



Estudo do balanço hídrico na bacia do rio Canoas em Urubici, SC, Brasil: subsídio à proteção da zona de recarga direta do Sistema Aquífero Guarani (doi:10.4136/ambi-agua.156)

Marcelo Pedroso Curtarelli¹; Daniel José da Silva¹; Celso Moller Ferreira²

¹Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina

E-mail: mpedroso.curtarelli@gmail.com; daniel@ens.ufsc.br

²Departamento de Engenharia Civil, Texas A&M University

E-mail: celsoferreira@tamu.edu

RESUMO

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) é considerado um dos maiores reservatório de águas subterrâneas transfronteiriços do mundo, o conhecimento das características hidrogeológicas do SAG é muito incipiente e irregular pelos países que o abrangem. No Brasil, o SAG se distribui por oito estados, existindo áreas razoavelmente bem conhecidas, como nos estados de São Paulo e Paraná, contrastando com poucas ou quase ausência de informações em outros estados. Este trabalho teve como objetivo estudar os componentes do balanço hídrico superficial na bacia hidrográfica do rio Canoas, no município de Urubici, localizado na Serra Geral Catarinense, Zona de Recarga Direta do Sistema Aquífero Guarani – ZRD/SAG, e identificar quais sub-bacias dentro da área de estudo são mais propícias à recarga direta do SAG. Foi utilizada a metodologia proposta pela UNESCO, descrita no guia para elaboração do balanço hídrico na América do Sul, sendo levados em consideração os seguintes fatores: precipitação, escoamento superficial e evapotranspiração. O armazenamento de água calculado para a bacia é de cerca de 63,9 mm ao ano, os meses de julho e de janeiro são os mais propícios ao armazenamento de água na bacia. As sub-bacias do rio do Cachimbo e do rio dos Bugres são as que mais contribuem com o armazenamento de água global na bacia, com 170,6 mm e 91,6 mm armazenados respectivamente. As sub-bacias do Alto Canoas, rio do Cachimbo e rio dos Bugres foram as que apresentaram condições mais propícias para a recarga direta do SAG.

Palavras-chave: Sistema Aquífero Guarani; recarga direta; balanço hídrico.

Study of water balance in Canoas river basin, Urubici, SC, Brazil: subsidy to protect the direct recharge zone of Guarani Aquifer System

ABSTRACT

The Guarani Aquifer System (GAS) is considered one of the largest transboundary reservoir of groundwater in the world, however, the knowledge of the hydrogeological characteristics of the GAS is very incipient and irregular by the countries that cover it. In Brazil, the GAS is distributed by eight states, where some areas are reasonably well known, as in the states of São Paulo and Paraná, while in contrast in other states there is little or no information. This paper aimed to study the components of the surface water balance of the Canoas river basin in the city of Urubici, located in the Serra Geral of Santa Catarina, a direct recharge zone of the Guarani aquifer system - DRZ/GAS. The methodology proposed by UNESCO, described in the Guide for elaboration of water balance in South America, was used taking into account the following factors: rainfall, runoff and evapotranspiration. The storage of water in the basin is about 63.9 mm per year, and the months of July and January are most prone to water storage in the basin. The sub-basins of Cachimbo's river and the

Bugre's river are the ones that most contribute to the overall water storage in the basin, with 170.6 mm and 91.6 mm respectively. The sub-basins of the Alto Canoas, Cachimbo's river and Bugre's river showed favorable conditions for direct recharge of the SAG.

Keywords: Guarani Aquifer System; direct recharge; water balance.

1. INTRODUÇÃO

Desde as primeiras civilizações, as pessoas retiram água de poços e fontes subterrâneas, mas foi somente nos últimos 50 anos que essa extração atingiu um nível exagerado, por causa do crescimento populacional e da conseqüente demanda por mais alimentos e água. Quase todos os aquíferos do mundo estão sendo explorados por sua preciosa riqueza e apesar de imensas, essas reservas estratégicas não são inesgotáveis, visto que há muitos anos o nível de suas águas vem baixando rapidamente. A taxa com que a água é consumida dos aquíferos está sendo maior do que a taxa de reposição natural das águas nestes. Um dos principais mecanismos de recarga dos aquíferos é a infiltração da precipitação pelo solo, mas esse processo pode levar centenas, ou até milhares de anos, transformando essa água num recurso não renovável (Clarke e King, 2005).

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) é considerado um dos maiores reservatório de águas subterrâneas transfronteiriços do mundo, tanto em extensão territorial como em volume de água armazenada, se estendendo por uma área de aproximadamente 1,1 milhões de km² e com um volume estimado em cerca de 37.000 km³. Está situado na bacia sedimentar do Paraná, localizada na porção centro-leste da América do Sul, distribuindo-se irregularmente por quatro países, Brasil, Paraguai, Uruguai e Argentina, e aproximadamente 70% de sua área está situadas dentro do território brasileiro. O SAG possui 90% de sua área total confinada, recoberta por uma espessa camada de rochas basálticas da formação Serra Geral e os afloramentos de arenito ocorrem nas bordas do aquífero. O conhecimento das características hidrogeológicas do SAG é muito incipiente e irregular pelos países que o abrangem. Tanto as zonas de recarga como as de descargas estão associadas a afloramentos de rocha arenítica onde a água se infiltra diretamente no aquífero a partir da precipitação ou por rios que atravessam essas rochas. Essa área de afloramento de rocha arenítica por onde a água penetra diretamente no aquífero é conhecida tecnicamente como Zonas de Recarga Direta – ZRD - (Rocha, 1997; Rebouças e Amore, 2002; Borghetti et al., 2004; Gastmans e Kiang, 2005).

