

XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

ESTIMATIVA DE RECARGA A PARTIR DA SEPARAÇÃO DE ESCOAMENTO DE BASE EM DUAS SUB-BACIAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IBICUÍ/RS

Camila Dalla Porta Mattiuzi¹; Roberto Kirchheim²; Walter Collischonn³ & Fernando Mainardi Fan⁴

Resumo – Foram estimadas as taxas de recarga aquífera na Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí, localizada no Estado do Rio Grande do Sul, a partir da utilização do método de separação de escoamento de base, utilizando o filtro numérico de Eckhardt (2005) com dados de medição de vazão disponibilizados pela Agência Nacional de Águas. Os resultados obtidos apontaram que as taxas de recarga variaram entre 13% e 47% com relação à precipitação efetiva (Mattiuzi, 2013). A partir deste resultado foi realizada uma análise mais aprofundada nas sub-bacias do Passo da Cachoeira e Azevedo Sodré, nas quais foram obtidas valores de taxa de recarga de 47% e 17%, respectivamente. Foram apontados diversos fatores que podem explicar os valores das taxas de recarga, como variações na precipitação, heterogeneidade geológica e hidrogeológica, e composições distintas dos solos da região.

Abstract –The rates of aquifer recharge were estimated in the Ibicuí Basin, located in the state of Rio Grande do Sul, from the use of the method of base flow separation using the numeric filter of Eckhardt (2005) with flow measurement data available from the National Water Agency. The results obtained indicated that the recharge rates varied between 13% and 47% with relation to the effective rainfall (Mattiuzi, 2013). From this results it was made an analysis of the sub-basins of Passo da Cachoeira and Azevedo Sodré, in which the values of recharge rate obtained were 47% and 17%, respectively. It was pointed out several factors that may explain the values of recharge rate, as variations in rainfall, geological and hydrogeological heterogeneity and different compositions of soils in the region.

¹ Mestranda no Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental no Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS, Av Bento Gonçalves 9500, Porto Alegre/RS, 51 – 3308 6670, camilamattiuzi@gmail.com

² Pesquisador em Geociências na Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, Rua Banco da Província 105, Porto Alegre/RS, 51 – 3406 7300, roberto.kirchheim@cprm.gov.br

³ Professor no Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS, Av Bento Gonçalves 9500, Porto Alegre/RS, 51 – 3308 6415, collischonn@uol.com.br

⁴ Doutorando no Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental no Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS, Av Bento Gonçalves 9500, Porto Alegre/RS, 51 – 3308 6670, fernando.fan@ufrgs.br

Palavras-Chave – escoamento de base, filtro de Eckhardt, recarga aquífera

1. Introdução

Os recursos hídricos representam fator fundamental para o desenvolvimento ambiental, social e econômico e, por esta razão, a compreensão do seu comportamento e dinâmica é imprescindível. O conhecimento detalhado das disponibilidades e demandas hídricas, bem como o estudo de suas interações, é essencial para um planejamento e gestão adequados, condição fundamental para seu uso sustentável.

As águas subterrâneas desempenham papel vital no abastecimento público e privado, suprindo as mais variadas necessidades de água; também são fundamentais para manutenção de corpos d'água superficiais, pois a perenização da maior parte dos rios, lagos e pântanos depende da descarga de aquíferos, através dos fluxos de base (Hirata, Zobbi e Oliveira, 2010). Os fluxos de base representam uma parcela do que na hidrologia clássica é denominado de parcela indireta do escoamento superficial, onde a parcela direta é o escoamento superficial propriamente dito.

Um dos maiores desafios no que diz respeito ao estudo das águas subterrâneas envolve a quantificação das disponibilidades hídricas subterrâneas, ou seja, estimar a magnitude de suas reservas, sejam estas permanentes ou reguladoras. Para isso é necessário identificar as parcelas direta e indireta do escoamento, que pode ser realizada através de métodos de separação de escoamento de base, que utilizam a análise das vazões em uma bacia ao longo do tempo. A parcela indireta do escoamento superficial possui origem subterrânea e é de grande interesse, já que corresponde à capacidade de recarga do aquífero. Estas recargas se equivalem às reservas renováveis de água subterrânea, as quais podem ser interpretadas como sendo uma parte ou até mesma a totalidade da parcela explotável dos aquíferos.

Sendo assim, a estimativa de recarga de água subterrânea é um fator chave em estudos de disponibilidade, gestão e modelagem dos recursos hídricos subterrâneos. Por exemplo, o conhecimento da taxa de alimentação de um sistema aquífero é um subsídio necessário para a tomada de decisões visando o aproveitamento sustentável das águas subterrâneas, procurando assim, evitar efeitos ambientais indesejados decorrentes, por exemplo, da superexploração dos aquíferos (Eilers, 2004).

O objetivo do presente trabalho é fornecer subsídio para uma gestão integrada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos em duas sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí através

do dimensionamento das taxas de recargas aquíferas utilizando o método de separação de escoamento de base, relacionando estes resultados com as unidades geológicas e tipologias de solos encontradas na região.

