$ , foi estimada uma recarga máxima (para  $S_y = 0,02$ ) e uma recarga mínima (para  $S_y = 0,005$ ).



**Figura 4** - Determinação da elevação do nível d'água

**Figure 4** - Determination of water-level rise

Fonte: USGS

<http://water.usgs.gov/ogw/gwrp/methods/wtf/>

## RESULTADOS

### I) Método do balanço hídrico-climático

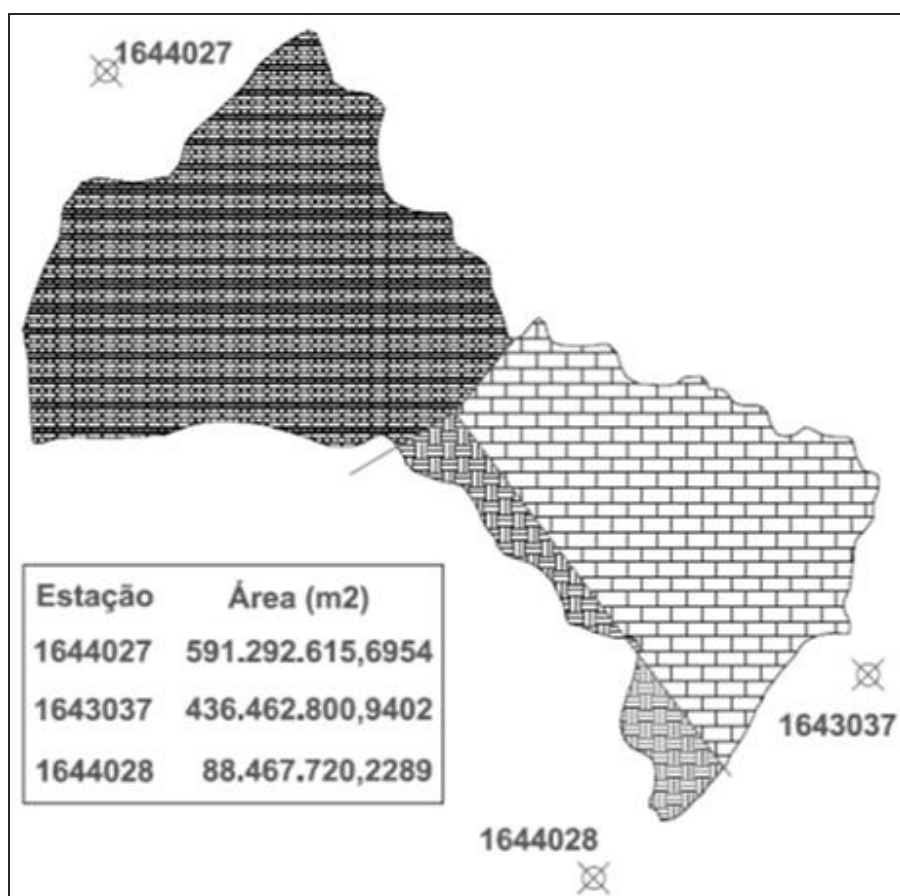
A partir dos polígonos de Thiessen definidos para a bacia (Figura 5), as precipitações médias para o triênio hidrológico considerado (2007/2008, 2008/2009 e 2009/2010) foram de 793, 1063 e 956 mm (Tabela 3). Um pluviôme-

tro instalado pelo IGAM no alto da bacia (região da Lagoa Tiririca) registrou 932 mm no ano de 2009/2010, valor apenas 2% menor àquele calculado pelo método de Thiessen, confirmando a eficácia do método para a escala de trabalho realizada.

Os valores de temperatura mensais, obtidas a partir das temperaturas compensadas foram comparadas com as normais climatológicas de Montes Claros (1969-1990), obtendo-se diferenças de 0,2% a 9,3% entre elas (Tabela 4).

Os resultados obtidos para ETR, bem como os valores de entrada de temperatura e de precipitação são apresentados na Tabela 5. A curva

chave cota-vazão utilizada para o cálculo das vazões diárias (Figura 6) foi a polinomial, pois apresentou melhor ajuste. Os parâmetros utilizados para a separação dos escoamentos básico e superficial são apresentados na Tabela 6. Consta-se que os escoamentos básico e subterrâneo representam, respectivamente, em média 75% e 25% do escoamento total (Tabela 7). A partir da equação básica do balanço hídrico e de posse dos parâmetros Precipitação, ETR e ES, foram obtidos os valores de recarga (I) para o triênio 2007 a 2010 (Tabela 8), os quais variaram de 2 a 27% da precipitação.



**Figura 5** - Localização das estações pluviométricas e representação dos polígonos de Thiessen com suas respectivas áreas

**Figure 5** - Location of rain gauge stations, and representation of Thiessen polygons with their respective areas

**Tabela 3** - Valores de precipitação mensal e anual na bacia (período 2007-2010) pelo método de Thiessen  
**Table 3** - Values of monthly and annual rainfall in the basin (2007-2010) by the method of Thiessen

Ano Hidrológico	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	Total
2007/2008	17,7	119,3	110,0	123,1	117,4	170,2	109,6	4,9	0,0	0,0	0,0	20,5	792,8
2008/2009	3,7	231,5	272,5	218,3	93,0	107,1	80,4	9,3	5,2	0,2	0,5	41,2	1062,8
2009/2010	239,1	59,0	240,0	48,7	46,7	189,4	77,1	35,2	0,0	0,0	0,2	20,6	955,9



**Tabela 4** - Temperaturas médias mensais calculadas a partir das temperaturas diárias compensadas e comparação com as Normais Climatológicas (1969-1990)