No Brasil, o SAG se distribui pelos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, existindo áreas razoavelmente bem conhecidas, como nos estados de São Paulo e Paraná, contrastando com poucas ou quase ausência de informações em outros estados. As principais áreas de recarga direta em solo brasileiro ocorrem nos estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul, Goiás, Paraná e Santa Catarina (Borghetti et al., 2004). No estado de Santa Catarina, a área de afloramento do SAG é de cerca de 5.984 km², abrangendo os municípios da região de Lages, bem como aqueles localizados na região de União da Vitória, próximos à divisa com o estado do Paraná, como Porto União e Lebon Régis. Essa área estende-se ao sul até a divisa com o Rio Grande do Sul e está inserida entre as coordenadas 26°15' e 28°30' Sul e 49°20' e 51°05' Oeste. A porção de recarga nesse estado apresenta uma faixa bastante delgada, tendo em alguns locais menos de 1 km de largura, (Borghetti et al., 2004). Segundo Praun Jr. (2007), dentro do traçado Sul/Norte são, aproximadamente, 500 km de afloramento, a largura oscila de acordo com a distância dos cursos d'água e as bacias hidrográficas que estão na região ZRD/SAG. Esse traçado percorre 47 municípios de norte a sul de Santa Catarina.

Para Almeida Neto et al. (2005), o balanço hídrico relaciona a quantidade de cada componente do ciclo hidrológico, podendo ser efetuado em diversos níveis, de acordo com o volume de controle: uma bacia hidrográfica, por exemplo. Segundo Barreto (2006), o balanço hídrico considera os principais processos hidrológicos como entrada e saída de um balanço

volumétrico, sendo essas variáveis baseadas nos fenômenos hidrológicos de maior relevância. O estudo do balanço hídrico total é recomendado para a estimativa de recarga, pois nele são levados em consideração todos os fatores que influenciam a recarga como a precipitação, escoamento superficial e evapotranspiração (Gomes, 2008; Senarath e Rushton, 1984). Uma das maiores vantagens da utilização do método do balanço hídrico para quantificar os recursos hídricos está no fato de que os dados utilizados nos cálculos geralmente são bem acessíveis, porém, esse método encontra limitações com relação a sua precisão, fato este que está diretamente ligado a precisão com que os dados de entrada para a equação foram estimados ou medidos (Scanlon et al., 2002).

É nesse contexto que se insere a proposta deste trabalho, que tem o objetivo de quantificar os componentes do balanço hídrico superficial na bacia do rio Canoas em Urubici e identificar em quais sub-bacias ocorre o maior armazenamento de água e são mais propícias à recarga direta do SAG.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

Urubici é um município do estado de Santa Catarina, região sul do Brasil, localizado entre as coordenadas 28°00'54" sul e 49°35'30" oeste, (Figura 1). Está localizado na região hidrográfica 4 - Planalto de Lages -, abrigando em seu território as nascentes de dois importantes rios, Pelotas e Canoas, da bacia hidrográfica do rio Uruguai, além disso, Urubici tem parte de seu território dentro da ZRD/SAG, representada pelos afloramentos do arenito Botucatu (Praun Jr., 2007).

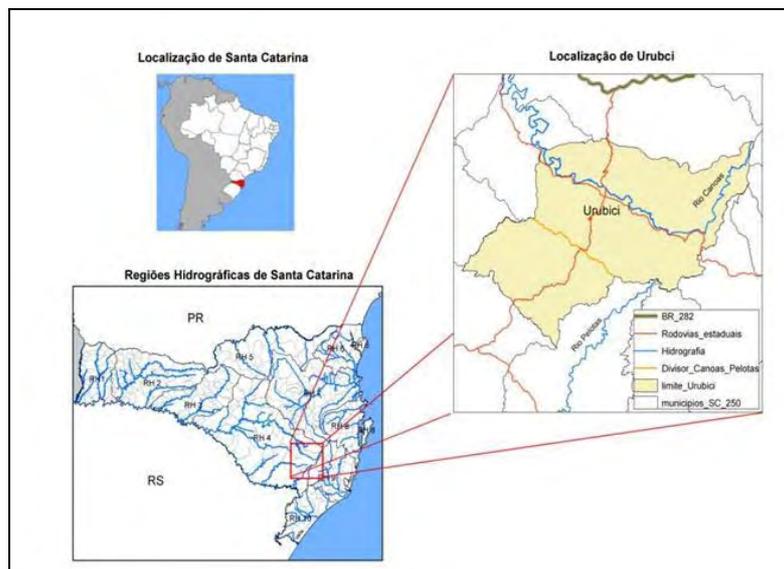


Figura 1. Localização da área de estudo.

2.2. Delimitação da bacia hidrográfica do rio Canoas em Urubici

Os divisores da bacia hidrográfica do rio Canoas no município de Urubici, suas sub-bacias e a sua rede hidrográfica foram definidos utilizando o *software* ArcGIS 9.2, os limites das unidades hidrográficas de Santa Catarina adquiridos através da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI-, a divisão político-administrativa do estado de Santa Catarina adquirida no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e a hidrografia da bacia hidrográfica do rio Uruguai adquirida na Agência Nacional das Águas – ANA-. Todos os dados foram adquiridos gratuitamente pelos *sites* das referidas instituições em formato vetorial *shapefile*, georreferenciados no datum South American 1969 (SAD 69). Após a definição dos divisores da bacia, foi calculada sua área e perímetro utilizando-se a ferramenta *measures* do *software* ArcGIS 9.2.

2.3. Cálculo da precipitação média de longo período

Para realizar o cálculo da precipitação média de longo período foram utilizados dados de nove estações pluviométricas, com séries históricas adequadas e consistentes, localizadas próximas à bacia do rio Canoas em Urubici, uma das estações está localizada dentro da bacia.

Os dados históricos de precipitação mensal foram adquiridos no “site” da Agência Nacional de Águas – ANA – pelo Sistema de Informação Hidrológica – Hidroweb-. A Tabela 1 mostra a relação de estações pluviométricas utilizadas para o estudo da precipitação média de longo período na bacia.

Tabela 1. Estações pluviométricas selecionadas para o estudo.