2. Área de Estudo

A área de estudo deste trabalho são duas sub-bacias localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí, que pertence à Região Hidrográfica do Rio Uruguai (ANA, 2012). Estas sub-bacias foram delimitadas utilizando o software ArcGis a partir dos dados dos postos fluviométricos 76370000 - Azevedo Sodré e 76650000 - Passo da Cachoeira, obtidos no site da Agência Nacional de Águas, como pode ser visto na Figura 1. (ANA, 2013)

A Bacia do Rio Ibicuí possui uma área de drenagem de 47.320km², e contém 29 municípios, totalizando uma população de 921.000 habitantes. (Profill, 2012). A sub-bacia do Azevedo Sodré e a do Passo da Cachoeira possuem respectivamente 1220km² e 2564km² de área de drenagem.

A sub-bacia de Azevedo Sodré contém três municípios (São Gabriel, Rosário do Sul e Cacequi), e a de Passo da Cachoeira contém sete (São Borja, Santiago, Itaqui, Maçambará, Unistalda, São Francisco de Assis e Manoel Viana).

A seguir será realizada uma descrição acerca de algumas características destas sub-bacias.

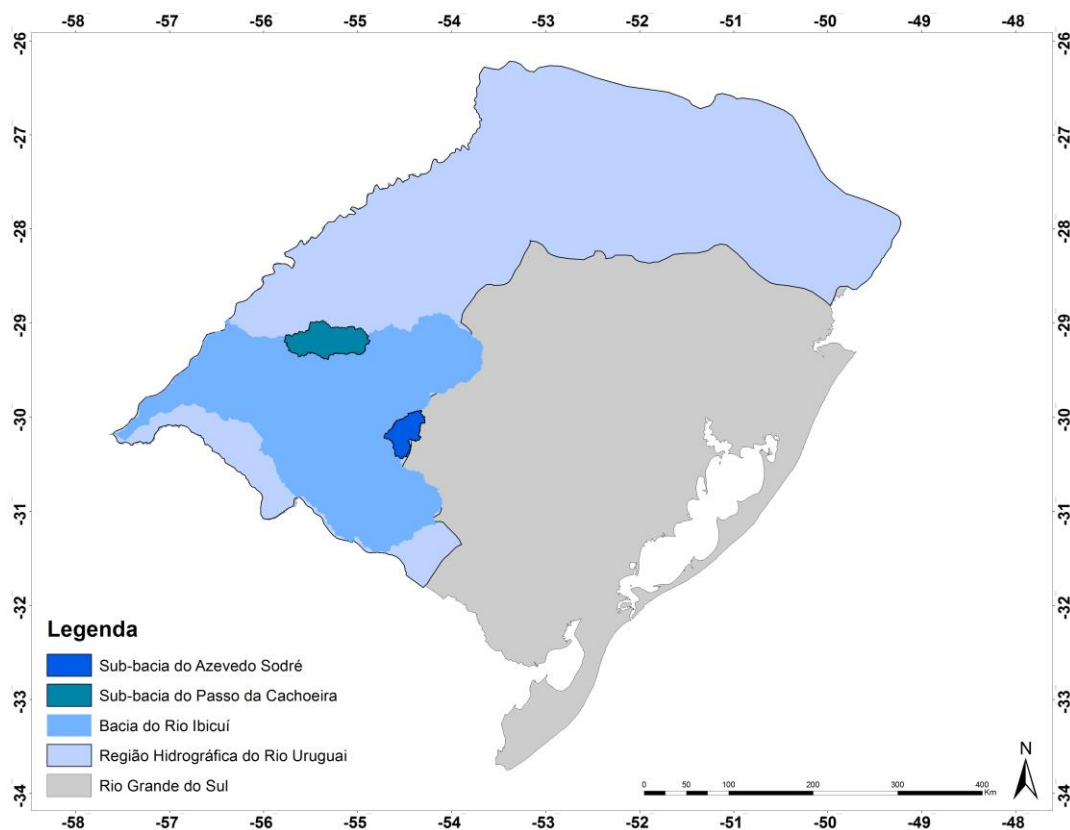


Figura 1.

Região Hidrográfica do Rio Uruguai, Bacia do Rio Ibicuí e Sub-Bacias Azevedo Sodré e Passo da Cachoeira

2.1. Tipologias de Solo

Existem diversos tipos de solo presentes no Rio Grande do Sul; sua formação é decorrente da combinação de vários fatores como o material de origem, clima, relevo, entre outros. Através do Mapa de Solos do Brasil escala 1:5.000.000, disponível no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013), foi possível determinar os solos presentes na área da Bacia do Rio Ibicuí. São estes: Argissolo vermelho Distrófico, Chernossolo ebânico Órtico, Latossolo vermelho Distrófico, Neossolo litólico Eutrófico, Nitossolo vermelho Eutrófico, Planossolo háplico Eutrófico, Plintossolo háplico Distrófico. Estes tipos de solo variam entre argilosos a arenosos, rasos a profundos, bem a mal drenados (CPRM, 2010).

2.2. Descrição Geológica

A bacia hidrográfica do rio Ibicuí apresenta características um pouco diferenciadas das demais, tendo em vista a natureza do relevo. A maior parte do curso do Rio Ibicuí abrange terrenos paleozóicos sedimentares da bacia do Paraná, tendo seu curso médio inferior capeamento pelas rochas da Formação Serra Geral, de pouca consistência (Viera, 1984). O alagamento das margens, várzeas e campos de pastagens é uma decorrência do baixo declive, que gera escoamentos mais lentos. Em períodos de cheias, o rio se torna navegável em quase toda a sua extensão. A geologia da BHib foi descrita, principalmente, com base no Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul, escala 1:750.000, elaborado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2010).

