



## **Análise da influência do uso e ocupação do solo e da precipitação na recarga aquífera de uma sub-bacia da região nordeste do Rio Grande do Sul**

**Marco Antônio Presotto <sup>1</sup>, Taison Anderson Bortolin <sup>2</sup>, Vânia Elisabete Schneider <sup>3</sup>**

<sup>1</sup>ISAM / Universidade de Caxias do Sul (mapresotto@ucs.br)

<sup>2</sup>ISAM / Universidade de Caxias do Sul (tabortol@ucs.br)

<sup>3</sup>ISAM / Universidade de Caxias do Sul (veschnei@ucs.br)

### **Resumo**

Este estudo buscou analisar a influência do uso e ocupação do solo e da precipitação na taxa de recarga aquífera da sub-bacia hidrográfica Ponte do Prata localizada no estado do Rio Grande do Sul. A análise do uso e ocupação do solo foi feita com base em imagens de satélite se utilizando de três períodos distintos (1985, 2004 e 2014), para posterior comparação de resultados, assim como a quantificação de recargas aquíferas, que foi realizada através do filtro digital e recursivo de Eckhardt (2005) com o auxílio do “filtro inverso” de Collischonn e Fan (2013) a partir de dados disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA). Houve variação da recarga aquífera ao longo dos anos, sendo esta ocasionada tanto pela variação de volume precipitado em cada ano, como também pela alteração do uso e ocupação do solo. Observou-se uma diminuição de solo exposto e mata nativa com aumento de áreas agrícolas e de campos exóticos do ano de 1985 para 2004, com consequente diminuição da recarga aquífera em relação à precipitação, de 37,78% em 1985 para 32,70% em 2004, constatando que a recarga aquífera sofre influência do uso e ocupação do solo, mas principalmente do volume precipitado.

Palavras-chave: Recarga Aquífera. Filtros Digitais. Uso e Ocupação do Solo.

Área Temática: Recursos Hídricos

## **Analysis of the influence of soil use and occupation and the precipitation on the groundwater recharge of a sub-basin in the northeast of Rio Grande do Sul**

### **Abstract**

*This study sought to analyze the influence of soil use and occupation and the precipitation on the groundwater recharge rate of the Ponte do Prata sub-basin located in the state of Rio Grande do Sul. The analysis of soil use and occupation was based on satellite images, using three different periods (1985, 2004 and 2014), for the subsequent comparison of results, as well as the quantification of groundwater recharge, which was realized through digital and recursive filter of Eckhardt (2005) with the aid of the "inverse filter" of Collischonn and Fan (2013) from data provided by the National Water Agency (ANA). There was variation of the groundwater recharge over the years, being caused both by the variation of volume precipitated in each year, as well as by the alteration of soil use and occupation. It was observed a decrease of exposed soil and native forest with increase of agricultural areas and exotic fields from 1985 to 2004, with consequent reduction of aquifer recharge compared to precipitation, from 37.78% in 1985 to 32.70% in 2004, verifying that the groundwater recharge is influenced by the soil use and occupation, but mainly of the precipitated volume.*

*Key words: Groundwater Recharge. Digital Filters. Soil Use and Occupation*

*Theme Area: Water Resources*



## 1 Introdução

Com a constante expansão demográfica que ocorre no Brasil como um todo, o meio ambiente vem sofrendo uma intensa degradação ocasionada por fatores como: desmatamento, diminuição das áreas de campos para a produção agrícola, queimadas e crescimento urbano desenfreado. Junto a essa mudança do uso e ocupação do solo, está ocorrendo ao longo dos anos um aumento do uso de águas subterrâneas ocasionado tanto pelo aumento populacional como pela diminuição da disponibilidade dos recursos hídricos superficiais.

Segundo Bispo e Levino (2011), as alterações decorrentes do uso do solo, como a retirada da vegetação e a impermeabilização do solo geralmente provocada pelo processo de urbanização, ocasionam um dos impactos mais significativos no ciclo hidrológico, principalmente sobre os processos de infiltração, armazenamento nos corpos fluviais e no fluxo d'água, aumentando os picos de cheia e prejudicando a manutenção dos aquíferos de forma a reduzir assim a disponibilidade de água nos períodos de baixa precipitação.