Código estação	Nome	Município	Responsável	Operadora	Altitude (m)
2750007	Painel	Painel	ANA	CPRM	1196
2749035	Bocaina do Sul	Lages	ANA	CPRM	900
2749009	Rio Bonito	Lages	ANA	CPRM	900
2749031	Vila Canoas	Lages	ANA	CPRM	900
2849009	Bom Jardim da Serra	Bom Jardim da Serra	ANA	CPRM	1200
2849021	São Joaquim	São Joaquim	INMET	INMET	1415
2849025	Urubici	Urubici	ANA	CPRM	997
2749007	Lomba Alta	Alfredo Wagner	ANA	EPAGRI	550
2749027	Anitápolis	Anitápolis	ANA	EPAGRI	500

Para homogeneizar os dados de todas as estações para o mesmo período (1980 - 2006) foi necessário realizar o preenchimento das falhas de alguns meses. Foram considerados meses com falhas aqueles em que não havia o registro pluviométrico. O preenchimento de falhas foi calculado conforme Equação 1 (UNESCO, 1982):

$$Px = \left(\frac{Pa}{Ma} + \frac{Pb}{Mb} + \frac{Pc}{Mc} \right) \frac{Mx}{3} \quad [1]$$

Em que: Px é a precipitação estimada no posto com falha; Pa, Pb e Pc são precipitações registradas nos postos vizinhos; Ma, Mb e Mc são as precipitações médias anuais nos postos vizinhos; Mx é a precipitação média anual no posto a ser preenchido.

Após o preenchimento de todas as falhas, foi necessário realizar análise de consistência dos dados. Essa análise é necessária para verificar se os dados observados por cada estação foi bem feito durante todo o período de estudo, com o mesmo critério, e se as instalações das estações não sofreram nenhum tipo de variação, também é utilizada para verificar se os dados

preenchidos estão coerentes. A análise de consistência foi feita pelo método das curvas duplas acumuladas ou dupla acumulação (UNESCO, 1982).

A precipitação média de longo período e sua distribuição sazonal foi calculada pelo método das isoietas, por meio da interpolação de dados das estações pelo método de *Kriging* utilizando o *software* ArcGIS 9.2. (Alves et al., 2005; Ferreira, 2007).

2.4. Cálculo do escoamento superficial médio de longo período

O cálculo do escoamento superficial médio de longo período foi feito utilizando-se o estudo de regionalização das vazões médias de longo período, realizado por um consórcio de empresas privadas, contratadas em parceria, pelas Secretarias de Estado da Agricultura e Desenvolvimento Rural e a de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina, para servir como instrumento de gestão em bacias onde não existiam séries históricas de dados fluviométricos, ou onde estas não eram confiáveis (Engecorps et al., 2006). O objetivo desses estudos de regionalização de vazão para o estado de Santa Catarina foi definir relações funcionais que permitam determinar, de forma fácil e precisa, os parâmetros necessários para a caracterização de disponibilidade hídrica natural das bacias hidrográficas do estado de Santa Catarina. Para o cálculo da vazão média de longo período, o estado foi dividido em regiões homogêneas. Para a bacia do rio Canoas, foi utilizada a Equação 2 da região homogênea M1, mostrada a seguir (Engecorps et al., 2006):

$$Q_{mlp} = 1,24 \cdot 10^{-4} \cdot P_{mlp}^{0,759} \cdot AD^{0,968} \quad [2]$$

Em que: Q_{mlp} é a vazão média de longo período na bacia (m^3/s); P_{mlp} é precipitação média de longo período na bacia (mm); AD é a área de drenagem da bacia (km^2).

Para o cálculo da distribuição sazonal, foram utilizados os coeficientes da Tabela 2 que relacionam a vazão média de longo período com a vazão média mensal.

Tabela 2. Relação entre vazão média mensal e vazão média de longo período.

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0,9	1,14	0,91	0,68	0,78	0,84	1,04	1,17	1,37	1,34	1,01	0,82

Fonte: adaptado de Engecorps et al. (2006).

2.5. Cálculo da evapotranspiração de referência

Devido à inexistência de estação meteorológica na bacia do rio Canoas, em Urubici e, conseqüentemente, de dados de temperaturas médias mensais que serviriam de entrada em modelos comumente utilizados para cálculo de evapotranspiração, foi utilizado um estudo realizado por técnicos da EPAGRI, em que foi estimada a evapotranspiração de referência mensal e anual para todo o estado de Santa Catarina em função das coordenadas geográficas, latitude, longitude e altitude do local. Para essa estimativa, foram utilizadas séries históricas de períodos não uniformizados, com no mínimo oito anos de registros. Para o cálculo da evapotranspiração de referência (mensal e anual) na bacia, foi utilizada a Equação 3 (Massignam e Pandolfo, 2006).

$$ETP_0 = a + b \cdot alt + c \cdot lon + d \cdot lat \quad [3]$$

Em que: ETP_0 é a evapotranspiração de referência na bacia (mm); alt é a altitude média da bacia (m); lat é a latitude do centro da bacia; lon é a longitude do centro da bacia; a , b , c e d são coeficientes para cálculo da evapotranspiração de referência (mensal e anual) e são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3. Coeficientes para cálculo da ETP₀.

Mês	a	b	c	d
Jan	7,57	-0,036	-1,61	3,4
Fev	66,32	-0,0306	-2,02	2,07
Mar	123,89	-0,0287	-2,44	1,03
Abr	178,66	-0,0188	-2,52	-0,68
Jun	152,99	-0,012	-1,49	-1,16
Jul	126,27	-0,0064	-1,22	-1,07
Ago	107,11	-0,0052	-1,69	-0,46
Set	78,41	-0,0056	-2,02	0,46
Out	40,45	-0,0085	-1,63	1,21
Nov	43,75	-0,0147	-2,88	2,26
Dez	19,15	-0,021	-2,43	2,87
Anual	1,59	-0,0303	-2,37	3,7

Fonte: Massignam; Pandolfo, (2006).

2.6. Cálculo do armazenamento de água na bacia

O estudo do balanço hídrico superficial da bacia se baseou na aplicação do princípio da conservação de massas, também conhecido como equação da continuidade. Esta estabelece que, para qualquer volume arbitrário e durante qualquer período de tempo, a diferença entre as entradas e saídas estará condicionada a variação de volume de água armazenado.

Considerando a precipitação a única entrada de água superficial e a evapotranspiração e o escoamento superficial na calha do rio Canoas as únicas saídas de água, o balanço hídrico superficial na bacia do rio Canoas pode ser calculado através Equação 4 (UNESCO, 1982):

$$\Delta S = P_{mlp} - Q_{mlp} - ETP_0 \quad [4]$$

Em que P_{mlp} é a precipitação média de longo período (mm); Q_{mlp} é o escoamento superficial médio de longo período (mm); ETP_0 é a evapotranspiração de referência (mm); ΔS é o armazenamento de água na bacia (mm).