Para a realização deste trabalho foram agrupadas as geologias que apresentavam características semelhantes de composição, porosidade e transmissividade, entre outros fatores. A seguir é apresentada uma breve descrição geológica dos agrupamentos realizados.

- Aluviões Quaternários (sedimentos aluvionares do tipo fluvial anastomosado, que ocorrem ao longo dos principais cursos d'água; apresentam frações granulométricas cascalhosas, arenosas e argilosas, semiconsolidados e inconsolidados);
- Arenitos (Formação Botucatu, que ocorre de forma espalhada na bacia, ocupando a porção central da mesma. De Idade Jurássica, é formada em ambiente continental eólico de clima desértico, sendo representada por campos de paleodunas compostas por arenitos finos a grossos, normalmente bimodais, com grãos bem arredondados e com alta esfericidade);
- Derrames Vulcânicos (constituídos pela Formação Serra Geral, Fácies Gramado, Caxias e Alegrete. A Formação Serra Geral é predominante na área da bacia do Ibicuí; conjunto de rochas vulcânicas desde básicas até ácidas, com espessuras mais significativas, da ordem de 800 metros, cobrindo, aproximadamente, metade da superfície do estado do Rio Grande do Sul (Roisenberg e Viero, 2000). A Fácies Alegrete, presente na porção ocidental da bacia é

representada por derrames de composição intermediária a ácida, variando entre andesitos e riódacitos com estruturas de fluxo e autobrechas no topo e na base. A Fácies Gramado ocorre, principalmente, ao norte da porção oriental e com ocorrência mais restritas na porção central da bacia. É representada por derrames basálticos granulares de textura fanerítica fina a porfirítica, apresentando intercalações com os arenitos da Formação Botucatu. A Fácies Caxias ocupa exclusivamente a área norte da porção oriental da bacia, representando derrames de rochas ácidas acamadadas de matriz afanítica com fenocristais de plagioclásio e clinopiroxênio, com zonas vesiculares apresentando vesículas estiradas e vidro vulcânico maciço. Essas rochas estão posicionadas estratigraficamente acima das rochas básica);

- Pelitos Permeanos (são constituídos pelo Grupo Passa Dois, é representada por arenitos e arenitos argilosos com pouca cimentação, cuja ocorrência é limitada ao sul da Bacia do Paraná);
- Pelitos Triássicos (formados pelo Grupo Rosário do Sul, que é constituído por depósitos continentais Permo-Triássicos, sendo composto pelas formações Sanga do Cabral e Santa Maria. A Formação Sanga do Cabral ocupa a porção central e oriental da bacia, apresentando idade triássica, essa formação é constituída na base por conglomerados intraformacionais e arenitos conglomeráticos, mal selecionados, com estratificação cruzada acanalada e planar de pequeno a médio porte, associados a estas unidades ocorrem arenitos finos com laminação plano-paralela. A Formação Santa Maria ocorre restrita a borda leste da bacia no município de Santa Maria, apresenta idade triássica e possui duas porções distintas: a porção basal e é constituída por arenitos feldspáticos de canais fluviais de granulometria grossa a média e elevada porosidade, enquanto que a porção de topo compreende litofáciespelíticas de planícies de inundação formado por siltitos, maciços a pouco laminados (Nanni, 2008).

2.3. Descrição Hidrogeológica

No contexto do RS a BHib apresenta um total de 1.189 poços de captação de água subterrânea, sendo estes muito produtivos e de grandes capacidades específicas. Em toda sua extensão o Sistema Aquífero Guarani ocorre de forma confinada e/ou aflorante, formando zonas de recarga e descarga regional. Este fato lhe confere expressivo potencial hídrico e um caráter estratégico regional. As principais demandas de água subterrânea na BHib estão relacionadas ao abastecimento doméstico urbano e rural, conforme ilustra a Figura 2. Destaca-se o expressivo uso da água para irrigação (4% do total das demandas) proporção maior do que o observado para o restante do RS. Próximo aos centros urbanos, como o município de Alegrete, as proporções de uso

industrial são maiores. As sub-bacias de montante da BH1b evidenciam um perfil de uso mais associado a pequenas propriedades rurais (Kirchheim, Mattiuzi e Figueira, 2013).

De acordo com dados obtidos através do Sistema de Informações em Águas Subterrâneas (SIAGAS), praticamente a totalidade dos poços existentes nas sub-bacias de Azevedo Sodré e Passo da Cachoeira são utilizados para abastecimento doméstico. (CPRM, 2013b).

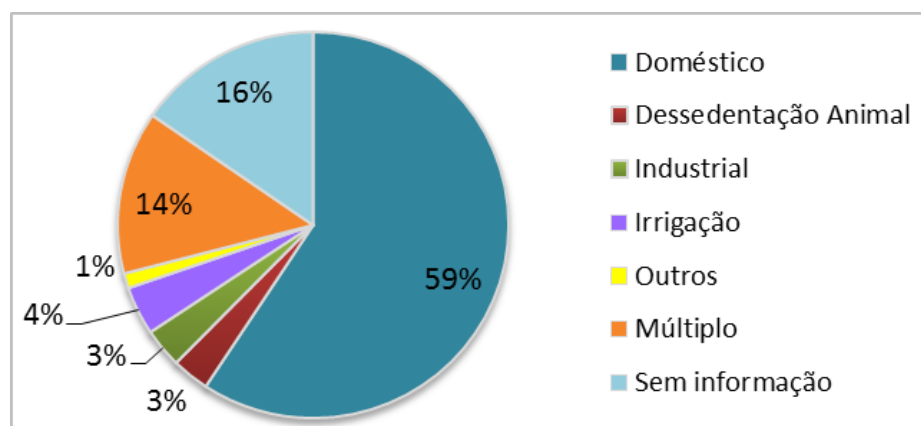


Figura 2. Demandas de Água Subterrânea na Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí

3. Metodologia

Para a aplicação do filtro de separação de escoamento de base e a posterior análise dos resultados são necessários os dados referentes às séries históricas de vazão, bacias hidrográficas delimitadas, dados de precipitação média no local, informações acerca da geologia, hidrogeologia e tipologia de solos da área estudada e um software de cálculo. A seguir estão descritos mais detalhadamente as etapas do processo.

3.1. Separação de Escoamento de Base

A metodologia utilizada no presente estudo para realizar a separação de escoamento de base foi a aplicação do Filtro Digital Recursivo de Eckhardt. Este método foi escolhido por diversos fatores, dentre eles a simplicidade de sua aplicação, já que é necessário um software simples de cálculo, e a disponibilidade de dados de postos fluviométricos com longas séries históricas.

O Filtro de Eckhardt é um algoritmo utilizado para calcular o fluxo de base em cursos d'água que faz a separação da vazão do rio em duas componentes: escoamento superficial (direto) e escoamento de base (indireto), conforme a Equação 1 (Eckhardt, 2005).

$$y_i = f_i + b_i$$

Equação 1

Onde

y = vazão do rio

f = escoamento superficial

b = escoamento de base

i = intervalo de tempo

Eckhardt (2005) demonstrou que diversos filtros poderiam ser equacionados de forma genérica (Equação 2) com uma restrição de que a vazão de base em qualquer tempo deve ser menor ou igual a vazão total do rio no mesmo tempo, ou seja, $b_i \leq y_i$.

$$b_i = A \times b_{i-1} + B \times y_i \quad \text{Equação 2}$$

Onde

b = escoamento de base

y = vazão do rio

A e B = parâmetros de cálculo

i = intervalo de tempo

De acordo com Eckhard (2005), os parâmetros A e B apresentados na Equação 2 podem ser expressos em função da constante de recessão “a” e do parâmetro BFImax (Base Flow Index maximum – Índice máximo de Escoamento de Base).

A constante de recessão “a” está relacionada com a descarga em um intervalo de tempo definido em períodos de recessão; nestes períodos não há entrada por precipitação e, portanto, o escoamento superficial (direto) é nulo, havendo uma descarga natural do aquífero. Dessa maneira a recarga aquífera pode ser estimada através destas análises de recessões (Domenico e Schwartz, 1990).

Para o cálculo da constante de recessão “a” deve-se inicialmente analisar o hidrograma do posto fluviométrico em busca de períodos característicos de recessão. O intervalo de tempo e seus respectivos valores de vazão são utilizados no cálculo da constante do período característico “k”, conforme Equação 3. Em seguida o valor de “k” é utilizado para o cálculo da constante “a” (Equação 4). Neste trabalho foi determinado um período de recessão para cada posto fluviométrico, baseado na premissa de que as recessões são periódicas.

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

Equação 3

$$a = e^{\frac{-\Delta t}{k}}$$

Equação 4

Onde

k = constante do período característico

Q = vazão

a = constante de recessão

O parâmetro BFI (Base Flow Index – Índice de Escoamento de Base) é a razão, a longo prazo, entre o fluxo de base e a vazão total, conforme a Equação 5. Já o BFI_{max} é um fator que restringe o BFI e é utilizado para o cálculo do algoritmo. É importante ressaltar que este parâmetro pode ser influenciado pela geologia local (Collischon & Fan, 2012).

$$BFI = \frac{\sum_{i=1}^N b_i}{\sum_{i=1}^N y_i}$$

Equação 5

Onde

BFI = Índice de Escoamento de Base

b = escoamento de base

y = vazão do rio

Eckhard (2005) definiu as Equações 6 e 7 para a determinação dos valores de B e A, respectivamente:

$$B = \frac{(1-a) \times BFI_{max}}{1-a \times BFI_{max}}$$

Equação 6

$$A = \left(\frac{1-BFI_{max}}{1-a \times BFI_{max}} \right) \times a$$

Equação 7

Dessa forma, a equação de Eckhardt para o filtro digital tem a seguinte forma (Equação 8), sujeito a $b_i \leq y_i$.

$$b_i = \frac{(1-BFI_{max}) \times a \times b_{i-1} + (1-a) \times BFI_{max} \times y_i}{1-a \times BFI_{max}} \quad \text{Equação 8}$$

Eckhardt (2005) propõe valores predefinidos para o parâmetro BFI_{max} , que são definidos a partir da natureza do curso d'água (perene ou efêmero) e da característica hidrogeológica do aquífero (poroso ou confinado). Estes valores foram determinados a partir da comparação de resultados de separação de escoamento de base por diversos métodos em diversos locais.