Relacionado a isso, Santos e Petronzio (2011) destacam que a utilização de mapas de uso e cobertura do solo tem se tornado cada vez mais indispensáveis aos legisladores e gestores para um correto planejamento dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, visto que a partir da interpretação deles é possível avaliar a forma com que área de interesse está sendo utilizada e sua evolução ao longo do tempo, permitindo uma caracterização das interações antrópicas com o meio ambiente.

De acordo com Gleeson et al. (2012) cerca de 20% dos aquíferos do mundo já estão sendo superexplorados, portanto a estimativa de recarga aquífera de uma região se torna importante. Rebouças et al. (2006) cita que as maiores taxas de recarga ocorrem nas regiões planas, bem arborizadas, e nos aquíferos livres. Nas regiões onde o relevo é acidentado e que não possuem cobertura vegetal, as quais estão mais sujeitas a práticas de uso e ocupação que favorecem as enxurradas, a recarga ocorre de forma mais lenta e de modo limitado. No entanto, Simmers (1998) ressalta que estas estimativas das taxas de recarga possuem um elevado grau de incerteza e podem variar conforme a definição da metodologia adotada e a disponibilidade de informação existente.

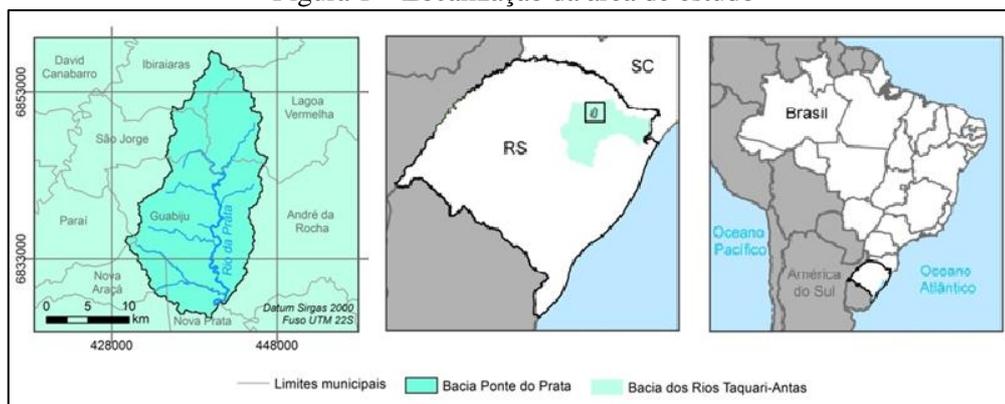
Dessa forma, considerando a importância dos recursos hídricos subterrâneos atualmente, objetivou-se com este trabalho, apresentar as relações e influências ocasionadas pela alteração do uso e ocupação do solo ao longo dos anos na quantificação de recarga aquífera na sub-bacia hidrográfica do Prata localizada no estado do Rio Grande do Sul.

## 2 Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo compreende uma sub-bacia hidrográfica com área de drenagem de 316.99 km<sup>2</sup> localizada no estado do Rio Grande do Sul, tendo como exutório o posto fluviométrico Ponte do Prata (86420000), inserido no município de Nova Prata e pertencente a bacia hidrográfica Taquari-Antas, conforme apresentado na Figura 1. Quanto a tipologia dos aquíferos, a sub-bacia está inserida no Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), caracterizado por possuir aquíferos fraturados com alta a média possibilidade de se obter águas subterrâneas.



Figura 1 – Localização da área de estudo



### 3 Material e métodos

A metodologia empregada na elaboração deste trabalho segue um conjunto de atividades distintas, podendo ser separada em 3 grandes partes: delimitação das sub-bacia e posterior análise do uso e ocupação do solo, cálculo do escoamento de base (escoamento subterrâneo) e por fim a quantificação de recarga aquífera.

#### 3.1 Delimitação da sub-bacia e análise do uso e ocupação do solo

Primeiramente foi realizada a delimitação da área de drenagem da sub-bacia no software IDRISI Selva, utilizando como exutório as coordenadas do posto fluviométrico retirado da Rede Hidrológica Nacional através da plataforma SNIRH (Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos), da Agência Nacional das Águas (ANA).

Após pode-se realizar a análise do uso e ocupação do solo utilizando imagens dos satélites TM/Landast 5 e OLI/Landsat 8, em três períodos distintos: 1985, 2004 e 2014. Os períodos foram definidos de acordo com a disponibilidade das imagens sem cobertura de nuvens e considerando a necessidade de que as imagens tivessem um horizonte temporal que permitisse a análise comparativa.