O armazenamento de água anual foi calculado para cada uma das sub-bacias delimitadas dentro da área de estudo, aplicando-se a Equação 4 para cada uma delas.

2.7. Identificação das sub-bacias mais propícias à recarga direta do SAG

Para identificação das sub-bacias mais propícias à recarga direta do SAG foram utilizados os seguintes critérios: armazenamento de água calculado na sub-bacia, área de ocorrência de afloramento do SAG na sub-bacia e relevo dentro da área de afloramento do SAG.

Os afloramentos do SAG foram definidos utilizando-se a carta geológica do estado de Santa Catarina, em escala 1:500.000, obtida no Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM-. A classificação do relevo foi feita com base na declividade, utilizando-se os critérios apontados pela EMBRAPA, 1979. A declividade, por sua vez, foi calculada utilizando-se as curvas de nível das cartas topográficas 1:50.000 do IBGE, obtidas por meio da EPAGRI em formato vetorial *shapefile*, projeção UTM e georreferenciada em relação ao datum SAD 69. Essas duas informações juntamente com o valor do armazenamento de água calculado em cada uma das sub-bacias foram analisados dentro de um ambiente SIG do *software* ArcGIS 9.2.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A bacia do rio Canoas, em Urubici, SC possui 70.340 ha de área e cerca de 142 km de perímetro. A Figura 2 mostra os limites da bacia do rio Canoas, em Urubici, suas sub-bacias e sua rede hidrográfica.

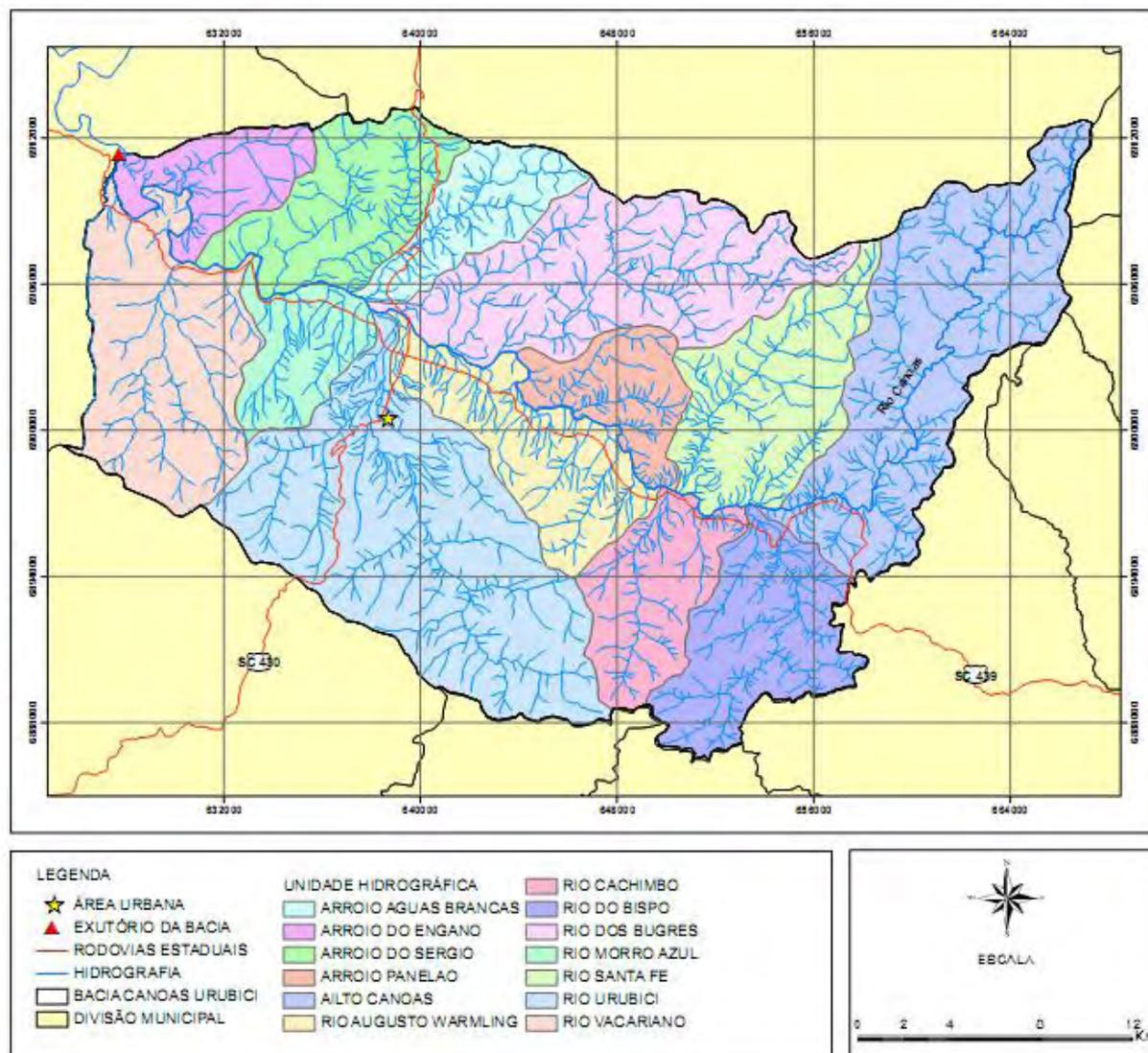


Figura 2. Bacia do rio Canoas em Urubici, suas sub-bacias e rede hidrográfica.

A bacia do rio Canoas em Urubici é subdividida em 13 sub-bacias, classificadas como microbacias ou complexos hidrológicos pela EPAGRI. A sub-bacia do rio Urubici é a que possui maior área com cerca de 12.742 ha.

A precipitação média de longo período na bacia para o período de 1980 a 2006, obtida pelo método das isoietas é de 1.597,7 mm. A Figura 3 mostra o gráfico com a variação sazonal da precipitação estimada pelo método das isoietas. É possível notar que a precipitação se distribui por todos os meses do ano com picos no verão e inverno. O mês em que ocorre o maior volume de precipitação é janeiro com 178,3 mm e o em que ocorre o menor volume é abril com 99,08 mm.