Collischonn & Fan (2012) propuseram outra forma para estimar o parâmetro BFI_{max} , baseada na relação das vazões Q_{90}/Q_{50} . Esta razão foi utilizada para calcular o BFI_{max} em 15 estações localizadas na região sul do Brasil, sendo obtidos resultados adequados. A partir disso foi realizada uma correlação e então obtida uma Equação (9) que relaciona o BFI_{max} com a razão Q_{90}/Q_{50} ; sujeito a $BFI_{max} < 1$.

$$BFI_{max} = 0.8344 \frac{Q_{90}}{Q_{50}} + 0.2146 \quad \text{Equação 9}$$

Esta equação está ajustada para as regiões sul e central do Brasil; como a nossa área de estudo está localizada na região sul, este método foi utilizado na estimativa do parâmetro BFI_{max} no presente estudo.

5.2. Dados Hidrológicos

Inicialmente foi realizada uma pesquisa pelo SNIRH (Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos) no qual foram selecionadas as estações fluviométricas da região hidrográfica da Bacia do Rio Ibicuí que continham uma série de dados históricos longa. Os dados de vazão foram obtidos a partir do Portal Hidroweb da Agência Nacional de Águas, no qual é possível realizar o download dos arquivos correspondentes a cada estação selecionada. Os cálculos referentes a aplicação dos filtros foram realizados utilizando o software *Microsoft Excel*. Foram inicialmente calculadas as vazões (Q_{90} , Q_{50} , $Q_{mín}$, $Q_{máx}$, Q_{med}) através das séries histórias diárias para cada estação fluviométrica selecionada.

5.3. Delimitação das Bacias Hidrográficas

As bacias hidrográficas foram delimitadas utilizando a ferramenta ArcHydro do software ArcMap (HGE, 2013). Foram utilizados como exutórios das bacias os postos fluviométricos selecionados para este estudo. Inicialmente foi obtido um MDT (Modelo Digital de Elevação) no website do Instituto de Ecologia da UFRGS (Labgeo, 2013).

5.4. Taxa de Recarga Aquífera

Para o cálculo da Taxa de Recarga Aquífera (mm/ano) são necessários os valores da vazão de base média para cada estação fluviométrica e a área de drenagem em cada sub-bacia, de acordo com a Equação 10.

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

Onde

TR = taxa de recarga aquífera (mm/ano)

b = média dos valores de vazão de base (m³/s)

A = área da bacia (m²)

1000 = fator de conversão de m para mm

31622400 = fator de conversão de segundos para ano

5.5. Precipitação Média nas Bacias

Para a obtenção do valor médio de precipitação das bacias delimitadas foi o utilizado também o software ArcMap. Inicialmente foi obtido o arquivo shapefile do Mapa de Isoietas de precipitações Médias Anuais do Brasil no Atlas Pluviométrico do Brasil, que apresenta os resultados de precipitação média para o período de 1977 a 2006 (30 anos) (CPRM, 2013a).

5.6. Evapotranspiração

Os valores de evapotranspiração (Et) para cada sub-bacia da Bacia do Rio Ibicuí foi realizado conforme a Equação 12:

$$Et = \frac{1-CE}{P_{med}}$$

Onde

CE = coeficiente de escoamento

P med = Precipitação média (mm/ano)

6. Resultados e Discussão

A seguir são apresentados os resultados da aplicação do filtro de Eckhardt para a separação de escoamento de base nas sub-bacias de Azevedo Sodré e Passo da Cachoeira. Foram realizados os cálculos das vazões e dos parâmetros necessários, a constante do período característico “k” e a constante de recessão “a”, e após a aplicação do filtro obteve-se a vazão de base média, e então foram calculadas, para cada sub-bacia, as taxas de recarga (mm/ano), a evapotranspiração (mm/ano), e a porcentagem da precipitação efetivamente disponível para recarga (TR/Pefe, sendo que a precipitação efetiva é precipitação total subtraída a evapotranspiração); os resultados estão na Tabela 1.

Nas Figuras 3 e 4 são apresentados os hidrogramas das estações de Azevedo Sodré e Passo da Cachoeira; pode-se visualizar que os resultados da aplicação do filtro representam adequadamente o comportamento do escoamento de base ao longo da série, como pode ser visto em períodos de recessão.