Na sequência, as imagens foram processadas com o uso do software IDRISI Selva, de forma supervisionada com o algoritmo classificador pixel a pixel Máxima Verossimilhança Gaussiana. Para isso foram digitalizadas amostras das classes de uso existentes na sub-bacia, sendo separadas em Mata nativa, Campo nativo, Agricultura (classe na qual está contabilizada também as áreas de campo exótico), Solo Exposto, Lâmina d'água, Mata exótica e Área Urbana.

#### 3.2 Cálculo do escoamento de base

A metodologia aplicada para realizar a separação do escoamento de base foi o Filtro Digital Recursivo de Eckhardt. Este filtro recursivo se refere a um algoritmo utilizado para calcular o fluxo de base em cursos d'água, a partir da separação da vazão do rio em duas componentes: escoamento superficial (direto - direct runoff) e escoamento de base (indireto - baseflow), conforme apresentado na Equação 1 (ECKHARDT, 2005).

$$y_i = f_i + b_i \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

y = vazão do rio (m<sup>3</sup>/s)

f = escoamento superficial (m<sup>3</sup>/s)

b = escoamento de base (m<sup>3</sup>/s)



$i$  = intervalo de tempo

Foi constatado por Eckhardt (2005) que múltiplos filtros poderiam ser equacionados de forma genérica, já que a vazão de base sempre deve ser igual ou menor a vazão total do rio no mesmo período de tempo. Para Eckhardt, uma constante de recessão ( $a$ ) e um parâmetro de escoamento de base máximo ( $BFI_{max}$ ) seriam o suficiente para definir o escoamento de base.

A constante de recessão “ $a$ ” está relacionada com a descarga em um intervalo de tempo definido em períodos de recessão, onde não existe entrada por precipitação, e, portanto, o escoamento superficial (direct runoff) é nulo, fazendo com que ocorra uma descarga natural do aquífero (DOMENICO E SCHWARTZ, 1990). Para tal, deve-se inicialmente analisar o hidrograma do posto fluviométrico procurando por períodos de recessão, para utilizar os seus respectivos valores de vazão no cálculo da constante do período característico “ $k$ ”, conforme apresentado na Equação 2 e a partir do resultado desta, será possível calcular a constante “ $a$ ”, conforme Equação 3. O coeficiente “ $k$ ” para este trabalho, foi definido para cada série temporal com base na análise de um período de recessão com mais de 10 dias.

$$k = \frac{-\Delta t}{\ln\left(\frac{Q(t+\Delta t)}{Q(t)}\right)} \quad (\text{Equação 2})$$

$$a = e^{\frac{-\Delta t}{k}} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

$k$  = constante do período característico

$Q$  = Vazão ( $m^3/s$ )

$a$  = constante de recessão

O parâmetro BFI (Índice de Escoamento de Base) é a razão, a longo prazo, entre o escoamento de base e a vazão total, conforme apresentado na Equação 4.

$$BFI = \frac{\sum_{i=1}^N b_i}{\sum_{i=1}^N y_i} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

BFI = Índice de escoamento de base

$b$  = escoamento de base ( $m^3/s$ )

$y$  = vazão do rio ( $m^3/s$ )

Segundo Eckhardt (2005), a equação do filtro digital tem a seguinte forma para determinação do escoamento de base (Equação 5):

$$b_i = \frac{(1-BFI_{max}) \cdot a \cdot b_{i-1} + (1-a) \cdot BFI_{max} \cdot y_i}{1-a \cdot BFI_{max}} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

$b$  = escoamento de base ( $m^3/s$ )

$BFI_{max}$  = parâmetro que limita o escoamento de base

$a$  = constante de recessão

$y$  = vazão do rio ( $m^3/s$ )



O parâmetro  $BFI_{max}$  é um fator que restringe o parâmetro BFI e segundo Eckhardt (2005), pode ser influenciado pela situação geológica e hidrogeológica local. Neste estudo, o parâmetro máximo utilizado foi definido conforme a Equação 6, aplicando o método apresentado por Collischonn e Fan (2013), conhecido por filtro inverso, que se utiliza de um procedimento objetivo e inverso para calcular o parâmetro BFI, que será aplicado diretamente como  $BFI_{max}$  no filtro recursivo de Eckhardt (2005), sendo o resultado deste parâmetro limitado a  $BFI_{max} < 1$ .

$$BFI_{max} = \frac{\sum_{i=1}^N b'_i}{\sum_{i=1}^N y_i} \quad (\text{Equação 6})$$