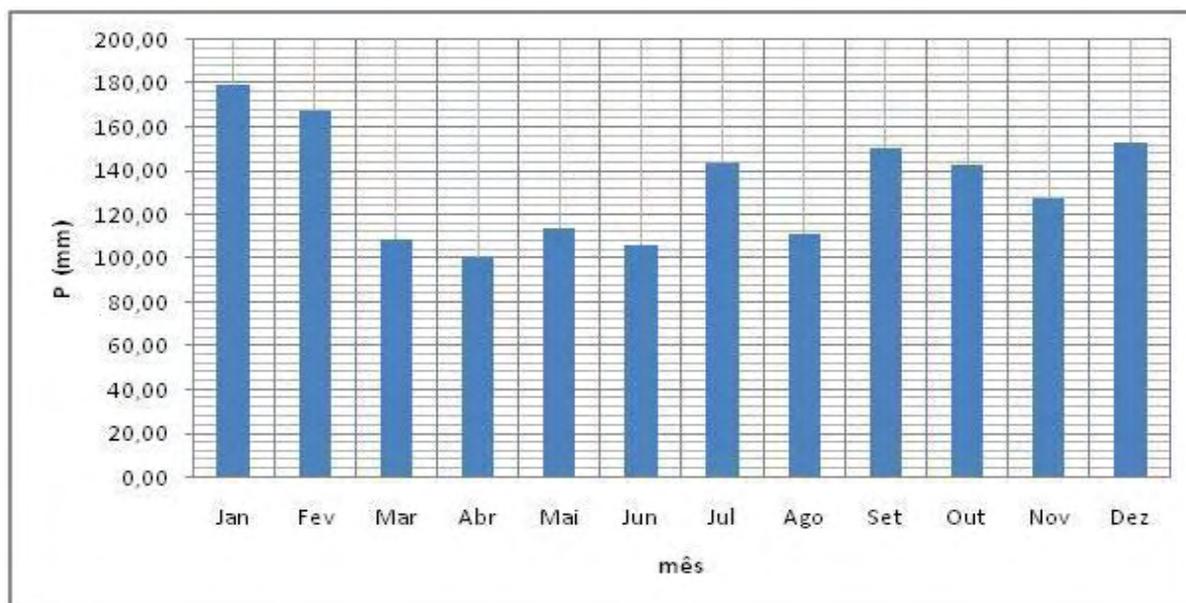


Figura 3. Variação sazonal da precipitação (1980 – 2006).

A vazão média de longo período calculada para a bacia foi de 19,09 m³/s o que representa em média 860,47 mm escoados superficialmente por ano. A Figura 4 mostra a representação gráfica da variação sazonal da vazão média de longo período. Nota-se que os picos de vazão da bacia são nos meses de setembro e outubro, com 26 m³/s e 25,5 m³/s respectivamente. No mês de abril, o rio Canoas apresenta sua menor vazão média mensal com cerca de 13 m³/s.



Figura 4. Variação sazonal da vazão (1980 -2006).

A evapotranspiração de referência calculada para a bacia foi de 673 mm. A evapotranspiração é maior nos meses do verão, em janeiro apresenta seu maior valor cerca de 86 mm. O mês que apresenta menor evapotranspiração é julho com cerca de 30 mm. A Figura 5 mostra a variação sazonal da evapotranspiração na bacia.

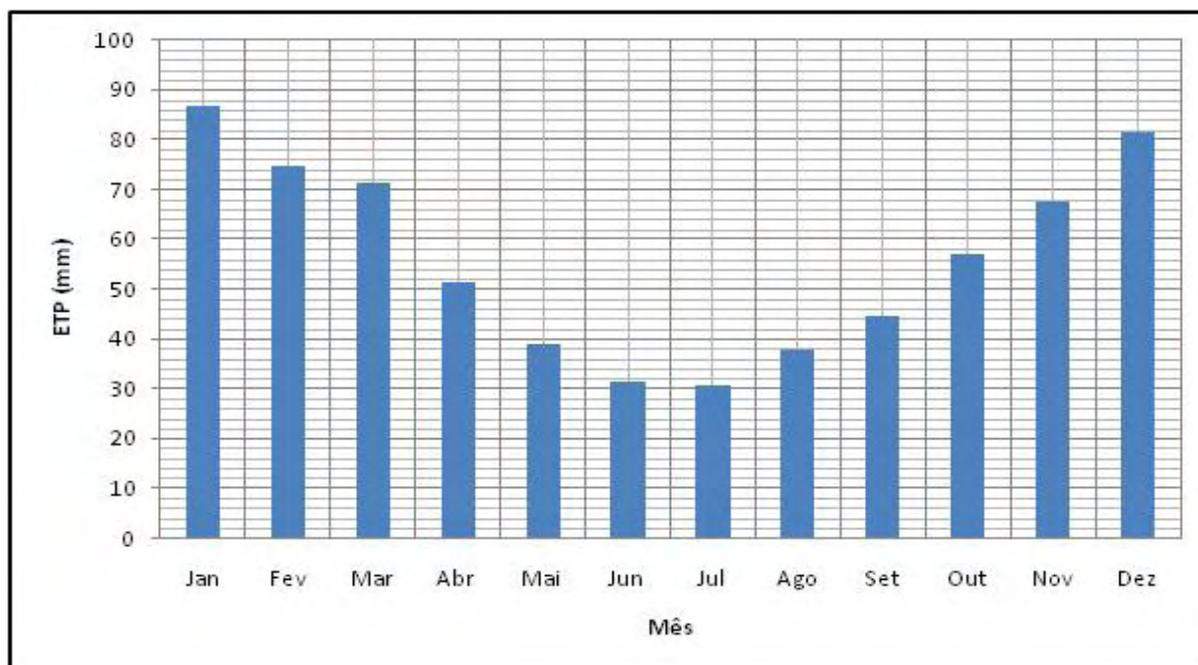


Figura 5. Variação sazonal da evapotranspiração de referência.

O armazenamento de água na bacia foi calculado em 63,89 mm anuais em média, o que representa cerca de 0,044 Km³/ano de água armazenados. A Figura 6 mostra a distribuição sazonal do armazenamento de água calculado para a bacia.