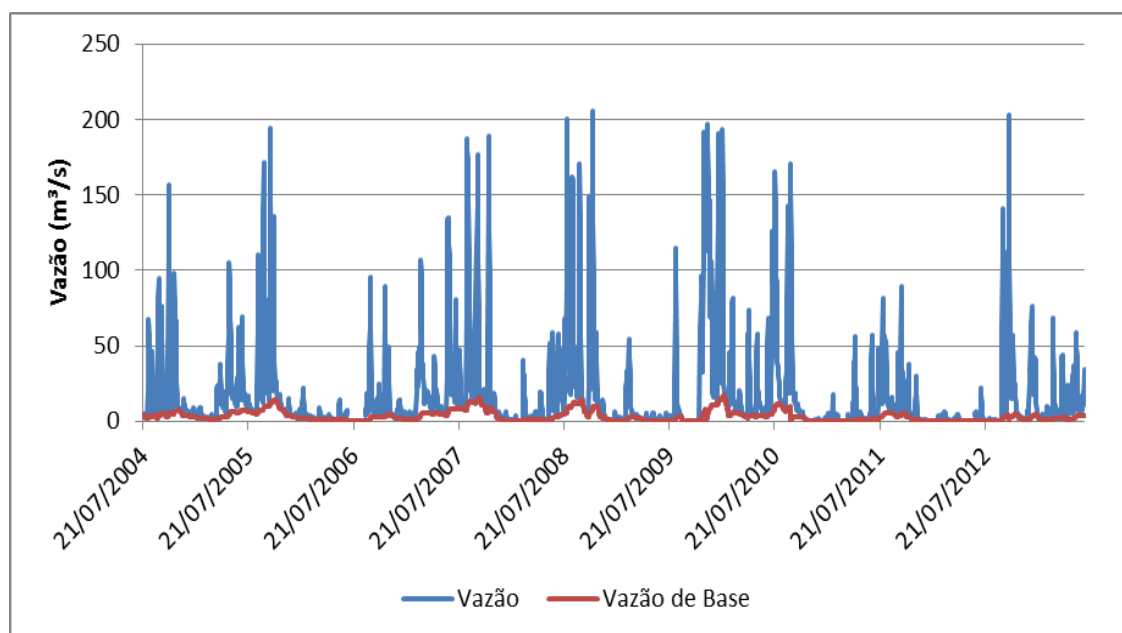


Figura 3. Hidrograma da Estação de Azevedo Sodré: Vazão e Vazão de Base

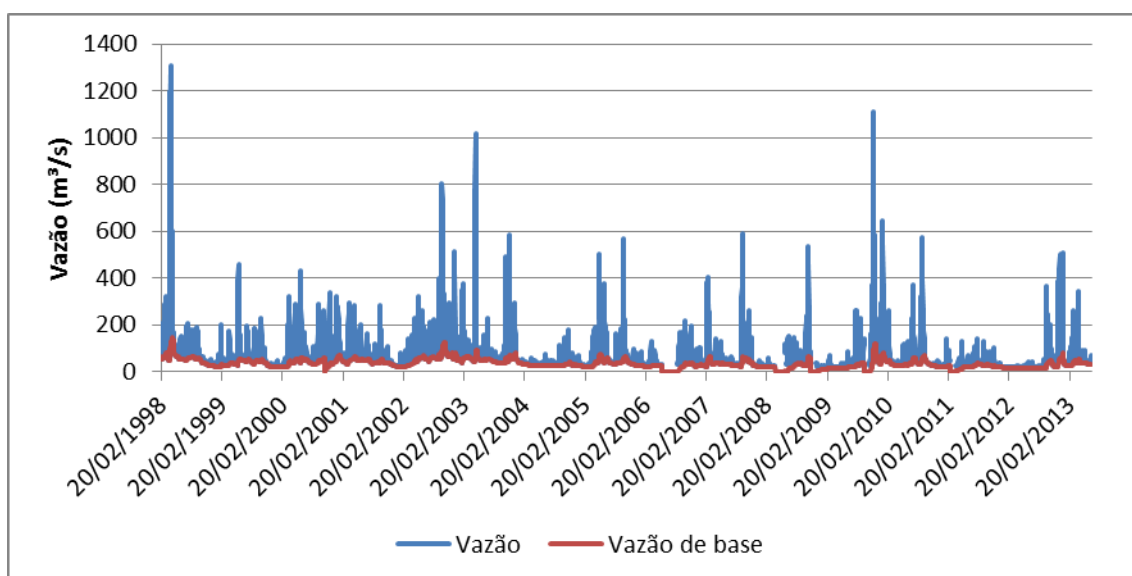


Figura 4. Hidrograma da Estação do Passo da Cachoeira: Vazão e Vazão de Base

Tabela 1. Resultados dos Cálculos de Taxa de Recarga, Evapotranspiração, Coeficiente de Escoamento e Porcentagens de Recarga para as Sub-bacias

Sub-bacia	Q med (m ³ /s)	Q base med (m ³ /s)	Precip (mm/ano)	Et (mm/ano)	P-Et	TR (mm/ano)	Rec %Pefe	A (km ²)
Azevedo Sodré	19.2	3.24	1607	1111.8	495.6	84	17%	1220
Passo da Cachoeira	65.7	30.7	1776	968.1	807.8	378.7	47%	2564

As diferenças entre os valores de recarga podem ser atribuídas a diversos fatores, como a geologia da bacia, o tipo e a espessura do solo, a intensidade de precipitação, entre outros. A seguir será aprofundada a discussão acerca destes fatores para as sub-bacias em questão.

A sub-bacia do Passo da Cachoeira apresentou um valor de recarga aquífera de 47%. Isto pode ser explicado devido ao arcabouço geológico da bacia ser majoritariamente permeável: esta sub-bacia apresenta uma composição de arenitos (71%), aluviões quaternários (7%) e derrames vulcânicos (22%). Além disso, sub-bacia possui uma tipologia de solo pouco argilosa, ou seja, muito permeável e bem drenada: 66% de latossolos, 29% de neossolos e 5% de nitossolos (Figura 5). Todas essas características apontam que a bacia possui uma boa capacidade de regularização de vazão e de rápida resposta em casos de eventos de precipitação ou recessão.