Por meio do filtro recursivo proposto por Eckhardt a constante de recessão “a” relaciona uma descarga com um intervalo de tempo definido em períodos de recessão (Equação 7), sendo que através desta equação é possível obter o escoamento do tempo anterior ( $b_{i-1}$ ).

$$b_i = a \cdot b_{i-1} \quad (\text{Equação 7})$$

A partir desta equação, Collischonn e Fan (2013) constataram que poderia ser feito um filtro regressivo que resultaria em uma estimativa prévia do maior valor possível do fluxo de base, conforme Equação 8.

$$b'_{i-1} = \frac{b'_i}{a} \quad (\text{Equação 8})$$

O processo de cálculo começa pelo último dia da série analisada, quando se considera que a vazão do rio esteja composta apenas pelo fluxo de base, visto que para este filtro inverso ser aplicado (Equação 8) é necessário que a série termine em recessão para que se possa estimar que  $y_n = b_n$ .

Com os parâmetros  $BFI_{max}$  definidos e limitados a 1, juntamente com as séries históricas de vazão para cada ano analisado foi possível obter parâmetro BFI através da equação 4, além do escoamento de base médio, que será utilizado posteriormente para quantificar as recargas aquíferas.

### 3.3 Quantificação da recarga aquífera

Para estimar a recarga aquífera em cada período, primeiramente foi aplicado o filtro digital e recursivo conforme metodologia descrita no item 3.2, para poder se obter os dados de escoamento de base médio para após utilizar a Equação 10, que relaciona este escoamento com a área de drenagem da sub-bacia.

$$TR = \frac{\bar{b}}{A} \cdot 1000 \cdot 31622400 \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

TR = taxa de recarga aquífera (mm/ano);

$\bar{b}$  = média dos valores de fluxo de base ( $m^3/s$ );

A = área de drenagem da sub-bacia ( $m^2$ );

1000 = fator de conversão de m para mm;

31622400 = fator de conversão de segundos para ano.



#### 4 Resultados e discussões

Através da análise das imagens de satélite em cada período temporal escolhido, obteve-se o uso e cobertura do solo na sub-bacia ao longo dos anos, como pode ser observado na Figura 2. Na Tabela 1 são apresentados todos dados quantitativos obtidos, conforme as sete classificações de uso e ocupação do solo adotadas.