**Table 4** - Monthly average temperatures calculated from the daily temperatures and compensated compared to Climatological Normals (1969-1990)

Ano Hidrológico	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET
2007/2008	24,44	25,86	23,93	23,48	23,53	22,55	22,46	19,61	18,16	17,21	19,54	22,24
2008/2009	25,23	24,01	22,78	23,14	23,46	23,98	21,94	19,40	18,98	18,71	20,01	23,73
2009/2010	24,03	23,92	23,30	23,68	24,44	23,27	21,44	20,50	17,64	18,40	18,66	21,88
Média (2007-2010)	24,57	24,59	23,34	23,43	23,81	23,27	21,94	19,84	18,26	18,11	19,40	22,62
Normais climatológicas (1969-1990)	23,7	23,4	23,3	23,5	24,0	24,4	22,7	21,2	19,7	19,4	21,2	22,7
Diferença percentual	3,5%	4,9%	0,2%	0,3%	0,8%	4,9%	3,4%	6,9%	7,9%	7,1%	9,3%	0,4%

**Tabela 5** - Resultados dos parâmetros do balanço hídrico-climatológico (continua)

**Table 5** - Results of the parameters of the Water Budget Method

ANO HIDROLÓGICO 2007/2008				
MÊS	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)
Out	24,44	17,68	116,35	21,61
Nov	25,86	119,26	134,62	119,59
Dez	23,93	110,04	117,26	110,18
Jan	23,48	123,14	112,34	112,34
Fev	23,53	117,41	100,20	100,20
Mar	22,55	170,16	96,81	96,81
Abr	22,46	109,63	89,06	89,06
Mai	19,61	4,94	62,97	48,97
Jun	18,16	0,00	48,80	21,61
Jul	17,21	0,04	43,75	12,21
Ago	19,54	0,00	61,40	10,18
Set	22,24	20,54	85,38	26,27
<b>TOTAIS</b>	<b>263,01</b>	<b>792,84</b>	<b>1068,93</b>	<b>769,03</b>
ANO HIDROLÓGICO 2008/2009				
MÊS	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)
Out	25,23	3,71	125,83	7,56
Nov	24,01	231,50	111,34	111,34
Dez	22,78	272,50	103,12	103,12
Jan	23,14	218,30	107,79	107,79
Fev	23,46	92,96	99,13	98,94
Mar	23,98	107,12	112,63	112,16
Abr	21,94	80,35	83,38	83,01
Mai	19,40	9,34	60,58	43,95
Jun	18,98	5,19	53,88	25,12
Jul	18,71	0,16	53,32	13,26
Ago	20,01	0,48	64,60	9,32
Set	23,73	41,23	100,13	45,61
<b>TOTAIS</b>	<b>265,37</b>	<b>1062,82</b>	<b>1075,72</b>	<b>761,17</b>

**Tabela 5** - Resultados dos parâmetros do balanço hídrico-climatológico (conclusão)**Table 5** - Results of the parameters of the Water Budget Method

ANO HIDROLÓGICO 2009/2010				
MÊS	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)
Out	24,03	239,07	111,80	111,80
Nov	23,92	58,97	110,98	99,53
Dez	23,30	240,01	110,14	110,14
Jan	23,68	48,68	115,16	97,24
Fev	24,44	46,72	110,52	70,98
Mar	23,27	189,45	105,15	105,15
Abr	21,44	77,05	79,74	79,71
Mai	20,50	35,17	70,98	64,47
Jun	17,64	0,00	45,93	25,06
Jul	18,40	0,00	52,42	17,54
Ago	18,66	0,16	55,33	10,95
Set	21,88	20,59	82,45	27,35
TOTAIS	261,15	955,88	1050,61	819,92

**Tabela 6** - Parâmetros utilizados na separação dos hidrogramas através do *Sliding Interval Method***Table 6** - Parameters used in the separation of hydrographs through the *Sliding Interval Method*

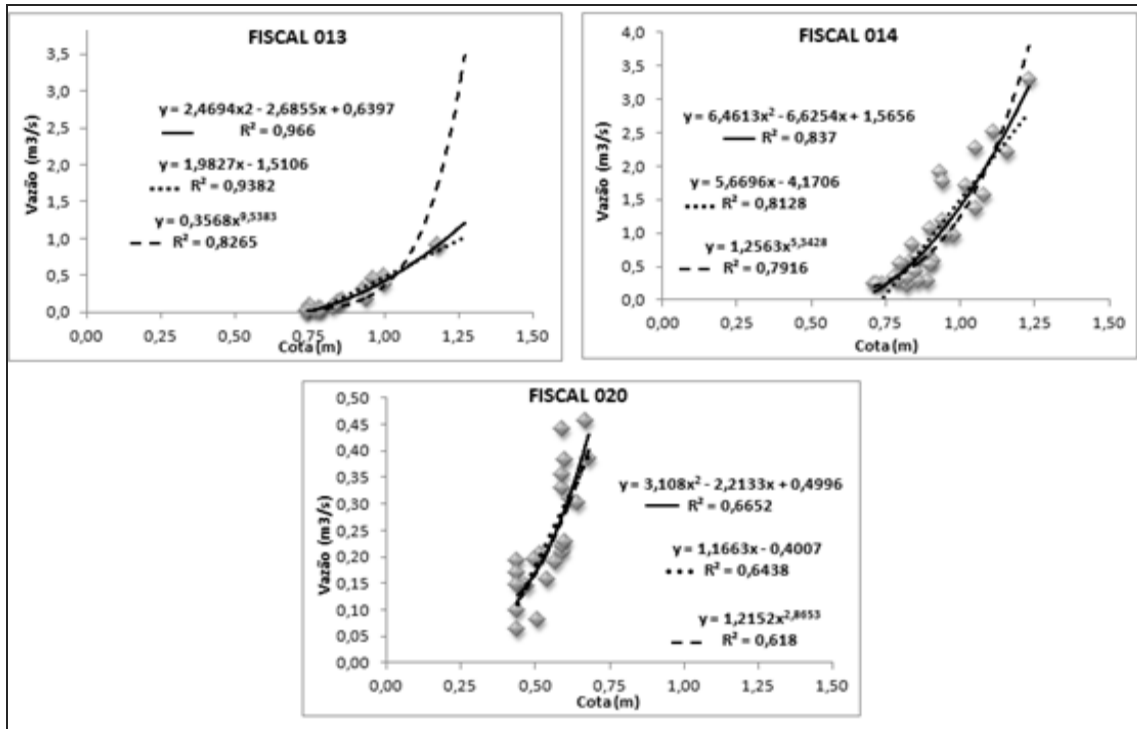
Estação	Área de drenagem (Km <sup>2</sup> )	Duração do escoamento superficial (N) (dias)	Magnitude do Intervalo 2N (dias)
FISCAL 13	600,0	2,984	7
FISCAL 14	1122,0	3,369	7
FISCAL 20	191,0	2,364	5