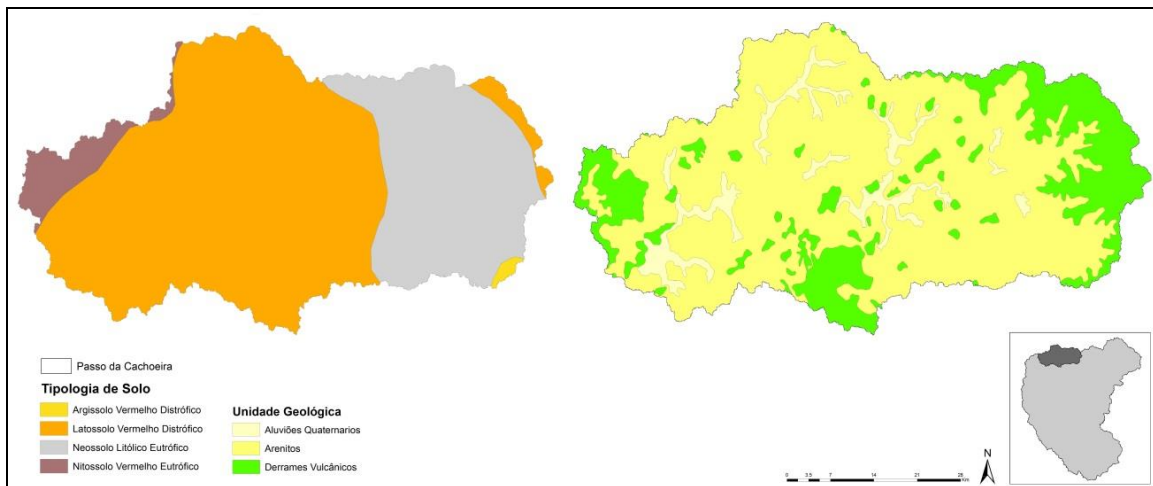


Figura 5. Unidades Geológicas e Tipologia de Solo da Sub-bacia do Passo da Cachoeira

A sub-bacia de Azevedo Sodré apresentou uma recarga aquífera de 17%: embora sua constituição geológica seja majoritariamente permeável – composta por 21% de aluviões quaternários, 44% de arenitos, 33% de pelitos permianos e 3% de pelitos triássicos -, a cobertura de solo é essencialmente argilosa (29% argissolo e 71% planossolo), conforme Figura 6; dessa forma, esta sub-bacia apresenta características de baixa capacidade de regularização de vazão, e uma lenta resposta a eventos de precipitação.

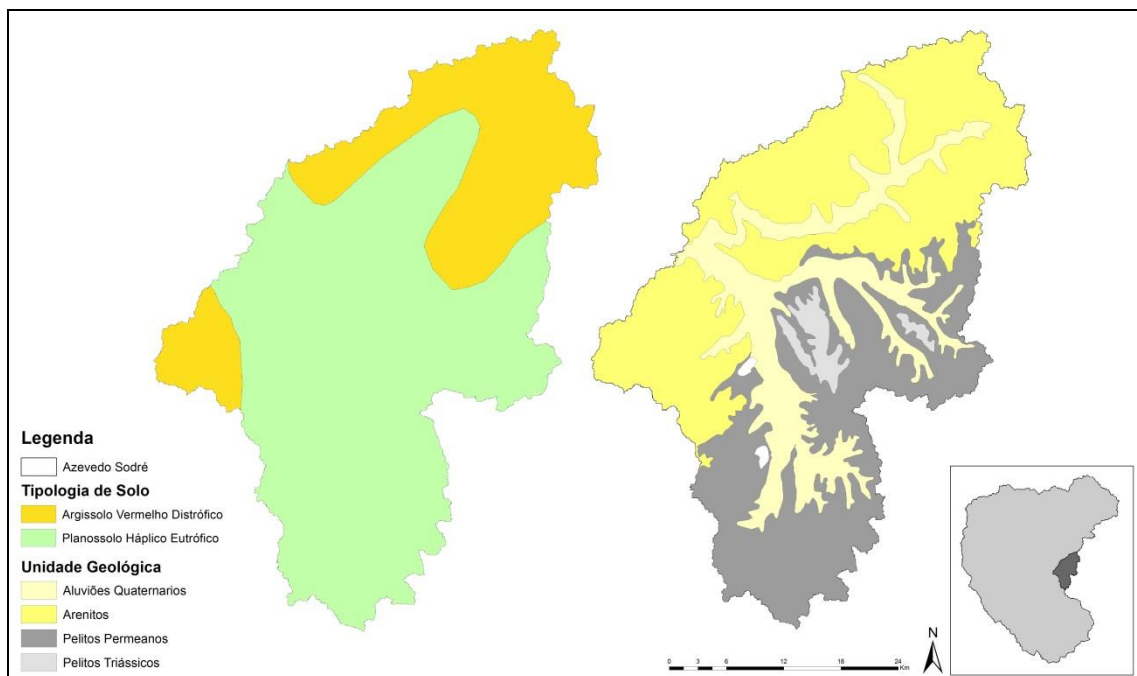


Figura 6. Unidades Geológicas e Tipologia de Solo da Sub-bacia do Azevedo Sodré

7. Conclusões

A partir da realização deste trabalho foi possível verificar que o método de separação de escoamento de base utilizando o Filtro de Eckhardt (Eckhardt, 2005) com o cálculo do parâmetro BFI_{max} através da metodologia proposta por Collischonn & Fan (2012) é uma metodologia eficaz e rápida para o dimensionamento das taxas de recarga aquíferas. Este método necessita de informações que estão disponíveis, o que facilita a sua utilização.