Figura 2 – Evolução do uso e ocupação do solo na sub-bacia

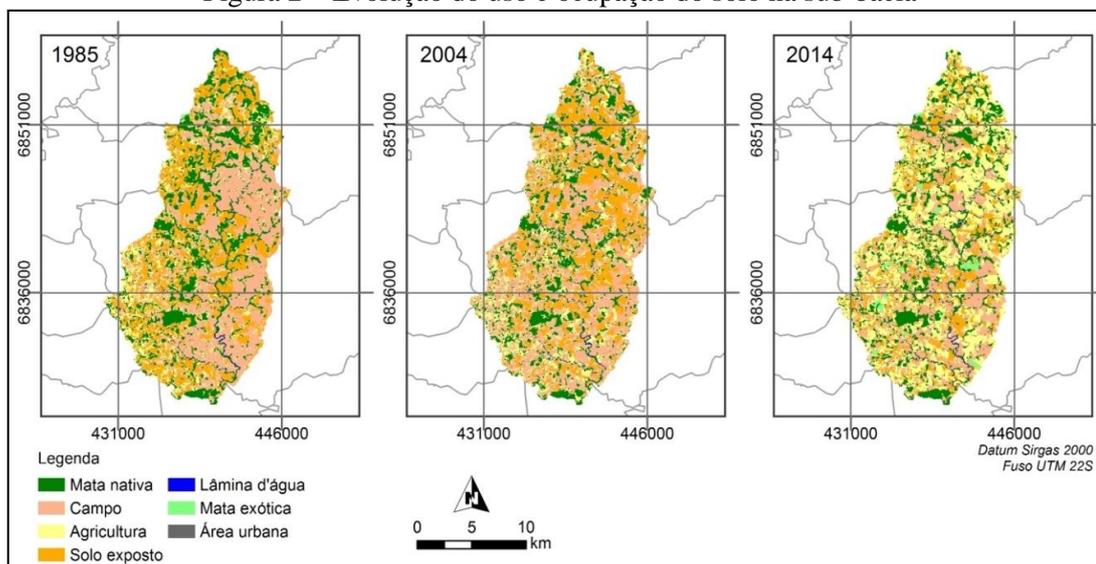


Tabela 1 – Uso e ocupação do solo na sub-bacia

Classificação Uso e Ocupação do Solo	1985		2004		2014	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
Mata Nativa	64,05	20,20	55,27	17,44	58,26	18,39
Campo Nativo	110,45	34,84	119,75	37,78	84,38	26,63
Agricultura / Campo Exótico	53,84	16,98	61,69	19,46	116,53	36,78
Solo Exposto	85,77	27,06	77,39	24,42	50,61	15,97
Lâmina d'água	2,70	0,85	2,70	0,85	3,19	1,01
Mata Exótica	0,19	0,06	0,19	0,06	3,91	1,24
Área Urbana	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,04

Por meio dos mapas gerados pode-se constatar que houve redução da área de campo nativo que compreende vegetação rasteira e árvores de pequeno porte pouco concentradas, passando de uma área de 110,45 km<sup>2</sup> em 1985 para 84,38 km<sup>2</sup> no ano de 2014. A presença de área urbana não exercerá grande influência nos resultados de recarga aquífera visto que a área ocupada por edificações compreende em 2014 somente 0,04% da área total da bacia que é 316,99 km<sup>2</sup>. Em relação às áreas de lâmina de água formadas por lagos natural e artificial, além de rios, percebe-se também um leve aumento ao longo do tempo, passando de 2,70 km<sup>2</sup> para 3,91 km<sup>2</sup>. Além disso, vale destacar o aumento da área de mata exótica, formada basicamente por Pinus, de 0,19 km<sup>2</sup> em 1986 para 3,91 km<sup>2</sup> em 2014. Outro dado que merece atenção é o aumento significativo das áreas de atividades agrícolas, que passou dos 16,98% em 1985 para 36,78% em 2014.

Além dos percentuais de uso e ocupação do solo foram calculadas as taxas de recarga aquífera (TR) para cada período temporal para posterior análise comparativa. Tais resultados podem ser verificados na Tabela 2, onde são apresentados também o escoamento de base médio



obtido pelo filtro digital e recursivo, a precipitação média ocorrida (P) e por fim uma análise percentual da precipitação média em relação a recarga aquífera estimada (% P / TR).

Tabela 2 – Resultados obtidos para TR e relação com a precipitação

Parâmetros	1985	2004	2014
<b>BFI Filtro Inverso</b>	0,752	0,752	0,702
<b>Escoamento base médio (m<sup>3</sup>/s)</b>	5,76	4,67	8,03
<b>TR (mm/ano)</b>	574,64	466,10	801,02
<b>P (mm/ano)</b>	1521,00	1425,60	2157,20
<b>% P / TR</b>	37,78	32,70	37,13

Analisando a Tabela 2, pode-se perceber que a recarga aquífera está diretamente ligada a precipitação, isto é, quando houve um aumento da precipitação ocorreu também um aumento da recarga aquífera, porém é importante ressaltar que este aumento da taxa de recarga aquífera não ocorre na mesma proporção de aumento da precipitação, sendo resultado de um processo complexo, que dependerá do tipo de clima e das propriedades físicas e biológicas do solo como do subsolo da região estudada. (SOPHOCLEOUS, 1991)

Em relação ao percentual obtido de recarga aquífera através da precipitação ocorrida, pode-se aferir que ocorreu uma diminuição do ano de 1985 para 2004 de 37,78% para 32,70% respectivamente, e um aumento desta do ano de 2004 para 2014, resultando em 37,13%. Esta diminuição da recarga em relação a precipitação do ano de 1985 para 2004, pode ter sido ocasionada tanto pela menor precipitação ocorrida, como pela diminuição das áreas de mata nativa, que passaram de 64,05 km<sup>2</sup> para 55,27 km<sup>2</sup>, visto que a mesma tem importante papel na recarga, tanto auxiliando na interceptação da precipitação, eliminando assim escoamentos rápidos para os leitos dos rios, assim como na infiltração ao longo do tempo devido a suas raízes profundas. Já o aumento ocorrido no ano de 2014 pode ser explicado pela diminuição de solo exposto associada ao aumento significativo da precipitação juntamente com o aumento das matas nativas, proporcionando uma maior infiltração e menores escoamentos superficiais.