**Tabela 7** - Valores calculados de escoamento de base e superficial (mm/ano) para as estações**Table 7** - Calculated values of base flow and surface runoff (mm/year) for the gauging stations

Ano Hidrológico	FISCAL 13				FISCAL 14				FISCAL 20			
	EB	EB (%)	ES	ES (%)	EB	EB (%)	ES	ES (%)	EB	EB (%)	ES	ES (%)
2007/2008	43,50	83%	8,77	17%	14,16	75%	4,69	25%	-	-	-	-
2008/2009	78,59	85%	13,66	15%	32,89	54%	28,24	46%	-	-	-	-
2009/2010	57,18	77%	17,03	23%	21,79	64%	12,39	36%	43,390	86%	6,92	14%

**Tabela 8** - Valores de recarga calculados pelo balanço hídrico**Table 8** - Calculated values of recharge by the Water Budget Method

Ano Hidrológico	P (mm)	ETR (mm)	ES (mm)			I = P - ETR - ES (mm)			Percentual da precipitação		
			Fiscal 13	Fiscal 14	Fiscal 20	Fiscal 13	Fiscal 14	Fiscal 20	Fiscal 13	Fiscal 14	Fiscal 20
2007/2008	792,8	769,0	8,8	4,7	-	15,0	19,1	-	1,9%	2,4%	-
2008/2009	1062,8	761,2	13,7	28,2	-	288,0	273,4	-	27,1%	25,7%	-
2009/2010	955,9	819,9	17,0	12,4	6,92	118,9	123,6	129,0	12,4%	12,9%	13,5%



**Figura 6 -** Curvas-chaves das estações fluviométricas  
**Figure 6 -** Stage-discharge relation at the gauging stations

**II) MÉTODO DA APROXIMAÇÃO PELO FLUXO DE BASE**

Os valores de escoamento de base foram obtidos a partir da separação do escoamento realizado para o Balanço Hídrico. Os resultados obtidos varia-

ram de 14,2 a 79,6 mm/ano, correspondentes, respectivamente de 2% a 7% da precipitação anual (Tabela 9).

**Tabela 9 -** Resultados de fluxo de base nas estações fluviométricas utilizadas  
**Table 9 -** Results of base flow at the gauging stations

Ano Hidrológico	Precipitação anual (mm)	FISCAL 13		FISCAL 14		FISCAL 20	
		Fluxo de Base (mm)	% da precipitação	Fluxo de Base (mm)	% da precipitação	Fluxo de Base (mm)	% da precipitação
2007/2008	792,8	43,5	5%	14,2	2%	-	-
2008/2009	1062,8	78,6	7%	32,9	3%	-	-
2009/2010	955,9	57,2	6%	21,8	2%	43,4	5%

**III) MÉTODO DA RECESSÃO SAZONAL OU MÉTODO DE MEYBOOM (1961)**

O método de Meyboom (1961) foi aplicado para as estações FISCAL013 e FISCAL014, já que a estação FISCAL020 só possui dados de um ano hidrológico. Os valores de  $Q_0$  foram identificados nos hidrogramas (Figura 7 e Figura 8) a partir da vazão de pico e o valor de N (Tabela 6).

**ESTAÇÃO FISCAL 014**

O valor de  $Q_0$  para a primeira recessão (2007/2008) é  $Q_0 = 1,40 \text{ m}^3/\text{s} = 1,21 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{dia}$  e leva o tempo  $t_1$  de 182 dias para alcançar a vazão  $0,1Q_0$  (Figura 7). O volume potencial total da vazão de água subterrânea  $V_{tp}$  é dado por:

$$V_{tp} = \frac{Q_0 t_1}{2,3026} = V_{tp}^{2007/2008} = \frac{(1,21 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{dia} \times 182 \text{ dias})}{2,3026} = 9,57 \times 10^6 \text{ m}^3$$

O valor de  $V_t$  ao final da recessão, que leva o tempo  $t$  de 238 dias, é dado por:

$$V_t = \frac{V_{tp}}{10^{\frac{t}{182}}} \rightarrow V_t^{2007/2008} = \frac{9,57 \times 10^6 \text{ m}^3}{10^{(238 \text{ dias}/182 \text{ dias})}} = 4,71 \times 10^5 \text{ m}^3$$