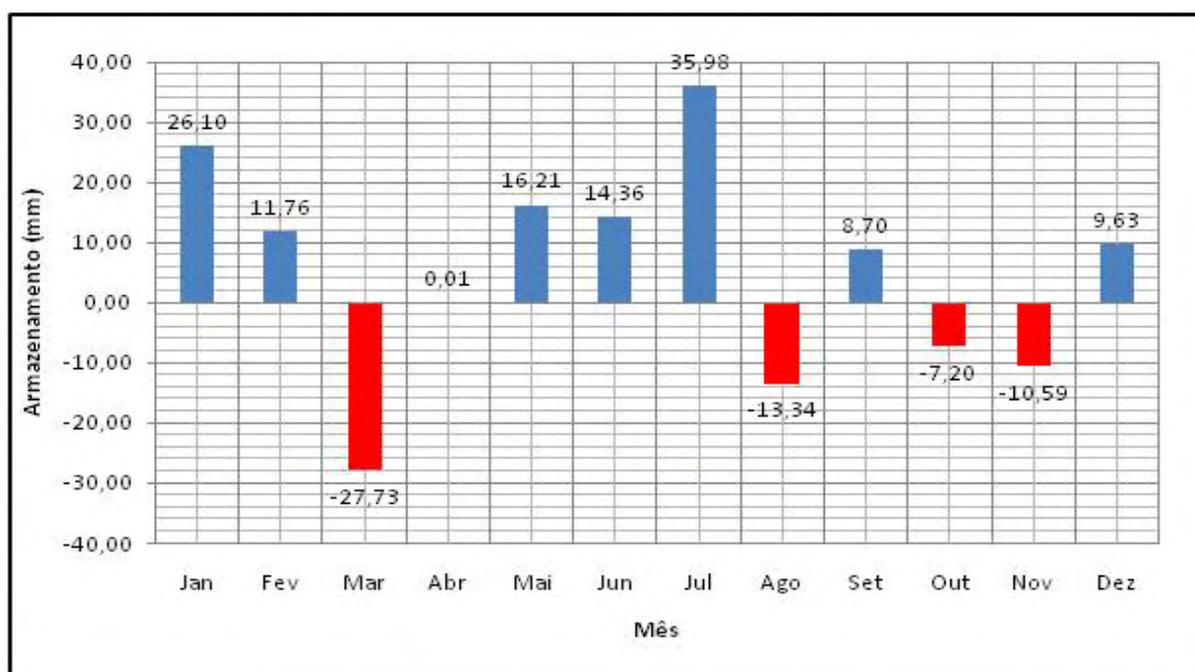


Figura 6. Variação sazonal do armazenamento de água (1980 – 2006).

É possível notar que os meses de março, agosto, outubro e novembro apresentam um déficit no armazenamento de água na bacia, março é o mês que apresenta o maior déficit com cerca de 27,73 mm, os demais meses apresentam um armazenamento positivo, o mês de julho é o que apresenta o maior armazenamento com cerca de 35,98 mm de água armazenados.

A Tabela 4 mostra o cálculo das componentes do balanço hídrico superficial para as sub-bacias identificadas dentro da área de estudo. A sub-bacia do Arroio do Engano é a que

apresenta o maior déficit anual no armazenamento de água com 92,86 mm e a sub-bacia do rio do Cachimbo é a que mais contribui com o armazenamento de água anual com 170,55 mm.

Tabela 4. Componentes do balanço hídrico calculados para cada uma das sub-bacias (1980 -2006).

Sub-Bacia	Área (ha)	Pmlp (mm)	Qmlp (m ³ /s)	ETP0 (mm)	ΔS (mm)
Alto Canoas	9970,94	1650,36	2,88	652,16	87,32
Arroio Águas Brancas	2672,96	1614,2	0,81	702,91	-44,36
Arroio do Engano	2423,36	1600,65	0,73	743,54	-92,86
Arroio do Sérgio	4411,44	1600,79	1,33	732,01	-82,00
Arroio Panelão	2529,47	1559,1	0,70	752,83	-66,45
Rio Augusto Warmiling	4457,24	1544,76	1,21	735,21	-46,55
Rio do Bispo	4742,67	1599,01	1,25	694,36	73,47
Rio do Cachimbo	3550,85	1585,99	0,81	696,06	170,55
Rio dos Bugres	8115,33	1585,68	2,03	705,15	91,68
Rio Morro Azul	2465,3	1531,2	0,65	744,45	-44,73
Rio Santa Fé	5283,65	1559,73	1,36	698,01	49,99
Rio Urubici	12742,46	1544,13	3,45	687,66	2,64
Rio Vacariano	6974,72	1515,45	1,88	700,22	-34,81

A ZRD/SAG possui uma área de cerca de 11.600 ha e um perímetro de 569,95 km. A Tabela 5 mostra as áreas de cada uma das classes de relevo calculadas para a ZRD/SAG na bacia do rio Canoas em Urubici. Cerca de 45,67% da ZRD/SAG possuem relevo fortemente montanhoso, o que não favorece a recarga direta do SAG, porém é possível notar que cerca de 14% da ZRD/SAG possuem relevo de plano, suavemente ondulado, e ondulado que são mais favoráveis à recarga direta.

Tabela 5. Classes de relevo na bacia do rio Canoas, em Urubici.

Faixa declividade (%)	Classe	Área (ha)	Área (%)
0 a 3	Relevo plano	646,55	6,00
3 a 8	Relevo Suavemente Ondulado	212,31	1,82
8 a 20	Relevo Ondulado	767,15	6,13
20 a 45	Relevo Fortemente Ondulado	1516,93	13,02
45 a 75	Relevo Montanhoso	3187,42	27,36
> 75	Relevo Fortemente Montanhoso	5320,28	45,67

A Figura 7 mostra os limites e declividades da ZRD/SAG dentro da bacia do rio Canoas, em Urubici. É possível notar que mesmo se tratando de um relevo predominantemente do tipo montanhoso, com declividade superior a 75%, existem áreas com relevo do tipo plano, onde a declividade varia de 0 até 3%, sendo cerca de 6% de toda área da ZRD. As áreas de menor declividade são representadas pelos tons verdes no mapa.