As maiores mudanças ocorridas do uso e ocupação do solo foram das áreas de campo nativo e das áreas de campo exótico/agricultura. Enquanto a primeira delas diminuiu em 8,21% do ano de 1985 para 2014, a segunda teve um aumento de 19,8% no mesmo período, no entanto na estimativa de recarga aquífera esta mudança não foi significativa, visto que as áreas de campo exótico/agricultura podem ter uma capacidade de absorção de água pelo solo muito semelhante as áreas de campo nativo, dependendo do grau de compactação do terreno.

Segundo Tucci (2009), é possível encontrar na literatura estudos que mostram aumento ou diminuição da vazão mínima depois do desmatamento, sendo esta diretamente ligada a recarga aquífera. O que pode diferenciar um caso do outro depende do estado do solo após o desmatamento. Se o solo exposto fica compactado devido ao impacto ocasionado pela chuva, a infiltração após o desmatamento tende a ficar prejudicada, aumentando o escoamento superficial e reduzindo a recarga do aquífero. Por outro lado, caso a água atinja o solo e consiga infiltrar devido às características do solo, o aquífero terá uma maior recarga.

## 5 Conclusões

Diante das análises realizadas se constatou que o aumento ou diminuição da recarga aquífera sofre influência do uso e ocupação do solo, mas principalmente do volume precipitado, sendo que os processos hidrológicos como escoamento e infiltração podem ser afetados pelas alterações no clima e umidade de determinada região, tendo influência direta na recarga dos aquíferos e no armazenamento de água da chuva no solo. É importante salientar que os resultados obtidos tiveram influência da diferença de precipitação ocorrida nos três períodos,



portanto, sugere-se que em estudos futuros a análise de estimativa de recarga aquífera seja realizada em períodos sem variação de precipitação afim de avaliar somente a diferença de recarga pelo uso e ocupação do solo.

Conclui-se também que este tipo de análise deve ser realizada periodicamente, sendo de suma importância para os órgãos gestores dos recursos hídricos desta região, visto que as mudanças ocorridas em ambientes naturais podem resultar em alterações não somente da quantidade, como da qualidade da água disponível, cabendo a eles administrar as atividades realizadas na área das sub-bacia para que se tenha o menor impacto ambiental nos recursos hídricos, aproveitando-os de forma equilibrada.

Por fim, este estudo permitiu um melhor conhecimento da área analisada e por se tratar de um trabalho que destaca características e resultados de um local ainda sem muitas pesquisas e informações, futuros trabalhos poderão utilizá-lo como base de estudo e comparações.

### Referências

BISPO, T. C.; LEVINO, N. A. **Impactos ambientais decorrentes do uso e ocupação desordenada do solo: um estudo da região da periferia de Maceió/AL**. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 31, 2011, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: ABEPRO, 2011.

COLLISCHONN, W.; FAN, F. M. **Defining Parameters for Eckhardt's Digital Base Flow Filter**. Hydrological Processes. 2013; Vol. 27, p. 2614-2622.

DOMENICO, P. A.; SCHWARTZ, F. W. **Physical and Chemical Hydrogeology**. John Wiley & Sons, Singapore, 824p. 1990.

ECKHARDT, K. **How to construct recursive digital filters for base flow separation**. Hydrological Process. 2005; Vol.19, p. 507-515.

GLEESON, T.; WADA, Y.; BIERKENS, M.F.P; VAN BEEK, L.P.H. **Water balance of global aquifers revealed by groundwater footprint**. Nature, 2012; 488, p. 197-200.

REBOUÇAS, Aldo da Cunha; BRAGA, Benedito; TUDINISI, José Galizia. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3.ed. rev. e ampl. São Paulo: Escrituras, 748p. 2006.

SANTOS, A. B.; PETRONZIO, J. A. C. **Mapeamento de uso e ocupação do solo do município de Uberlândia-MG utilizando técnicas de Geoprocessamento**. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, INPE, Curitiba. Anais... 2011.

SOPHOCLEOUS, M. A. **Combining the Soilwater Balance and Water-Level Methods to Estimate Fluctuation Methods to Estimate Natural Groundwater Recharge: Practical Aspects**. Journal of Hydrology. 1991; 124, p. 229-241.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS, 943 p. 2009.

SIMMERS, I. **Groundwater recharge: an overview of estimation problems and recente developments**. In: N.S. Robins, ed. Groundwater Pollution, Aquifer Recharge and Vulnerability. Geological Society, London, Special Publications. 1998; 130, 107-115.