Para a próxima recessão (2008/2009), o valor de  $Q_0 = 2,40 \text{ m}^3/\text{s} = 2,08 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{dia}$ , e leva o tempo  $t_1$  de 202 dias para alcançar a vazão

aproximada de  $0,1Q_0$ . O volume potencial total da vazão de água subterrânea  $V_{tp}$  é dado por:

$$V_{tp} = \frac{Q_0 t_1}{2,3026} = V_{tp}^{2008/2009} = \frac{(2,08 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{dia} \times 202 \text{ dias})}{2,3026} = 1,83 \times 10^7 \text{ m}^3$$

A recarga é igual ao volume remanescente ao fim da primeira recessão ( $V_t$ ) subtraído do

volume potencial total ( $V_{tp}$ ) para o início da próxima recessão, ou seja:

$$\text{Recarga} = V_{tp}^{2008/2009} - V_t^{2007/2008} = 1,83 \times 10^7 \text{ m}^3 - 4,71 \times 10^5 \text{ m}^3 = 1,78 \times 10^7 \text{ m}^3$$

Considerando-se a área de drenagem da estação FISCAL014 como a área total de influência da bacia, conforme definido anteriormente, com um valor de  $1122 \text{ km}^2$ , a recarga em mm é dada por

$$\text{Recarga} = \frac{1,78 \times 10^7 \text{ m}^3}{1122 \times 10^6 \text{ m}^2 \times 10^3} \approx 16 \text{ mm}$$

Este valor corresponde a 1,5% da precipitação de 2008/2009 (1062,82 mm).

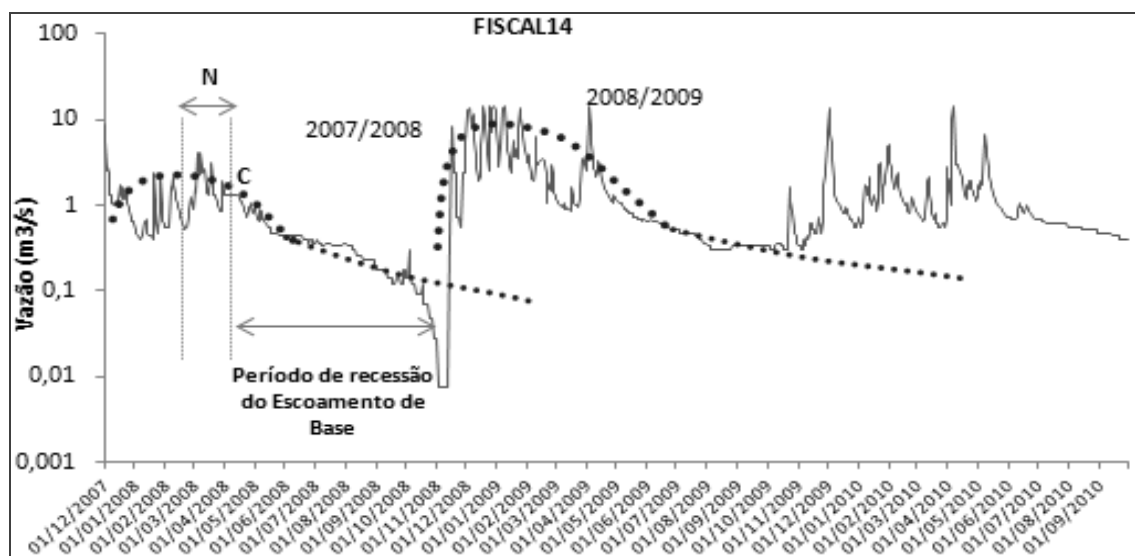


Figura 7 - Hidrograma da estação fluviométrica FISCAL14

Figure 7 - Gauging station FISCAL14 Hydrograph

### ESTAÇÃO FISCAL 013

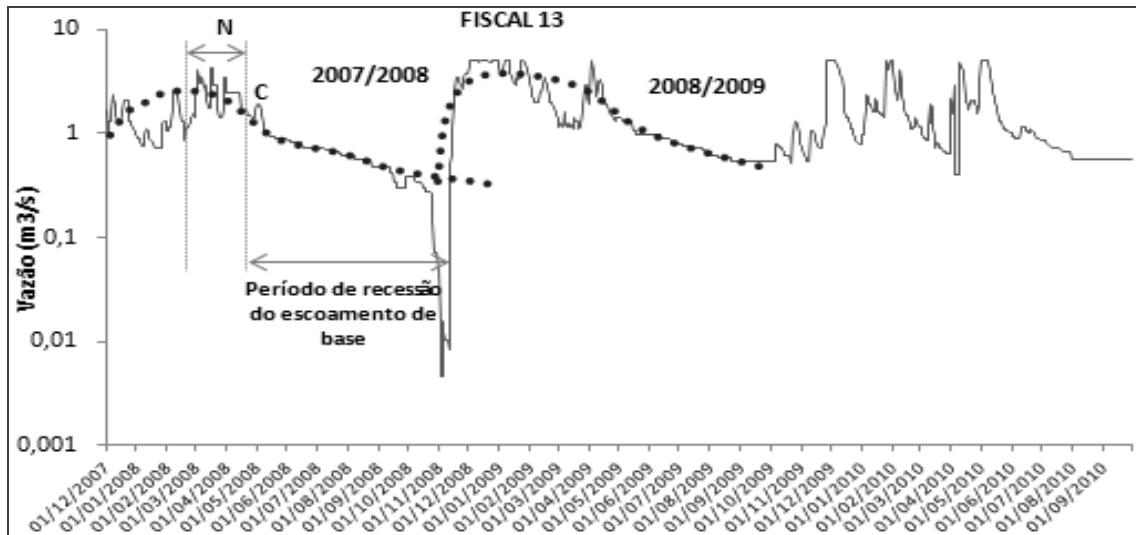
O valor de  $Q_0$  para a primeira recessão (2007/2008) é  $Q_0 = 1,44 \text{ m}^3/\text{s} = 1,24 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{dia}$  e leva o tempo  $t_1$  de 215 dias para alcançar a