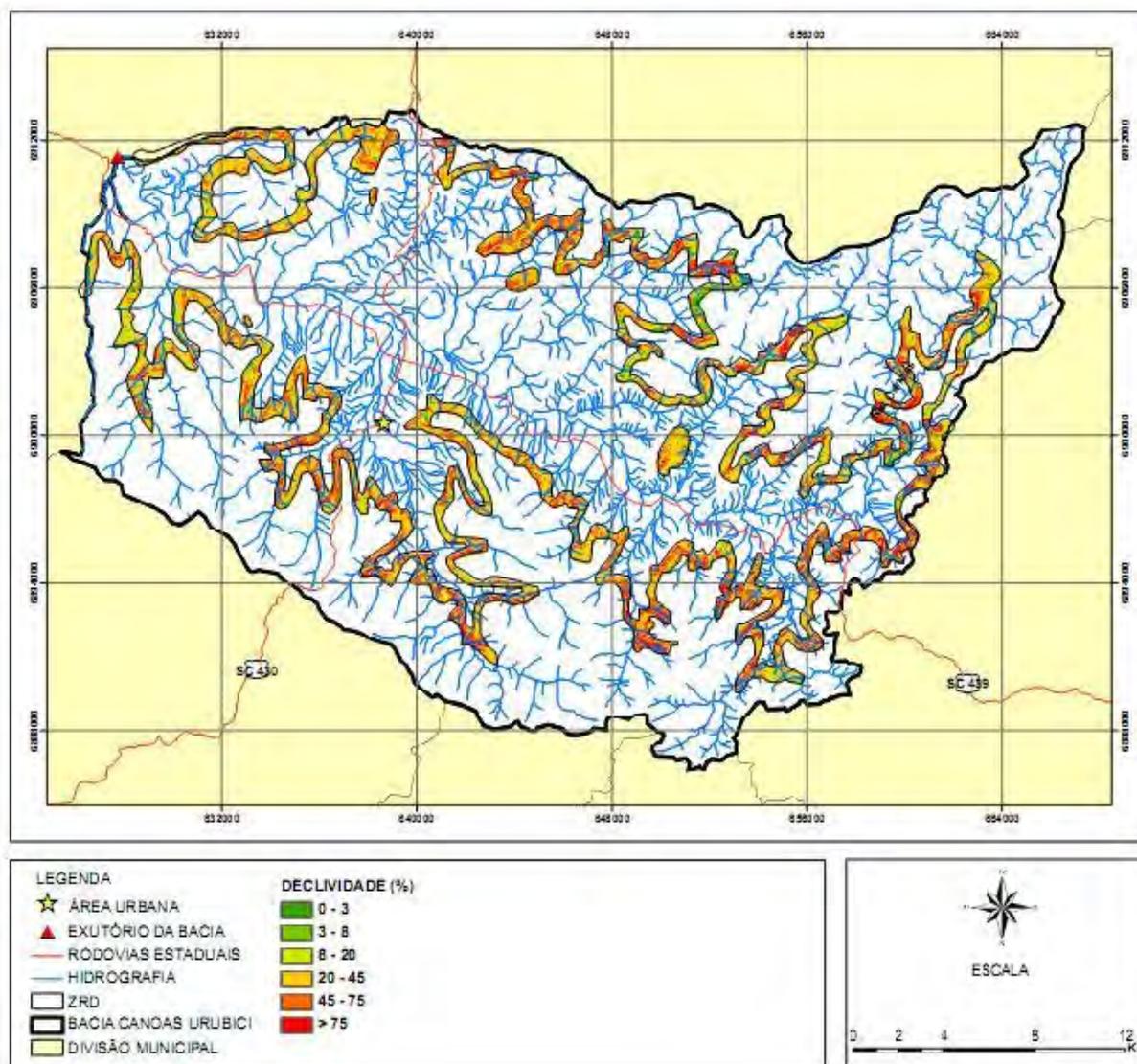


Figura 7. Mapa de declividades dentro da área de afloramento do SAG na bacia do rio Canoas em Urubici.

A Tabela 6 mostra um resumo dos critérios avaliados para identificação das sub-bacias mais propícias à recarga direta do SAG. Pela análise dos três critérios estabelecidos é possível notar que as sub-bacias do Alto Canoas, rio do Cachimbo e rio dos Bugres são os que mais apresentam características que propiciam a recarga direta do SAG. As sub-bacias do rio dos Bugres e do Alto Canoas foram as que apresentaram maiores áreas de relevo plano, com 48,7 ha e 25,5 ha respectivamente. As sub-bacias do rio Urubici e do Alto Canoas foram as que apresentaram maior área de afloramentos, com cerca de 1.982 ha e 1.727 ha respectivamente. As sub-bacias do rio do Cachimbo e rio dos Bugres foram as que apresentaram maior armazenamento de água, com cerca de 170,55 mm e 91,68 mm respectivamente. As sub-bacias mais desfavoráveis a recarga direta do SAG foram a do rio do Engano e a do rio Morro Azul.

Tabela 6. Critérios avaliados para identificação das sub-bacias mais propícias à recarga.

Sub-Bacia	ΔS (mm)	Área ZRD (ha)	Área relevo plano (0-3%) (ha)
Alto Canoas	87,32	1727,42	25,5
Arroio Águas Brancas	-44,36	348,48	1,2
Arroio do Engano	-92,86	557,13	2,4
Arroio do Sérgio	-82	654,88	1,8
Arroio Panelão	-66,45	248,36	4,3
Rio Augusto Warmiling	-46,55	555,51	1,6
Rio do Bispo	73,47	886,18	3,1
Rio do Cachimbo	170,55	602,93	2,1
Rio dos Bugres	91,68	1191,80	48,7
Rio Morro Azul	-44,73	454,64	3,7
Rio Santa Fé	49,99	1068,13	11,1
Rio Urubici	2,64	1982,18	7,6
Rio Vacariano	-34,81	1003,50	15,9

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com o estudo do balanço hídrico superficial na bacia hidrográfica do rio Canoas em Urubici nos mostram que há um armazenamento de água positivo na bacia em questão e a ocorrência de áreas com um relevo plano. Esses resultados são indícios de que pode estar havendo uma recarga direta do SAG nessa bacia através dos afloramentos de arenito Botucatu. Tal fato confronta os resultados apresentados na Carta de Ribeirão Preto com as conclusões e recomendações do II Congresso Aquífero Guarani, ocorrido na cidade de Ribeirão Preto em 2008, em que a região da Serra Catarinense, ao sul do Domo de Lages, foi considerada uma zona de fluxo neutro do SAG devido à sua conformação geomorfológica, uma vez que as escarpas da Serra Geral apresentam altos declives. Vale ressaltar que existem áreas no município cujo terreno é considerado plano, com declividade entre 0 e 3% e áreas onde o rio Canoas corre sobre rochas areníticas, sendo essas áreas potenciais para recarga direta do Aquífero.