Entretanto, deve-se ressaltar que diversos dados utilizados neste trabalho possuem erros e incertezas, o que afeta o resultado final obtido. Dados como vazão e precipitação possuem erros de medição e consistência, mas ainda assim são considerados de excelente qualidade, devido à ampla rede de monitoramento existente no país e o trabalho que é realizado na consistência dessas medições. Os dados geológicos, hidrogeológicos e de tipologia de solos também apresentam um erro, e estão em constantes reestruturações. Ainda assim, todos estes dados são providos por excelentes agências de pesquisa, como a ANA, a CPRM e o IBGE, que realizam um grande esforço no sentido de disponibilizar dados de qualidade para os pesquisadores.

Quanto à interpretação dos resultados, foram utilizadas informações disponíveis (como os mapas Geológicos e Hidrogeológicos da CPRM, e o mapa de Solos do Brasil, do IBGE), que auxiliaram na caracterização da área estudada. Entretanto, um conhecimento mais aprofundado, proveniente de visitas à bacia do Rio Ibicuí, certamente auxiliaria neste tipo de estudo.

A partir do presente trabalho foi possível verificar as taxas de recarga aquífera para as sub-bacias de Azevedo Sodré e Passo da Cachoeira, localizadas na Bacia do Rio Ibicuí, foram de 17% e 47%, respectivamente. Estes valores foram relacionados com os dados disponíveis de precipitação e distribuição das unidades geológicas e de solo. Foi possível relacionar estes resultados com os dados disponíveis da composição geológica e de solos da região, bem como os dados de precipitação.

É importante ressaltar que devem ser realizados estudos mais aprofundados com relação a caracterização da área de estudo, principalmente nas questões geológicas (afloramentos, características diferenciadas das unidades, etc.) e de solos (espessura e materiais presentes nas camadas de solo, etc.).

O presente estudo tem como objetivo não somente determinar analiticamente as taxas de recarga aquífera, mas também apresentar esse método como um meio de obtenção de dados que viabilizem uma gestão adequada e integrada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Estes dados podem vir a auxiliar na tomada de decisão no processo de outorga de água, para que não ocorra uma superexploração dos mananciais.

Além disso, deve-se levar em consideração que ambos os mananciais, superficial e subterrâneo, não devem ser abordados separadamente, pois existe uma interferência mútua entre ambos. Assim, no processo de gestão da água na bacia hidrográfica, deve-se levar em consideração essa interação, bem como os limites de uso e recuperação de cada um deles.

Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. 2012. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: Informe 2012**. Brasília/DF, 215p.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. 2013. **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos**. Disponível em: < <http://www.snirh.gov.br>>. Acesso em: setembro, 2013.

COLLISCHONN, W.; FAN, F. 2012. **Defining Parameters for Eckhardt's Digital Base Flow Filter**. Hydrological Processes, 27 (18): 2614-1622.

COMPANHIA DE PESQUISA EM RECURSOS MINERAIS – CPRM. 2010. **Mapa Geológico do Rio Grande do Sul 1:750000**.

COMPANHIA DE PESQUISA EM RECURSOS MINERAIS – CPRM. 2013a. **Isoietas Anuais na escala 1:5.000.000**. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1351&sid=9>>. Acesso em: setembro, 2013.

COMPANHIA DE PESQUISA EM RECURSOS MINERAIS – CPRM. 2013b. **Sistema de Informação em Água Subterrânea**. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>>. Acesso em: 2013.

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

ECKHARDT K. 2005. **How to construct recursive digital filters for base flow separation**. HydrologicalProcess,19: 507-515.

EILERS, V.H.M. 2004. **Estimativa de Recarga de Águas Subterrâneas Utilizando o Método do Balanço Hídrico**. In: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Cuiabá/MS, 20p.

HIRATA, R.; ZOBBI, J.; OLIVEIRA, F. 2010. **Águas subterrâneas: reserva estratégica ou emergencial**. In: Bicudo, C.; Tundisi, J; Scheuenstuhel, M. (Org.). **Águas do Brasil: análises estratégicas**. 1. ed. São Paulo: Instituto de Botânica, v.1, p. 144-164.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2013. **Mapa de Solos do Brasil**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm>.

- KIRCHHEIM, R.E.; MATTIUZI, C.D.P.; FIGUEIRA, S.V. 2013. **Uso do SIAGAS como Ferramenta para o Diagnóstico das Águas Subterrâneas na Bacia do Rio Ibicuí/RS**. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves/RS.
- LABORATORIO DE GEOPROCESSAMENTO – LABGEO. 2013. **Download – Dados Espaciais para uso em SIG**. Disponível em: <<http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/>>. Acesso em: setembro, 2013.
- Mattiuzi, C.D.P. 2013. **Estimativa de Recarga a partir da Separação de Escoamento de Base na Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí/RS**. 72p. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Ambiental – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- NANNI, A. S. 2008. **O Flúor em Águas do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul: Origem e Condicionamento Geológico**. 127 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, RS.
- PROFIL. 2012. **Processo de Planejamento da Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí, Fases A e B**. Secretaria Estadual do Meio Ambiente, Rio Grande do Sul, 93p.
- ROISENBERG, A. & VIERO, A. P. 2000. **O Vulcanismo Mesozóico da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul**. In: Holz, M.; De Ros, L.F. Geologia do Rio Grande do Sul. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, p.355-374.
- VIEIRA, E.F. 1984. **Rio Grande do Sul; Geografia Física e Vegetação**. Ed. Sagra. Porto Alegre/RS.