$0,1Q_0$  (Figura 8). O volume potencial total da vazão de água subterrânea  $V_{tp}$  é dado por:

$$V_{tp} = \frac{Q_0 t_1}{2,3026} = V_{tp}^{2007/2008} = \frac{(1,24 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{dia} \times 215 \text{ dias})}{2,3026} = 1,16 \times 10^7 \text{ m}^3$$

O valor de  $V_t$  ao final da recessão, que leva o tempo  $t$  de 227 dias, é dado por:

$$V_t = \frac{V_{tp}}{10^{\frac{t}{215}}} = V_t^{2007/2008} = \frac{1,16 \times 10^7 \text{ m}^3}{10^{(227 \text{ dias}/215 \text{ dias})}} = 1,02 \times 10^6 \text{ m}^3$$



**Figura 8 -** Hidrograma da estação fluviométrica FISCAL13  
**Figure 8 -** Gauging station FISCAL13 Hydrograph

Para a próxima recessão (2008/2009), o valor de  $Q_0 = 3,60 \text{ m}^3/\text{s} = 3,10 \times 10^5 \text{ m}^3$ , e leva o tempo  $t_1$  de 221 dias para alcançar a vazão apro-

$$V_{tp} = \frac{Q_0 t_1}{2.3026} = V_{tp}^{2008/2009} = \frac{(3,60 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{dia} \times 221 \text{ dias})}{2,3026} = 2,98 \times 10^7 \text{ m}^3$$

A recarga é igual ao volume remanescente ao fim da primeira recessão ( $V_t$ ) subtraído do volume

$$\text{Recarga} = V_{tp}^{2008/2009} - V_t^{2007/2008} = 2,98 \times 10^7 \text{ m}^3 - 1,02 \times 10^6 \text{ m}^3 = 2,88 \times 10^7 \text{ m}^3$$

Para a área de drenagem da estação FISCAL013, considera-se toda a área de influência da bacia compreendida entre a localização da estação e a montante, conforme definido anteriormente, com um valor de  $600 \text{ km}^2$ . Dessa forma, a recarga em mm é dada por:

$$\text{Recarga} = \frac{4,26 \times 10^7 \text{ m}^3}{600 \times 10^6 \text{ m}^2 \times 10^3} = 47,93 \text{ mm}$$

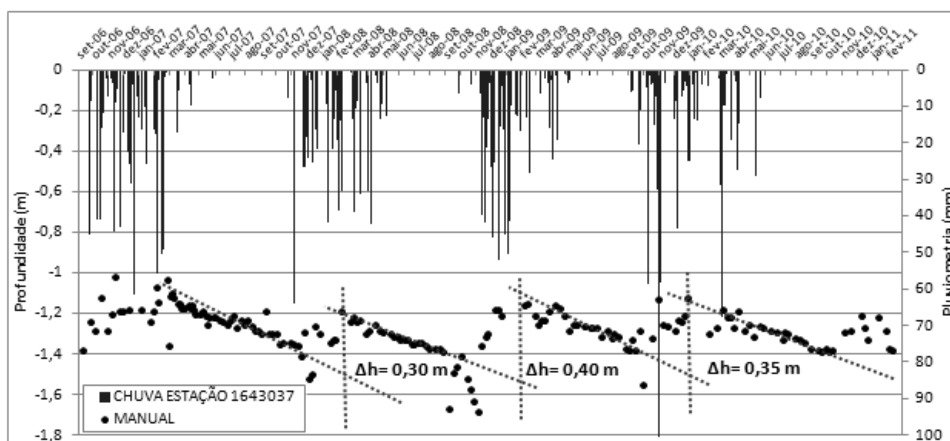
Este valor corresponde a **4,5%** da precipitação de 2008/2009 (1062,82 mm).

ximada de  $0,1Q_0$ . O volume potencial total da vazão de água subterrânea  $V_{tp}$  é dado por:

potencial total ( $V_{tp}$ ) para o início da próxima recessão, ou seja:

#### IV) MÉTODO DA FLUTUAÇÃO DO NÍVEL D'ÁGUA

A partir dos três picos e elevação do nível d'água (atribuídos à recarga) para o poço profundo NBSM (Figura 9) e dos dois picos para o poço profundo KFSM (Figura 10), ambos no aquífero cárstico-fissural no alto Riachão, obteve-se uma variação do nível d'água entre 0,30 e 0,47m (Tabela 10 e Tabela 11). Tais valores correspondem a uma recarga de 1 a 4% da precipitação.