A utilização de um sistema de informação geográficas, por meio do *software* ArcGIS 9.2, se mostrou uma boa ferramenta para a extração e cruzamento de informações.

A disponibilização de dados confiáveis gratuitamente por órgãos públicos são de fundamental importância para a pesquisa e geração de informação de qualidade.

A metodologia adotada para a estimativa do armazenamento de água, mensal e anual, apenas dão uma idéia do potencial de recarga do SAG no município de Urubici, pois o estudo não considerou a interceptação da vegetação, a evaporação da água, a umidade retida no solo e os usos consumptivos de água na bacia, o que tende a superestimar os valores de armazenamento encontrados.

A falta de uma rede de monitoramento do ciclo hidrológico adequada na bacia estudada foi um fator que contribui para aumentar as incertezas do estudo, afetando a qualidade do resultado da pesquisa. Segundo a UNESCO, em seu guia metodológico para a elaboração do balanço hídrico na América do Sul, a informação hidroclimatológica de boa qualidade é um dos fatores mais importantes para um cálculo correto do balanço hídrico, ficando evidente a importância da instalação de uma rede de monitoramento hidroclimatológico para o município de Urubici. Esse monitoramento contribuirá para o planejamento mais eficiente e

gestão social dos recursos hídricos do município e para um cálculo mais preciso do armazenamento de água na bacia.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – ESA, da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, o Grupo Transdisciplinar de Pesquisa em Governança da Água e do Território – GTHIDRO, e o projeto Tecnologias Sociais para a Gestão da Água – TSGA, que deram todo o suporte e apoio para que o estudo fosse realizado, por meio de recursos para viagens a campo e bolsa de estudo, e por fornecerem os aplicativos de computador utilizados no estudo.

6. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA NETO, P.; ESTEVES, R. L.; BORGES, A. C.; MEDIONDO, E. M. Análise dos componentes do balanço hídrico em uma bacia urbana experimental. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CENTRO OESTE, 3., Goiânia, 2005. *Anais...* Goiânia: ABRH, 2005. 1 CD ROM.
- ALVES, A.; KOBIYAMA, M.; SILVA, R. V.; CHECCHIA, T. Análise de dados hidrológicos na região do município de Alfredo Wagner/SC. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL, 1., Santa Maria, 2005. *Anais...* Santa Maria: ABRH, 2005. 1 CD ROM .
- BARRETO, C. E. A. G. **Balanço hídrico em zona de afloramento do sistema aquífero Guarani a partir de monitoramento hidrogeológico em bacia representativa.** 2006. 271f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.
- BORGUETTI, N. R. B.; BORGUETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. H. **Aquífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul.** Curitiba: Maxigráfica, 2004. 132 p.
- CLARKE, R. T.; KING, J. **O atlas da água.** Tradução de Anna Maria Quirino. São Paulo: Publifolha, 2005. 128 p.
- ENGECORPS; TETRAPAN; LACAZ MARTINS. **Estudos dos instrumentos de gestão de recursos hídricos para o estado de Santa Catarina e apoio à sua implementação: regionalização de vazões das bacias hidrográficas estaduais do estado de Santa Catarina.** Florianópolis: SDS, 2006. v. 1, 143 p.
- FERREIRA, C. M. **Cenários de uso e outorga de água para a bacia hidrográfica do rio Canoas: uma contribuição à gestão social da água.** 2007, 161f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
- GASTMANS, D.; KIANG, C. H. Avaliação da hidrogeologia e hidroquímica do sistema Aquífero Guarani no estado do Mato Grosso do Sul. *Revista Águas subterrâneas*, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 35-48, 2005.
- GOMES, L. H. **Determinação da recarga profunda na bacia piloto do ribeirão da Onça em zona de afloramento do sistema aquífero Guarani a partir de balanço hídrico em zona saturada.** 2008. 167f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

CURTARELLI, M. P.; SILVA, D. J.; FERREIRA, C. M. Estudo do balanço hídrico na bacia do rio Canoas em Urubici, SC, Brasil: subsídio à proteção da zona de recarga direta do Sistema Aquífero Guarani. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 5, n. 3, p. 108-121, 2010. ([doi:10.4136/ambi-agua.156](https://doi.org/10.4136/ambi-agua.156))

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Divisão Político-Administrativa 2007**. Disponível em: <<http://www.ibge.com.br/home/>>. Acesso: 15 abr. 2009.

MASSIGNAM, A. M.; PANDOLFO, C. **Estimativa da evapotranspiração de referência mensal e anual no estado de Santa Catarina**. Florianópolis: EPAGRI, 2006. 24 p.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E CULTURA – UNESCO. **Guia metodológico para la elaboración del balance hídrico de América del Sur**. Montevideo: ROSTLAC, 1982. 130 p.

PRAUN JR., A. **Proposta de corredor ecológico para as áreas de recarga direta do aquífero guarani em Santa Catarina – Brasil**. 2007. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

REBOUÇAS, A. C.; AMORE, L. O Sistema Aquífero Guarani. **Revista Brasileira de Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 16, p. 135-143, 2002.

ROCHA, G. A. O grande manancial do Cone Sul. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 11, n. 30, p. 191-212, 1997.

SCANLON, B. R. et al. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. **Hydrogeology Journal**, Heidelberg, v. 10, n. 2, p. 18-39, 2002.

SENARATH, D. C.; RUSHTON, K. R. A routing technique for estimating ground water recharge. **Ground Water**, Westerville, v. 22, n. 2, p. 142-147, 1984.