**Figura 9 -** Gráfico da variação do nível d'água no poço NBSM  
**Figure 9 -** Water level variations at the NBSM well

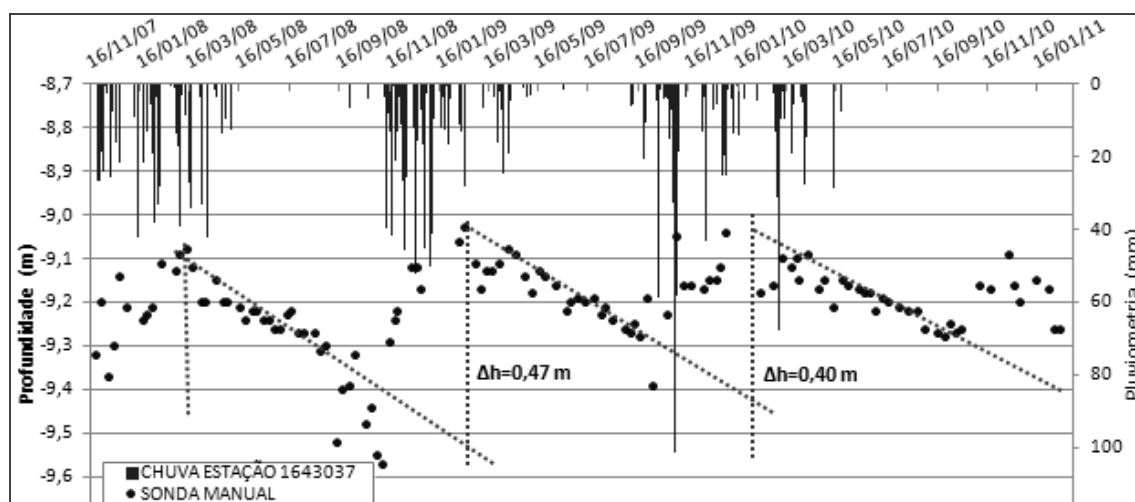


Figura 10 - Gráfico da variação do nível d'água no poço KFSM

Figure 10 - Water level variations at the KFSM well

Tabela 10 - Resultados obtidos para o poço NBSM

Table 10 - Results obtained for the well NBSM

Parâmetro	Unidade	Pico 1 (2007/2008)	Pico 2 (2008/2009)	Pico 3 (2009/2010)
Precipitação	mm/ano	792,8	1062,8	955,9
$\Delta h$	m	0,3	0,4	0,35
$\Delta t$	dias	67	92	63
$Sy_{\min}$	-	0,005	0,005	0,005
$R_{\min}$	mm/ano	8,17	7,93	10,14
% da Precipitação	-	1%	1%	1%
$Sy_{\max}$	-	0,020	0,020	0,020
$R_{\max}$	mm/ano	32,69	23,80	34,76
% da Precipitação	-	4%	2%	4%

Tabela 11 - Resultados obtidos para o poço KFSM

Table 11 - Results obtained for the well KFSM

Parâmetro	Unidade	Pico 1 (2008/2009)	Pico 2 (2009/2010)
Precipitação	mm/ano	1062,8	955,9
$\Delta h$	m	0,470	0,400
$\Delta t$	dias	133	123
$Sy_{\min}$	-	0,005	0,005
$R_{\min}$	mm/ano	6,45	5,94
% da Precipitação	-	1%	1%
$Sy_{\max}$	-	0,020	0,020
$R_{\max}$	mm/ano	25,80	23,74
% da Precipitação	-	2%	2%

## DISCUSSÕES

De modo geral, os métodos utilizados possibilitaram uma avaliação temporal da recarga através dos anos hidrológicos, e, portanto, uma estimativa da recarga sazonal. Estes métodos utilizam medidas diretas ou indiretas de variáveis envolvidas no ciclo hidrológico. Para a área de estudo resultaram em taxas de recarga entre 2 e 27% em relação a precipitação (Tabela 12).

O método Balanço hídrico tem a vantagem de avaliar o balanço de água no sistema (bacia hidrográfica) através dos principais parâme-

tros de entrada e saída d'água. Contudo, o sucesso do método depende da correta avaliação e dimensionamento de cada parâmetro e da representatividade dos dados utilizados. Mesmo para a Pluviometria, cujos dados são obtidos diretamente através de equipamentos específicos, é necessária a aplicação de um método para se determinar o valor médio na bacia. Para o cálculo da ETR, é necessário, a priori, o cálculo da temperatura compensada mensal e também da pluviometria mensal. Já para o ES é necessária a confecção de

um hidrograma, cujas vazões são calculadas a partir de uma curva-chave, que por sua vez é construída a partir de medições de campo. A qualidade dessa curva é fundamental para a confecção de um hidrograma representativo e está diretamente ligada aos dados de campo. Então, todos

os cálculos em cada parâmetro, bem como a consistência dos dados coletados, podem somar erros que se propagam ao longo das etapas. Em última análise, diferentes métodos utilizados para estimativa de cada parâmetro também podem resultar em diferentes valores de recarga.

**Tabela 12** - Comparação entre os resultados obtidos pelos diferentes métodos aplicados  
**Table 12** - Comparison between results obtained by different methods applied

Ano Hidrológico	Balanço Hídrico			WTF				Aproximação pelo EB			Meyboom	
	Fiscal 13	Fiscal 14	Fiscal 20	NB min	NB max	KF min	KF max	Fiscal 13	Fiscal 14	Fiscal 20	Fiscal 13	Fiscal 14
2007/2008	2%	2%	-	1%	4%	-	-	5%	2%	-	-	-
2008/2009	27%	26%	-	1%	2%	1%	2%	7%	3%	-	5%	2%
2009/2010	12%	13%	14%	1%	4%	1%	2%	6%	2%	5%	-	-

A utilização do método do balanço-hídrico visou à estimativa de uma taxa de recarga média para a bacia, a partir de valores médios de pluviometria e evapotranspiração real que representassem toda a bacia. Sua utilização não objetivou a avaliação da distribuição espacial, uma vez que não foi possível, através dos dados disponíveis, avaliar a distribuição espacial de todos os parâmetros do balanço hídrico. Dessa forma, as variações obtidas nas taxas de recarga entre as estações fluviométricas para um mesmo ano hidrológico, foram devidas exclusivamente ao escoamento medido em cada uma. As taxas de recarga obtidas variaram entre 2 e 27% (da precipitação) e mostraram-se proporcionais a precipitação anual. Além disso, a ETR representou um importante fator de perda d'água, reduzindo consideravelmente a quantidade de água disponível para recarga.

Os métodos de Meyboom e Aproximação pelo fluxo de base são de fácil aplicação uma vez que são aplicados diretamente em hidrogramas. Logo, os resultados são influenciados pela qualidade do hidrograma e pelos métodos utilizados para a limitação de período de recessão (no caso do método de Meyboom) e para a separação dos escoamentos (no caso da Aproximação pelo fluxo de base). O método de Aproximação pelo fluxo de base pode subestimar a recarga, uma vez que o escoamento de base não é igual à recarga, sendo em geral menor, mas representa uma boa aproximação se não há perdas pela bacia. Os resultados obtidos para este método (2 a 7% da precipitação) foram muito semelhantes àqueles obtidos através do método de Meyboom (2 a 5% da precipitação), indicando que não há perdas significativas pela bacia e corroborando a satisfatoriedade do método de Aproximação pelo fluxo de base para o local de estudo.

O método WTF tem a vantagem de se uti-

lizar de dados do nível da água subterrânea, monitorados em poços tubulares, que são dados de fácil aquisição e confiabilidade. Contudo, é altamente influenciado pela porosidade efetiva das rochas, portanto, a precisão e representatividade dos valores utilizados para esse parâmetro são fundamentais para o sucesso do método. Este método, que consiste num método direto, uma vez que se utiliza diretamente de informações do nível d'água subterrâneo, resultou em taxas de recargas de 1 a 4% da precipitação. Estes valores são próximos àqueles obtidos através dos métodos de hidrograma (Meyboom e Aproximação pelo fluxo de base).

Do ponto de vista prático, os métodos *Meyboom* e *Aproximação pelo fluxo de base* são os de mais fácil aplicação, pois necessitam apenas de dados de hidrograma, e são de baixo custo de implantação, associado apenas a instalação, manutenção e monitoramento de estações fluviométricas.

O método *WTF* também é de fácil aplicação, uma vez que necessita apenas de dados de nível d'água, medidos em poços de monitoramento, e de porosidade efetiva, que pode ser determinada através de testes de aquíferos. Seu custo está associado à instalação e ao monitoramento sistemático de poços de monitoramento, que pode ser manual, através de medidores de nível d'água, ou automático, através de transdutores de pressão.

O método do *Balanço Hídrico*, por sua vez, apresenta um grau maior de dificuldade de aplicação em função da mensuração de cada um dos seus parâmetros. Contudo, a aquisição de dados não é necessariamente mais dispendiosa que os outros métodos. Séries históricas de pluviometria são disponibilizadas para uso público pela Agência Nacional de Águas e valores de evapotranspiração podem ser calculados através de métodos teóricos ou através de programas específi-

cos, como aquele utilizado neste estudo. Entretanto, custos podem ser adicionados no caso da implantação de estações pluviométricas particulares e evaporímetros.

Com relação à variação da recarga ao longo da bacia, os métodos do Fluxo de base e de Meyboom mostram tendência a apresentar maiores valores na porção média e alta. O alto da bacia constitui-se de uma extensa área de coberturas detríticas, que pode atuar como armazenador expressivo para a recarga. Além disso, os calcários mais puros no alto da bacia implicam em maior carstificação, que é facilitador para a infiltração. Os calcários tornam-se mais silicosos a jusante devido ao aumento da presença de metapelitos, diminuindo, assim a capacidade de armazenamento dos aquíferos. Tal capacidade de armazenamento mais elevada no alto da bacia, conjugada com a maior taxa de recarga nessa porção, resulta em capacidade específica dos poços mais elevada a montante comparada com a região jusante.

## CONCLUSÕES

Em termos de porcentagem da precipitação, os métodos resultaram nas seguintes taxas de recarga para a bacia do Riachão: Balanço Hídrico: 2 a 27%, Meyboom: 2 e 5%, WTF: 1 a 4%, Fluxo de base como aproximação: 2 a 7%.

Os resultados indicam uma tendência de recarga mais elevada no médio-alto da bacia. É possível que os calcários mais puros e carstificados, associados à expressiva ocorrência de sedimentos detríticos, contribuam como facilitadores da recarga.

De modo geral, os métodos aplicados possibilitam uma avaliação da recarga através dos anos hidrológicos, utilizando-se de medidas diretas ou indiretas de variáveis envolvidas no ciclo hidrológico.

Os resultados obtidos através do método do Balanço Hídrico mostram que a ETR represen-

ta um fator importante na redução da quantidade de água disponível no sistema hidrológico, indicando a importância da avaliação da ETR na estimativa da recarga aquífera.

Os métodos Aproximação pelo fluxo de base, Meyboom e WTF mostram-se vantajosos com relação a sua facilidade de aplicação associada ao baixo custo de implantação. O método do Balanço Hídrico, por sua vez, necessita da mensuração de vários parâmetros que implica no aumento da dificuldade de aplicação e aquisição de dados. Seu custo de implantação é compatível com os métodos da Aproximação pelo fluxo de base e Meyboom, mas custos adicionais incidem no caso da instalação de estações pluviométricas particulares e evaporímetros.

Não obstante às limitações de cada método, bem como da consistência dos dados utilizados, os métodos de Meyboom, WTF e Aproximação pelo fluxo de base resultaram em taxas de recarga muito semelhantes. Além disso, deve-se observar que, enquanto os métodos de Meyboom e Aproximação pelo fluxo de base utilizam informações de vazões de rios, o método WTF utiliza-se de informações de nível d'água de poços, isto é, águas subterrâneas. Ou seja, são métodos cuja natureza dos dados é diferente, mas que obtiveram resultados semelhantes entre si.

A aplicação de diferentes métodos é essencial para se avaliar a representatividade dos resultados obtidos, além de proporcionar uma estimativa de faixa de valores, no qual é possível avaliar uma taxa mínima de recarga, para fins de gerenciamento de recursos hídricos, bem como um potencial máximo de recarga. Cada método possui vantagens e limitações que devem ser avaliadas e ressalvadas durante sua aplicação. Contudo, na prática, a disponibilidade, a consistência e confiabilidade dos dados são os principais fatores na escolha do método a ser aplicado.

## AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM pelo fornecimento dos dados de monitoramento hidrológico, bem como de bases cartográficas e relatórios internos, e pelo suporte ao trabalho de campo.

## REFERÊNCIAS

AFONSO, P. C. S. & JUNIOR, J. C. (2006). **A Questão da Água na Bacia do Riachão - Norte de Minas Gerais: Gestão e Conflitos pelo Uso na Agricultura**. II Encontro De Grupos e Pesquisa. Universidade Federal de Uberlândia – UFU, 20 a 22 de Junho, 2006.

ÁGUA-CONSULTORES ASSOCIADOS LTDA (1999). [COPASA-MG, IGAM]. **Estudo Hidrogeológico da Bacia**

**do Alto-Médio rio Riachão**. Relatório Final. Vol.1. Belo Horizonte, dezembro de 1999.

ALKMIM, F. F.; MARTINS-NETO, M. A. (2001). **A Bacia Intracratônica do São Francisco: Arcabouço Estrutural e Cenários Evolutivos**. In: PINTO, C.P.; Martins-Neto, M.A. (Org.). Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais. Belo Horizonte: SBG/MG, 2001. p. 9-30.



- CODEMIG (2003). **Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais** [Mapa]. Escala 1:1.000.000.
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (2007). **Mapa de domínios/ subdomínios hidrogeológicos do Brasil** [mapa]. Escala 1:2.500.000.
- DELIN, G. N.; HEALY, R. W.; LORENZ, D. L.; NIMMO, J. R. (2007). **Comparison of local- to regional-scale estimates of ground-water recharge in Minnesota, USA.** *Journal of Hydrology*. V.334, p.231–249. USGS Staff – Published Research. Paper 213. <http://digitalcommons.unl.edu/usgsstaffpub/213>.
- FETTER, C. W. (1994). **Applied Hydrogeology**. 4ª Edição. New Jersey: Prentice Hall, 1994. 598p.
- IGAM (2005a). **Breve histórico referente à bacia hidrográfica do rio Riachão** [Relatório interno]. Divisão de Regulação e Controle do Instituto Mineiro de Gestão das Águas - DvRC/IGAM. Belo Horizonte, abril de 2005.
- IGAM (2005b). **Relatório de Atividades na Bacia do rio Riachão** [Relatório interno]. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável- Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Núcleo Norte de Minas-Montes Claros/MG. 2005.
- IGAM (2005c). **Programa de monitoramento de águas superficiais**. Relatório 1 - Relatório de Implantação da Rede de Monitoramento das Águas Superficiais das Sub-bacias dos Rios Verde Grande, Riachão e Jequitaiá na Bacia do Rio São Francisco, em Minas Gerais. Janeiro, 2005. 109 pag.
- HEALY, R. W. & COOK, P. G. (2002). **Using groundwater levels to estimate recharge.** *Hydrogeology Journal*. V. 10, p. 91–109, January 2002.
- MARTÍNEZ, M. I. (2007). **Estratigrafia e tectônica do grupo Bambuí no norte do estado de Minas Gerais** [Dissertação de Mestrado]. Belo Horizonte, 14 de abril 2007, 122p.
- PETTYJOHN, W. A. & HENNING, R. (1979). **Preliminary estimate of ground-water recharge rates, related streamflow and water quality in Ohio.** Ohio State University Water Resources Centre. United States, Department of the Interior. Project Completion Report No 552, 323p.
- RISSER, D. W.; GBUREK, W. J.; FOLMAR, G. J. (2005). **Comparison of methods for estimating ground-water recharge and base flow at a small watershed underlain by fractured bedrock in the eastern United States:** U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2005-5038, 31 p., [pubs.usgs.gov/sir/2005/5038/pdf/sir2005-5038.pdf](http://pubs.usgs.gov/sir/2005/5038/pdf/sir2005-5038.pdf). Acesso: ago/2012.
- ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. (1998). **Planilhas no ambiente EXCEL TM para os cálculos de balanços hídricos:** normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 6, n.1, p.133-137, 1998.
- SCANLON, B. R.; HEALY, R. W.; COOK, P. G. (2002). **Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge.** *Hydrogeology Journal*, v. 10, p.18–39, 2002.
- SLOTO, R. A., & CROUSE, M. Y. (1996). **HYSEP:** A computer program for streamflow hydrograph separation and analysis. USGS Water Resources Investigations Report 96-4040. Lemoyne, Pennsylvania.
- STEWART, M.; CIMINO, J.; ROSS, M. (2007). **Calibration of Base Flow Separation Methods with Streamflow Conductivity.** *Ground Water*, v. 45, n. 1, January/February 2007, pp. 17–27.
- TUCCI, C. E. M. (org.); SILVEIRA, A. L. L. da. (2004). **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** 3ª Edição, primeira reimpressão. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH. 943 pp.
- VAREJÃO-SILVA, M. A. (2005). **Meteorologia e Climatologia.** Versão Digital. Recife/Pernambuco, 2005, 516p.